

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Air

Air merupakan kebutuhan dasar yang esensial bagi seluruh makhluk hidup di muka bumi, termasuk manusia. Pemenuhan kebutuhan air tidak hanya mencakup aspek kuantitas, tetapi juga kualitas yang layak guna menunjang keberlangsungan hidup. Kebutuhan akan air bervariasi antar wilayah dan antar lapisan masyarakat. Semakin tinggi taraf kehidupan seseorang yang tercermin dari kondisi sosial ekonomi seperti tingkat pendidikan, tingkat pendapatan, jumlah anggota keluarga, serta keinginan dan kemampuan membayar maka semakin besar pula kebutuhan akan air yang harus dipenuhi (Mukrim et al., 2023)

Air merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia yang digunakan dalam berbagai aktivitas keseharian, seperti konsumsi, memasak, mandi, mencuci, serta kegiatan kebersihan dan sanitasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, air diklasifikasikan ke dalam dua kategori menurut tujuannya, yaitu air minum dan air untuk keperluan hygiene dan sanitasi. Air minum didefinisikan sebagai air yang telah melalui proses pengolahan maupun tidak, namun tetap memenuhi baku mutu Kesehatan sehingga aman untuk dikonsumsi secara langsung. Sementara itu, air untuk keperluan hygiene dan sanitasi dimanfaatkan untuk kegiatan pembersihan dan kebersihan diri, serta kebutuhan rumah tangga seperti mandi, mencuci,

dan aktivitas domestik lainnya, dengan ketentuan harus memenuhi parameter Kesehatan yang relevan sesuai dengan regulasi yang ada. Permenkes tersebut menekankan bahwa standar kualitas air harus sesuai dengan syarat fisik, kimia, dan mikrobiologi agar aman digunakan, baik untuk air minum ataupun keperluan sanitasi. Maka dari itu, pengelolaan kualitas air, termasuk pengawasan kadar logam seperti mangan, sangat krusial untuk memastikan Kesehatan masyarakat serta mencegah risiko penyakit akibat pemakaian air yang terkontaminasi.

2. Persyaratan Air Bersih

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum kualitas air bersih harus memenuhi persyaratan yang meliputi persyaratan fisik, kimia, dan mikrobiologi antara lain sebagai berikut :

a. Parameter Fisik

Persyaratan parameter fisik air yang bersih dapat dirasakan oleh panca Indera baik penciuman, penglihatan maupun perasa. Air bersih yang bagus harus jernih, bersih, dan tidak berwarna. Menurut Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 terdapat 5 parameter fisik yang telah diatur sebagai berikut :

Tabel 2 Baku Mutu Parameter Fisik

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1.	Suhu	Suhu udara ± 3	°C	SNI/APHA
2.	TDS	< 300	mg/L	SNI/APHA
3.	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
4.	Warna	10	TCU	SNI/APHA
5.	Bau	Tidak berbau	-	APHA

Sumber : Kementerian Kesehatan RI, 2023

b. Parameter Kimia

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum, kadar mangan (Mn) terlarut yang masih diperbolehkan yaitu 0,1 mg/L.

Tabel 3 Baku Mutu Parameter Kimia

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1.	pH	6.5 – 8.5	-	SNI/APHA
2.	Nitrat	20	mg/L	SNI/APHA
3.	Nitrit	3	mg/L	SNI/APHA
4.	Kromium valensi 6	0,01	mg/L	SNI/APHA
5.	Besi (Fe)	0,2	mg/L	SNI/APHA
6.	Mangan (Mn)	0,1	mg/L	SNI/APHA

Sumber : Kementerian Kesehatan RI, 2023

c. Parameter Mikrobiologi

Menurut Permenkes No 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan parameter bakteriologis yang harus diperiksa dalam air bersih yaitu *Escherichia coli* dan Total Coliform. Adapun standar baku mutu yang telah ditetapkan sebagai berikut :

Tabel 4 Baku Mutu Parameter Mikrobiologi

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1.	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA
2.	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100ml	SNI/APHA

Sumber: Kementerian Kesehatan RI, 2023

3. Kadar Mangan (Mn) dalam Air

Mangan (Mn) merupakan salah satu logam yang banyak ditemukan di kerak bumi dan umumnya hadir Bersama dengan besi (Fe). Logam ini cenderung terlarut dalam air tanah dan air permukaan yang miskin oksigen, sehingga konsentrasinya dalam air sering kali mencapai atau bahkan melampaui baku mutu lingkungan yang ditetapkan. Apabila kadar mangan dalam air melebihi ambang batas, maka akan menimbulkan berbagai dampak negatif, antara lain timbulnya rasa dan bau logam yang amis pada air minum munculnya warna kecokelatan pada pakaian putih maupun pakaian lainnya, serta gangguan fungsi hati (Awliahasanah et al., 2021).

Endapan MnO_2 akan menghasilkan bercak - bercak pada barang – barang berwarna putih. Keberadaan unsur ini dapat menyebabkan aroma dan rasa pada minuman. Selain itu, konsentrasi 0,05 mg/l unsur ini adalah batas akhir dari upaya penghilangan yang bisa dicapai pada Sebagian besar air. Unsur ini mungkin berfungsi sebagai nutrisi penting dengan kebutuhan harian sekitar 10 mg yang bisa didapatkan dari makanan. Unsur ini memiliki sifat beracun untuk sistem pernapasan. (Sutrisno & Suciastuti, 2010).

Walaupun mangan tidak berbahaya, ia memiliki kemampuan untuk mengatur kadar unsur beracun dalam air, seperti logam berat. Apabila terpapar udara dan memperoleh cukup oksigen, air dengan jumlah mangan (Mn^{2+}) yang tinggi (melebihi 0,01 mg/liter) akan menghasilkan koloid sebagai akibat dari proses oksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{4+} . Koloid tersebut akan mengalami pengendapan dan menghasilkan warna coklat gelap yang menyebabkan air menjadi keruh. Jumlah mangan dapat diukur menggunakan metode AAS atau spektrofotometri. (Mukrim et al., 2023).

4. Masalah Kesehatan Yang Dapat Ditimbulkan Mangan (Mn)

Mangan merupakan logam berat bersifat yang krusial dan berperan dalam pembentukan kerangka tulang yang kuat, proses metabolisme tulang, serta membantu dalam produksi enzim. Jika kadar mangan terlalu tinggi, dapat menjadi korosif dan menyebabkan tubuh lebih rentan terhadap penyakit (Awliahasanah et al., 2021).

Mangan (Mn) pada dasarnya adalah nutrisi mikro yang sangat penting bagi segala bentuk kehidupan, tetapi ketersediannya dalam jumlah besar dapat menyebabkan keracunan pada sistem saraf pusat. (Kurniawati et al., 2017).

Keberadaan mangan dalam air bersih berpotensi menimbulkan ancaman Kesehatan yang serius bagi manusia, khususnya apabila konsentrasinya melampaui batas aman yang ditetapkan. Berdasarkan data epidemiologi, paparan mangan yang berlebihan terutama melalui jalur air minum dapat memberikan dampak negative terhadap sistem saraf. Penelitian ini mengungkapkan bahwa anak – anak yang terpapar mangan dalam kadar tinggi berisiko mengalami penurunan kemampuan kognitif serta gangguan pada perkembangan saraf, sebagaimana ditemukan pada populasi anak – anak di wilayah dengan sumber air yang tercemar (Iqbal & Mulyati, 2025).

5. Prinsip Kerja Filtrasi

Filtrasi merupakan teknik awal yang umumnya diterapkan dalam proses penjernihan air. Metode yang juga dikenal sebagai penyaringan ini pada dasarnya adalah proses pemisahan zat berdasarkan perbedaan ukuran partikel masing – masing komponen yang akan dipisahkan. Di lingkungan alami, proses filtrasi terjadi secara alamiah melalui lapisan tanah dan batuan yang memiliki pori – pori dengan ukuran bervariasi. Akibatnya, air tanah yang terbentuk memiliki tingkat kejernihan dan komposisi kimiawi yang beragam. Secara umum, air tanah dalam

(akuifer dalam) memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan air tanah dangkal. Hal ini disebabkan oleh proses filtrasi alami yang lebih Panjang dan intensif, serta variasi jenis batuan yang lebih banyak dan beragam selama perjalanan air menuju lapisan yang lebih dalam (Mukrim et al., 2023).

Inti dari pengelolaan air dengan filtrasi adalah memisahkan padatan dan koloid dari air menggunakan alat penyaring. Air yang terkontaminasi oleh partikel padat, disalurkan ke media saring yang memiliki ukuran pori atau lubang tertentu. Cara kerja proses penyaringan bergantung pada ukuran butiran serta ketebalan media filtrasi (Pratiwi, 2023).

6. Faktor yang Mempengaruhi Proses Filtrasi

Menurut Pratiwi (2023) faktor yang mempengaruhi tingkat efisiensi proses penyaringan air adalah sebagai berikut:

- a. Ukuran media filter menentukan kemampuan media tersebut dalam menahan atau meloloskan partikel yang terkandung di dalam air. Media yang berukuran lebih halus umumnya mampu menangkap partikel lebih kecil sehingga hasil penyaringan menjadi optimal.
- b. Ketebalan filter berperan besar terhadap efektivitas filtrasi. Semakin tebal media yang digunakan, semakin luas permukaan yang tersedia untuk menangkap kotoran serta semakin Panjang jalur air yang dilalui. Hal ini membuat partikel lebih banyak tersaring sebelum air keluar dari media.

- c. Kecepatan filtrasi mempengaruhi keberhasilan proses penyaringan. Apabila air mengalir terlalu cepat, waktu yang dimiliki media untuk menyaring partikel menjadi lebih singkat, sehingga hasil tidak maksimal. Maka dari itu, diperlukan penambahan tekanan atau peninggian permukaan air pada media filter agar proses filtrasi dapat berlangsung lebih lama dan efisien.
- d. Temperatur air saat filtrasi berlangsung juga memberikan pengaruh. Suhu air dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme maupun proses metabolisme di dalam media. Perubahan suhu tertentu dapat mempercepat atau memperlambat proses.
- e. Waktu kontak antara air dan media filter menjadi faktor yang tidak kalah penting. Semakin tebal dan padat media filtrasi, semakin lama waktu kontak yang terjadi, sehingga partikel memiliki kesempatan lebih besar untuk tersaring.

7. Media Filter

a. Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi pengolahan air, mencakup pengolahan air limbah, air bersih, hingga air minum. Berbagai jenis zeolite alami dari berbagai wilayah di dunia telah terbukti memiliki efisiensi tinggi dalam pertukaran ion, khususnya terhadap kation seperti ammonium dan ion logam berat. Untuk meningkatkan kinerjanya, zeolit alami dapat dimodifikasi melalui berbagai metode, antara lain perlakuan

asam, proses pertukaran ion, serta fungsionalisasi dengan surfaktan. Hasil modifikasi ini menghasilkan zeolit dengan kapasitas adsorpsi yang jauh lebih baik, bahkan mampu menyerap bahan organik dan anion secara signifikan (Yuliani et al., 2019).

Zeolit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alami dan zeolit buatan. Kedua zeolit ini memiliki perbedaan yang mencolok, di mana zeolit alami umumnya mengandung kation – kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Zeolit alami terdiri atas material yang bervariasi dengan ukuran Kristal yang tidak konsisten, serta memerlukan waktu dari beberapa hari hingga bahkan bertahun – tahun untuk terbentuk. Beberapa sumber zeolit yaitu dari abu vulkanik, pasir dan batuan, sekam padi, hingga limbah organik industri. Sedangkan zeolit buatan memiliki tingkat kemurnian yang tinggi dengan ukuran Kristal yang seragam, yang bermanfaat untuk aplikasi industri tertentu. Zeolit sintetis umumnya menandung kation seperti K^+ dan Na^+ . Salah satu jenis dari zeolite buatan adalah zeolit silikalit. Proses pembuatan zeolit sintetis dapat dilakukan di laboratorium dalam jangka waktu dari beberapa jam hingga beberapa hari dengan ukuran pori yang bisa diatur, sifat permukaan yang baik untuk adsorpsi, serta kestabilan termal yang sangat optimal (Dongoran et al., 2021).

Zeolit alam memiliki kelemahan, antara lain terdapat kontaminan dan kristalitasnya tidak optimal. Agar karakteristik zeolit alami dapat ditingkatkan untuk dijadikan katalis, penyerap,

atau perlu modifikasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolit alami secara fisik dilakukan dengan cara memperkecil ukuran partikel, penyaringan, dan pemanasan pada suhu tinggi yang bertujuan untuk menghapus kontaminan organik, meningkatkan ukuran pori, dan memperluas area permukaan (Nabila & Purnomo, 2019).

Kemampuan zeolit sebagai bahan penyerap dan penyaring molekul disebabkan oleh struktur porusnya yang berulang, sehingga zeolite dapat mengadsorpsi molekul – molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan dimensi rongga yang tersedia. Sementara itu, sifat zeolit sebagai penukar ion berkaitan erat dengan keberadaan kation logam alkali dan alkali tanah yang terikat secara longgar di dalam rongga strukturnya. Kation -kation ini memiliki mobilitas yang tinggi dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain tanpa mengubah struktur dasar zeolit. Selain itu, karena zeolit memilikirongga dengan ukuran tertentu, anion atau molekul yang berdiameter lebih kecil atau sama dengan rongga tersebut dapat masuk dan terperangkap di dalamnya (Rahmawati & Sugito, 2016).

b. Arang Aktif

Karbon aktif merupakan suatu bahan yang mengandung sejumlah besar rongga – rongga kecil. Banyaknya rongga ini memberikan karbon aktif kemampuan untuk mengikat berbagai zat yang berada di sekitarnya. Dalam konteks rumah tangga, umumnya penggunaan media filter air dari karbon aktif local bertahan antara 9

bulan hingga 1 tahun. Sementara itu, untuk media yang diimpor, masa pakainya dapat mencapai 2 tahun berkat kapasitas serap yang lebih baik (Saswini et al., 2023).

Arang adalah sebuah substansi padat yang memiliki pori – pori dan merupakan produk dari proses pembakaran yang kaya akan unsur C (karbon). Kebanyakan pori – pori tersebut masih terhalang oleh hidrokarbon serta senyawa anorganik lainnya. Proses Pembuatan arang dapat dilakukan dengan cara karbonisasi yang membutuhkan suhu tinggi untuk mengubah berbagai jenis tanaman, seperti daun, batang kayu, dan lainnya, menjadi arang yang memiliki warna hitam pekat serta tinggi kandungan karbon. Bahan yang bisa diolah menjadi karbon aktif adalah karbon dengan volume pori yang sangat besar dan ukuran tertentu yang mampu menangkap partikel yang diserap (Agustin et al., 2023). Daya serap arang ditentukan oleh luas permukaan partikelnya, dan kemampuan ini dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi, baik secara kimiawi menggunakan bahan – bahan kimia tertentu maupun secara fisika melalui pemanasan pada suhu tinggi. Proses aktivasi ini menyebabkan perubahan pada sifat fisika dan kimia arang, sehingga menghasilkan material yang dikenal sebagai arang aktif (Haryono, 2021).

Arang aktif yaitu arang yang telah dilakukan proses aktivasi baik secara fisik maupun secara kimia sehingga luas permukaan arang

semakin besar (Eprrie et al., 2022). Arang aktif adalah arang yang telah dimurnikan, di mana struktur atom karbonnya dipisahkan dari ikatan dengan elemen lainnya dan porinya dibersihkan. Selain fungsinya sebagai bahan bakar, arang ini juga berperan sebagai adsorben. Kapasitas penyerapan ditentukan oleh luas permukaan dari partikel tersebut, dan kemampuan ini dapat ditingkatkan melalui aktivasi menggunakan bahan kimia seperti NaCl, ZnCL₂, H₃PO₄, Na₂CO₃, serta garam mineral lainnya, atau secara fisik dengan pemanasan pada suhu tinggi yang mencapai 850°C (Najmia et al., 2021).

c. Pasir Mangan atau *Manganese Greensand*

Manganese greensand merupakan sebuah mineral yang mampu melakukan pertukaran electron, memungkinkan pengoksidasian zat besi atau mangan yang terlarut dalam air ke dalam bentuk yang tidak terlarut, sehingga bisa dipisahkan dengan cara filtrasi. *Manganese greensand* (K₂Z. MnO₂. Mn₂O₇) juga dapat bertindak sebagai katalis, dan pada saat yang sama, zat besi dan mangan yang terdapat dalam air teroksidasi menjadi ferri-oksidasi dan bentuk oksida yang tidak larut dalam air (Rahmawati & Sugito, 2016).

Dalam proses tersebut, *manganese greensand* mempercepat reaksi oksidasi melalui aktivitas katalik pada permukaannya, sehingga besi dan mangan yang semula larut dalam air akan berubah menjadi partikel padat yang dapat dipisahkan melalui proses filtrasi. Selain itu, pada permukaan media juga dapat terjadi proses adsorpsi,

yaitu penyerapan zat terlarut ke dalam permukaan media filter, yang turut membantu meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan (Saswini et al., 2023).

Reaksi yang terjadi antara ion Fe^{2+} dan Mn^{2+} dengan oksida mangan tinggi (*higher mangan oxide*) menghasilkan senyawa yang tidak larut dalam air, sehingga dapat dihilangkan melalui proses pengendapan dan penyaringan. Oleh karena itu, *manganese greensand* dikenal sebagai media filtrasi yang efektif dalam mengurangi kandungan besi dan mangan dalam air (Taffarel, 2010 dalam Rosfianto & Purwoto, 2019).

8. Absorpsi

Absorpsi merupakan pemisahan suatu gas dari campuran gas melalui perpindahan massa ke dalam fase cair. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan gas ke dalam cairan yang memiliki kemampuan melarutkan secara selektif terhadap komponen gas yang akan dipisahkan. Absorpsi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu absorpsi fisika yang disebabkan oleh gaya Van der Waals (yang juga berperan dalam proses kondensasi pada permukaan absorben) dan absorpsi kimia yang melibatkan reaksi kimia antara zat yang diserap dengan absorben, di mana kapasitas penyerapannya bergantung pada sifat spesifik zat tersebut. Efektivitas absorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis absorben dan zat yang diserap, konsentrasi keduanya, luas permukaan kontak, suhu, serta tekanan. Dalam konteks yang lebih luas,

istilah absorpsi juga digunakan untuk menyatakan penyerapan suatu zat oleh zat lain, sebagaimana karbon aktif yang mampu menyerap molekul asam asetat dari larutannya (Nadliriyah & Triwikantoro, 2014).

9. Adsorpsi

Proses adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi oleh berbagai faktor dan memiliki pola isotherm adsorpsi yang spesifik. Faktor – faktor yang memengaruhi proses adsorpsi antara lain meliputi jenis adsorben, jenis zat yang diadsorpsi, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi, serta suhu (Limbah et al., 2009).

Adsorpsi merupakan metode yang ekonomis dan efektif untuk menghilangkan kandungan logam dalam air, karena biayanya relatif murah, adsorben dapat diregenerasi, serta prosesnya tergolong sederhana. Karbon aktif dan zeolite alam memiliki potensial sebagai adsorben yang baik. Zeolit alam khususnya memiliki keunggulan karena ketersediaannya yang melimpah, kapasitas pertukaran ion yang tinggi, harga yang terjangkau, selektivitas yang baik, serta stabilitas yang memadai dalam pemisahan ion logam besi. Suatu proses adsorpsi umumnya menggunakan adsorben yang materinya bervariasi, seperti resin, arang aktif, zeolit, bentonite, dan pasir silika (Sulistyani et al., 2019).

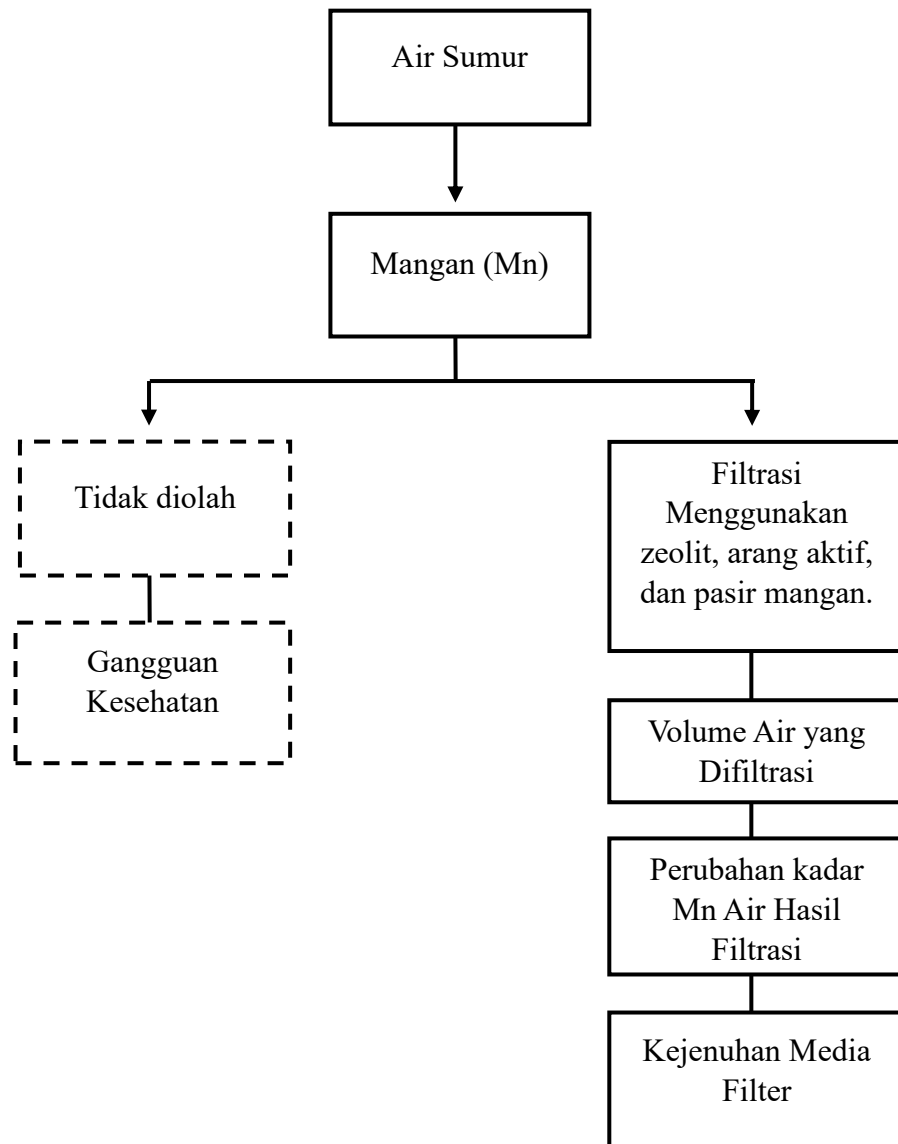
10. Ion Exchange

Pertukaran ion merupakan Teknik pemisahan yang digunakan untuk memisahkan berbagai campuran ion atau molekul yang dapat

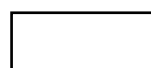
terionisasi. Dalam proses ini, ion – ion dari sampel bersaing dengan ion – ion dari fase gerak untuk berikatan dengan fase diam. Mekanisme pemisahan pada kolom penukar ion didasarkan pada perbedaan selektivitas ion terhadap fase diam, yang tercermin dalam kesinambungan proses pertukaran ion. Prinsip dasar pemisahan dengan pertukaran ion adalah perbedaan kecepatan migrasi masing – masing ion di dalam kolom penukar ion. Fase diam yang digunakan dalam metode ini umumnya berupa penukar ion yang memiliki gugus aktif berupa ion – ion yang dapat dipertukarkan (Panjaitan et al., 2020).

Metode pertukaran ion (ion exchange) juga dikenal sebagai metode adsorpsi dalam larutan. Prinsip kerja metode ini adalah menukarkan ion yang terdapat pada situs aktif pengemban (support) dengan ion logam dari katalis. Tujuan dari metode ini adalah memasukkan inti aktif yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa berbahaya, serta untuk menambahkan promotor guna meningkatkan kinerja katalis. Reaksi pertukaran ion dilakukan dengan cara memasukkan ion logam ke dalam arang aktif sebagai media pengemban (Yuhermita et al., 2021)

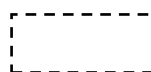
Zeolit adalah kristal alumina silika dengan struktur tiga dimensi yang dapat dimanfaatkan sebagai media filter, adsorben, penukar ion (ion exchange), serta untuk menurunkan kesadahan air (Purwoto et al., 2015).

B. Kerangka Konsep

Gambar 1 Kerangka Konsep



= Variabel yang diteliti



= Variabel yang tidak diteliti

C. Pertanyaan Penelitian

1. Berapa kadar mangan (Mn) air sumur gali sebelum dilakukan filtrasi?
2. Berapa kadar mangan (Mn) air sumur gali setelah difiltrasi pada interval volume air 10 L, 20 L, 30 L, 40 L, 50 L?
3. Bagaimana hubungan antara volume air yang difiltrasi dengan kadar mangan (Mn) serta berapa volume air maksimum yang masih dapat difiltrasi secara efektif oleh filter mazera berdasarkan kesesuaian kadar mangan (Mn) dengan baku mutu air bersih ($> 0,1 \text{ mg/L}$)?