

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Dasar Teori

1. Air Bersih

Air bersih adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, namun berbeda dengan air minum. Saat ini, kesulitan dalam memperoleh air bersih semakin meningkat, disebabkan oleh pencemaran air akibat limbah industri, rumah tangga, dan pertanian. Selain itu, kerusakan lingkungan seperti pembangunan dan penjarahan hutan menyebabkan berkurangnya kualitas mata air dari pegunungan yang tercampur dengan lumpur akibat erosi. Hal ini membuat air bersih menjadi langka. Kebutuhan air bersih untuk kehidupan sehari-hari meliputi kegiatan seperti mandi, mencuci, memasak, dan menyiram tanaman, dengan jumlah rata-rata kebutuhan air sekitar 150-200 liter per individu per hari, tergantung pada iklim, standar kehidupan, dan kebiasaan masyarakat. Penyediaan air bersih yang memadai sangat penting untuk mencegah timbulnya penyakit, karena terbatasnya akses air bersih dapat meningkatkan risiko kesehatan masyarakat (Hassanah, 2023).

Air yang diperuntukkan bagi konsumsi manusia harus berasal dari sumber yang bersih dan aman. Kriteria sumber air yang bersih dan aman meliputi bebas dari kontaminasi atau bibit penyakit, tidak mengandung substansi kimia berbahaya atau beracun, serta tidak memiliki rasa dan bau yang mengganggu. Selain itu, air tersebut harus dapat digunakan untuk

memenuhi kebutuhan domestik dan rumah tangga, serta memenuhi standar minimal yang ditetapkan oleh WHO atau Kemenkes (Annisa, 2022).

Air dapat tercemar jika mengandung bibit penyakit, parasit, bahan kimia berbahaya, dan sampah atau limbah industri. Berdasarkan sumbernya, air dapat dibagi menjadi air angkasa, air permukaan, dan air tanah. Air angkasa atau hujan adalah sumber utama air di bumi, namun dapat tercemar saat berada di atmosfer oleh debu, mikroorganisme, dan gas seperti karbon dioksida, nitrogen, dan amonia. Air permukaan, yang meliputi sungai, danau, dan waduk, sebagian besar berasal dari hujan, tetapi juga terkontaminasi oleh tanah, sampah, dan bahan lain. Air tanah, yang berasal dari air hujan yang diserap ke dalam tanah, mengalami proses filtrasi alami yang membuatnya lebih murni daripada air permukaan. Meskipun air tanah bebas dari kuman penyakit dan tidak memerlukan proses penjernihan, air tanah dapat mengandung mineral dengan konsentrasi tinggi seperti magnesium, kalium, dan logam berat seperti besi (Cambodia, 2021).

2. Persyaratan Kualitas dan Kuantitas Air

Sifat fisik air dapat dianalisis menggunakan organoleptik, seperti penglihatan dan penciuman. Misalnya, air yang keruh atau berwarna dapat dilihat, sementara bau air yang tidak biasa dapat dicium. Penilaian ini bersifat kualitatif, di mana perubahan pada satu sifat air, seperti bau atau warna, dapat memberikan petunjuk tentang sifat lainnya. Cara ini sederhana namun efektif untuk menganalisis kualitas air, karena sifat-sifat air saling terkait satu sama lain (Nanda, 2023). Ada beberapa persyaratan utama yang

harus dipenuhi dalam sistem penyediaan air bersih. Persyaratan tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut :

a. Persyaratan Kuantitatif

Persyaratan kuantitatif dalam penyediaan air bersih mencakup ketersediaan jumlah air baku yang cukup untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang dilayani. Jumlah air yang dibutuhkan dipengaruhi oleh faktor teknologi dan kondisi sosial ekonomi masyarakat. Menurut WHO standar kebutuhan air bersih 50 - 100 liter per orang per hari. Penyediaan air bersih yang terbatas dapat meningkatkan risiko penyakit di masyarakat. Kebutuhan air juga bervariasi antar individu, bergantung pada iklim, standar kehidupan, dan kebiasaan setempat (Simanjuntak, 2021).

b. Persyaratan Kualitatif

Menggambarkan mutu atau kualitas dari air baku air bersih. Persyaratan ini meliputi syarat fisik, kimia, biologis dan radiologis.

1) Syarat Fisik

Air bersih secara fisik harus jernih, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Warna pada air penting untuk aspek estetika, sementara rasa asin, manis, pahit, atau asam tidak boleh ada dalam air bersih. Bau seperti busuk atau amis juga harus dihindari, karena bau dan rasa sering kali muncul bersamaan. Suhu air idealnya sekitar suhu udara, yaitu sekitar 25°C. Kekeruhan air disebabkan oleh

adanya butiran koloid dari tanah liat; semakin banyak kandungan koloid, semakin keruh air tersebut (Alamsyah, 2024).

Tabel 2. Parameter Syarat Air Bersih

Paramter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI / APHA
<i>Total Dissolve Solid</i>	<300	mg/L	SNI / APHA
Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
Warna	10	TCU	SNI / APHA
Bau	Tidak Berbau	-	APHA

Sumber : Permenkes No. 2 Tahun 2023

2) Syarat Kimia

Air bersih harus bebas dari bahan kimia yang melebihi batas aman. Secara kimia, air tidak boleh mengandung zat beracun, zat yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, atau zat yang melebihi kadar tertentu yang dapat menimbulkan masalah teknis dan ekonomis. Salah satu parameter kimia penting dalam air bersih adalah kadar besi.

Tabel 3. Parameter Syarat Kimia Air Bersih

Parameter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
pH	6,5-8,5	-	SNI / APHA
Nitrat	20	mg/L	SNI / APHA
Nitrit	3	mg/L	SNI / APHA
Kromium Valensi 6	0,01	mg/L	SNI / APHA
Besi	0,2	mg/L	SNI / APHA
Mangan	0,1	mg/L	SNI / APHA

Sumber : Permenkes No. 2 Tahun 2023

3) Syarat Bakteriologis

Air bersih tidak boleh mengandung kuman-kuman patogen dan parasitik seperti kuman-kuman typhus, kolera, dysentri dan gastroenteris. Karena apabila bakteri patogen dijumpai pada air minum maka akan mengganggu kesehatan atau timbul penyakit. Untuk mengetahui adanya bakteri patogen dapat dilakukan dengan pengamatan terhadap ada tidaknya bakteri E. Coli yang merupakan bakteri indikator pencemaran air. Secara bakteriologis, total Coliform yang diperbolehkan pada air bersih yaitu 0 koloni per 100 ml air bersih. Air bersih yang mengandung golongan Coli lebih dari kadar tersebut dianggap terkontaminasi oleh kotoran manusia (Gafur, 2022).

Tabel 4. Parameter Syarat Bakteriologi Air Bersih

Parameter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
<i>Eschericia coli</i>	0	CPU/100ml	SNI / APHA
Total <i>Coliform</i>	0	CPU/100ml	SNI / APHA

Sumber : Permenkes No. 2 Tahun 2023

4) Syarat Radioaktif

Air minum harus bebas dari zat-zat yang mengandung bahan radioaktif, seperti sinar alfa, gamma, dan beta, karena paparan radiasi dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Sinar alfa dan beta, meskipun tidak dapat menembus kulit manusia, dapat menyebabkan kerusakan jika dikonsumsi melalui air yang tercemar. Sinar gamma

memiliki daya tembus yang lebih kuat dan bisa menembus tubuh, menyebabkan kerusakan sel yang dapat berujung pada penyakit seperti kanker atau gangguan kesehatan serius lainnya. Paparan berkelanjutan terhadap radiasi ini dapat merusak DNA dan sistem imun, serta meningkatkan risiko terjadinya mutasi genetik dan gangguan pada sistem organ tubuh (Rolla, 2023).

3. Sumur Bor

Sumur bor adalah sumur yang dibuat dengan cara mengebor batuan untuk memperoleh sumber daya seperti air, minyak, atau gas. Sumur ini berbeda dengan sumur galian, yang biasanya dilengkapi dengan alat seperti timba atau terowongan miring. Pada sumur bor, biasanya dipasang pompa untuk menyedot air, kecuali pada sumber artesis buatan, dimana air dapat menyembur keluar tanpa bantuan pompa (Azwar, 2020). Teknik pengeboran sumur telah dikenal sejak zaman peradaban Cina dan Mesir kuno, dimana sumur artesis buatan sudah digunakan. Orang Cina menggunakan bambu sebagai pipa selongsong untuk pengeboran. Dalam perkembangan modern, teknik pengeboran disesuaikan dengan kondisi tanah dan batuan. Untuk tanah keras, digunakan teknik perkusi, alat berkabel, rotari, atau pengeboran penebuk, di mana ujung bor berfungsi seperti palu dan remukan batuan dikeluarkan dengan udara tekan. Sedangkan untuk tanah lunak, pipa kecil dengan tapisan atau lubang-lubang ditekan masuk menggunakan tangan atau mesin (Pratiwi, 2023).

Setelah lubang pengeboran terbentuk, selongsong diperlukan untuk mencegah runtuhnya tanah dan penyumbatan lubang. Pada batuan keras, selongsong hanya diperlukan di bagian yang rentan terhadap longsor, karena batuan tersebut sudah cukup untuk melindungi lubang. Sementara itu, untuk tanah yang tidak padat, pelindung berupa pipa baja berulir digunakan, dengan diameter yang hampir sama dengan diameter lubang (Simbolon, 2023). Ujung lubang sumur harus terletak pada lapisan yang mengandung air tanah yang akan dipompa. Jika lapisan tersebut berupa batuan keras, bahan peledak atau metode lain seperti pemompaan karbon dioksida bertekanan tinggi atau penggunaan asam dapat digunakan untuk membuat retakan. Jika lapisan terdiri dari pasir, pompa sedot kuat atau metode penyedotan dan penekanan balik dapat digunakan untuk menghilangkan lumpur dan pasir halus. Kerikil dan kerakal yang tersisa di sekitar ujung bor memungkinkan air tanah untuk mengalir masuk, dan kerikil dapat juga dimasukkan ke dalam sumur secara paksa (Sitorus, 2023).

Jenis dan daya pompa yang digunakan tergantung pada kedalaman sumur, jumlah air yang dibutuhkan, dan diameter lubang sumur. Pompa sedot biasa efektif untuk kedalaman kurang dari 7 meter, sementara untuk sumur yang lebih dalam, pompa *lift* diperlukan. Jika debit air yang dibutuhkan rendah, seperti untuk rumah tangga, pompa tipe resi-prok atau pemindahan bisa digunakan. Untuk kebutuhan air dalam jumlah besar, pompa tipe impeler yang memiliki diameter kecil dan bisa dimasukkan ke

dalam sumur lebih disarankan (Sariman, 2023). Saat ini, energi untuk memompa air umumnya menggunakan energi listrik yang disalurkan melalui motor Listrik untuk kedalaman sumur tidak lebih dari 10 meter, banyak rumah tangga yang masih menggunakan pompa tangan jenis dragon. didaerah yang memiliki angin kencang sepanjang tahun, seperti di bagian barat Amerika Serikat, tenaga angin dimanfaatkan untuk memompa air. Jika jaringan listrik tidak tersedia, motor bakar-dalam atau mesin diesel digunakan. untuk pompa yang terletak jauh di dalam tanah, generator diesel atau bensin digunakan untuk menyediakan tenaga listrik (Atmam, 2020).

4. Pengertian Besi (Fe)

Besi adalah logam yang diperoleh dari bijih besi dan biasanya tidak ditemukan dalam bentuk murni di alam. Untuk mendapatkan besi murni, proses kimia diperlukan untuk memisahkannya dari unsur-unsur lain. Dalam kehidupan sehari-hari, besi digunakan untuk membuat besi baja dan sebagai campuran dalam pembuatan berbagai logam serta karbon. Kandungan besi dalam air berasal dari pelapukan batuan induk dan biasanya berupa senyawa garam ferri dan ferro yang bervalensi dua. Pembentukan sifat kimia besi dalam air dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti sifat redoks besi, pembentukan kompleks kimia, aktivitas mikroorganisme, dan pertukaran besi antara fasa padat dan cair. Selain itu, besi dalam air seringkali ditemukan dalam bentuk karbonat, hidroksida, dan sulfida (Bahfie, 2022).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, kadar maksimum besi (Fe) dalam air untuk keperluan hygiene dan sanitasi adalah 0,2 mg/L. Kadar besi yang tinggi dalam air dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pH air yang rendah (≤ 7) dapat menyebabkan logam, termasuk besi, terlarut dalam air, sedangkan air dengan $\text{pH} \geq 7$ tidak akan menimbulkan masalah. Kedua, temperatur air yang tinggi dapat meningkatkan korosivitas air, yang menyebabkan peningkatan kelarutan besi. Ketiga, gas-gas terlarut seperti CO_2 , O_2 , dan H_2S dapat memperburuk sifat korosif air. Terakhir, bakteri juga berperan dalam proses pelarutan besi, karena dalam metabolisme bakteri, besi dapat teroksidasi, sehingga semakin larut dalam air (Wahyuni, 2021).

5. Dampak Besi (Fe) dalam Air

Kadar besi (Fe) yang tinggi dalam air dapat menyebabkan berbagai dampak negatif yang mempengaruhi kualitas air dan sistem distribusi. Salah satu dampaknya adalah penyumbatan pada pipa saluran air, yang disebabkan oleh penumpukan endapan besi. Endapan ini terbentuk akibat aktivitas bakteri yang mengoksidasi besi di dalam pipa untuk mempertahankan kehidupannya, sehingga menimbulkan masalah pada aliran air. Selain itu, air dengan kadar besi yang tinggi dapat memiliki rasa logam atau rasa obat yang tidak menyenangkan, membuat air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Secara fisik, air yang mengandung besi dalam jumlah banyak akan cenderung berwarna keruh dan meninggalkan noda

kekuningan pada pakaian yang dicuci, yang disebabkan oleh partikel besi yang terlarut.

Kualitas air yang buruk ini juga berdampak pada kebersihan, dengan menimbulkan noda kotoran pada bak-bak penampung air seperti bak kamar mandi. Selain itu, besi dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem pertukaran ion (*ion exchange*) karena terbentuknya endapan besi, yang pada gilirannya akan menurunkan kapasitas pertukaran ion resin. Kenaikan debit dan tekanan dalam pipa juga dapat menyebabkan endapan besi terbawa ke penampungan konsumen, menimbulkan keluhan terkait kualitas air yang buruk. Terakhir, bakteri tertentu seperti *Clonothrix* dan *Crenothic*, yang berkembang biak pada keberadaan Fe^{2+} , dapat menyebabkan korosi pada sistem perpipaan, memperparah kerusakan yang disebabkan oleh besi dalam air (Kristianingsih, 2021).

6. Ferrolite

Ferrolite adalah salah satu jenis media penyaring yang banyak dipakai dalam pengolahan air, terutama untuk mengatasi permasalahan besi (Fe) dan mangan (Mn) yang sering ada pada air tanah atau air sumur. Secara umum, ferrolit diakui sebagai media granular dengan warna hitam keabu-abuan yang memiliki kemampuan katalitik dalam proses oksidasi serta filtrasi (Uddin & Jeong, 2022).



Gambar 1. Ferrolite

Ciri khas dari struktur ferrolite adalah kerangka berpori yang biasanya terbentuk dari tetrahedra FeO_4 yang sedikit terdistorsi, sehingga membentuk cincin Fe_4O_4 serta Fe_6O_6 . Struktur ini menghasilkan saluran dan ruang internal yang menyerupai struktur sodalit, yang termasuk dalam kategori zeolit. Di dalam saluran dan ruang tersebut, terdapat ion barium, natrium, dan hidroksida, serta molekul air yang berperan dalam menyeimbangkan muatan.

Kemampuan ferrolit untuk mengurangi kadar besi (Fe) berlandaskan pada prinsip oksidasi-kontak katalitik dan filtrasi. Air yang mengandung besi terlarut, biasanya dalam bentuk ion feri (Fe^{2+}), akan mengalir melalui lapisan media ferrolit. Ferrolit berfungsi sebagai katalis, yang mempercepat reaksi oksidasi ion Fe^{2+} menjadi ion ferri (Fe^{3+}) yang tidak larut. Proses ini seringkali didukung dengan aerasi atau penambahan klorin sebagai agen pengoksidasi (Zulfikar et al., 2023).

Mekanisme utamanya adalah sebagai berikut: ion Fe^{2+} yang terkandung dalam air akan berinteraksi dengan permukaan ferrolit yang

kaya akan oksida mangan atau besi yang berfungsi sebagai katalis. Permukaan katalitik ini memperlancar transfer elektron dari Fe^{2+} ke oksigen terlarut dalam air (atau klorin yang ditambahkan), mengubah Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Setelah teroksidasi, Fe^{3+} akan menghasilkan endapan hidrolitik seperti feri hidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dalam bentuk partikel padat koloid. Endapan selanjutnya akan terperangkap secara fisik dalam pori-pori dan pada permukaan butiran media ferrolit melalui proses filtrasi.

7. Zeolite

Sumber air tanah kerap mengandung kadar besi yang tinggi, baik dalam bentuk ion ferro (Fe^{2+}) maupun ferri (Fe^{3+}). Kadar besi yang melebihi batas aman dapat menimbulkan masalah seperti perubahan warna pada air, noda di pakaian, rasa logam dan bahkan dapat berdampak pada kesehatan jika dikonsumsi dalam waktu lama.



Gambar 2. Zeolite

Zeolit berfungsi untuk menurunkan kadar besi melalui beberapa cara utama. Cara yang paling utama adalah pertukaran ion, di mana ion natrium, kalium, atau kalsium yang terdapat pada zeolit akan dilepaskan dan

digantikan oleh ion besi dari air (Kwakye-Awuah et al., 2019). Proses ini sangat efisien untuk mengikat Fe^{2+} yang terlarut. Selain itu, zeolit juga dapat berfungsi sebagai agen adsorpsi. Struktur pori mikro dan meso zeolit memberikan area permukaan yang luas untuk menangkap ion besi, khususnya Fe^{3+} yang bisa terbentuk akibat proses oksidasi atau Fe^{2+} yang terhidrolisis menjadi bentuk yang lebih besar.

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa permukaan zeolit dapat membantu dalam proses oksidasi dan koagulasi parsial, di mana Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} yang kemudian bisa membentuk endapan hidroksida besi yang lebih mudah dihilangkan melalui penyaringan (Belova, 2019). Efektivitas zeolit dalam menghilangkan besi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk pH air, konsentrasi awal besi, ukuran partikel zeolit, waktu kontak, dan adanya ion-ion pengganggu lainnya. Proses regenerasi zeolit setelah terakumulasi ion besi juga vital untuk mempertahankan efektivitasnya dalam jangka waktu panjang, biasanya dilakukan dengan menggunakan larutan garam pekat. Oleh karena itu, kemampuan zeolit dalam pertukaran ion dan adsorpsi yang kuat menjadikannya solusi yang menarik dan ramah lingkungan untuk menangani masalah kontaminasi besi dalam sumber air.

8. Pasir malang

Pasir malang adalah batuan vulkanik yang berasal dari wilayah Malang, Jawa Timur. Keunikan dari pasir ini terletak pada warna abu-abu gelap, permukaannya yang kasar, serta tingkat porositas yang tinggi. Karakteristik tersebut membuatnya sangat cocok digunakan sebagai bahan penyaring, karena kemampuannya untuk menyerap dan menyaring partikel serta logam berat dari air.



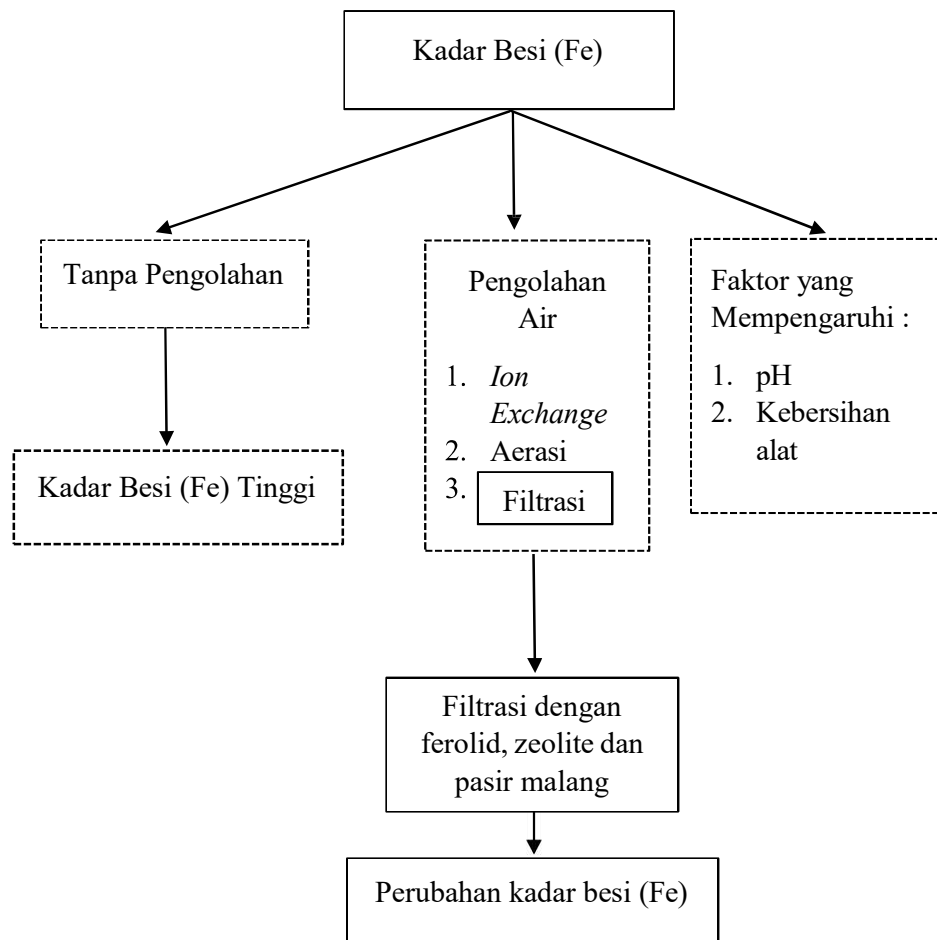
Gambar 3. Pasir Malang

Secara struktural, butiran pasir malang memiliki karakteristik yang lebih mengarah pada bentuk angular atau hampir angular, berbeda dengan pasir sungai yang berbentuk bulat sempurna. Struktur butiran yang tidak simetris ini memberikan keuntungan besar dalam bidang filtrasi karena menciptakan lebih banyak dan lebih bervariasi ruang pori di antara butiran-butiran pasir. Dengan porositas yang tinggi dan variasi ukuran pori, pasir malang dapat lebih efektif dalam menahan partikel tersuspensi. Selain itu, meskipun permukaan butiran pasir malang tampak halus, terdapat mikropori dan ketidakrataan yang menjadikannya lokasi aktif untuk proses adsorpsi dan reaksi kimia (Ahfir et al., 2017).

Proses pengurangan kadar besi terlarut dalam air menggunakan pasir malang melibatkan gabungan antara proses oksidasi dan filtrasi. Besi dalam air biasanya muncul dalam bentuk ion feri (Fe^{2+}) yang tidak tampak. Untuk menyingkirkan Fe^{2+} , diperlukan proses oksidasi yang akan mengubahnya menjadi ion ferri (Fe^{3+}) yang tidak larut dan cenderung menghasilkan endapan (Moh. Andri et al., 2023).

Filtrasi dengan menggunakan Pasir Malang terbukti ampuh dalam mengurangi kadar besi (Fe) di air tanah Desa Bajarum. Sebelum proses filtrasi, kadar Fe dalam air berada pada rentang 9,68-26,1 mg/L dengan nilai rata-rata 17,10 mg/L. Setelah proses filtrasi dilakukan, kadar Fe mengalami penurunan yang signifikan, di mana Filter 1 (50% Pasir Malang) berhasil menurunkan kadar Fe rata-rata menjadi 5,31 mg/L, sedangkan Filter 2 (100% Pasir Malang) menunjukkan hasil yang lebih baik dengan kadar akhir rata-rata sebesar 1,41 mg/L. Walaupun Filter 2 menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibanding Filter 1, analisis statistik menunjukkan bahwa variasi volume media filtrasi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar Fe dalam air (Maradona et al., 2025).

B. Kerangka Konsep



Keterangan :

: Diteliti

: Tidak Diteliti

Gambar 4. Kerangka Konsep

C. Pertanyaan Peneliti

1. Apakah penggunaan Filter A efektif dalam menurunkan kadar Besi (Fe) dalam sumur bor yang melebihi batas baku mutu?
2. Apakah penggunaan Filter B efektif dalam menurunkan kadar Besi (Fe) dalam sumur bor yang melebihi batas baku mutu?