

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Aspek Umum Kualitas Air**

Air merupakan zat yang unik dan salah satu karakteristiknya yang unik adalah kemampuannya untuk melarutkan berbagai zat. Saat air bergerak melalui siklusnya, yang disebut siklus hidrologi, yang terdiri dari evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, sublimasi, kondensasi, adveksi, presipitasi, *run off*, infiltrasi, serta konduksi, air bersentuhan dengan banyak zat berbeda yang dapat dilarutkan oleh air pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, atau yang mungkin tersuspensi di dalam air. Jenis dan jumlah zat terlarut bersama dengan zat tersuspensi dan zat koloid itu lah yang kemudian akan menentukan kualitas air secara keseluruhan dan kelayakannya untuk digunakan atau dikonsumsi.

Jenis kontaminan atau zat yang menjadi perhatian dalam air bermacam-macam, termasuk di antaranya garam anorganik, mikro-organisme, partikel tanah liat dan material organik. Mereka sebenarnya memiliki karakteristik serupa sehingga biasanya dapat dikelompokkan untuk dapat diperlakukan dengan jenis *treatment* yang sama. Zat yang menjadi perhatian dalam air dapat dikategorikan antara lain sebagai zat terlarut atau tersuspensi, sebagai zat anorganik atau organik, sebagai zat makro atau mikro, sebagai zat alami atau sintetis, suspensi mikro-organisme, dan sebagainya. Beberapa karakteristik kelompok zat yang berbeda tersebut akan dibahas dalam bagian berikut ini.

#### **1. Zat terlarut**

Sebagian besar zat pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil akan dilarutkan oleh air. Zat-zat yang terlarut dalam air antara lain gas seperti oksigen

(O<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan amonia (NH<sub>3</sub>), senyawa anorganik seperti natrium klorida (NaCl) dan kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) dan zat organik seperti asam humat dan karbohidrat.

Zat terlarut umumnya lebih sulit untuk dihilangkan dari air daripada zat tersuspensi, karena mereka terlebih dahulu harus diubah menjadi bentuk padat melalui pengendapan, atau diubah ke bentuk gas dengan cara oksidasi sehingga gas dapat keluar atau dikeluarkan dari air. Metode lain untuk menghilangkan zat terlarut juga bisa dengan menggunakan proses lanjutan seperti *Reverse Osmosis* (RO) atau adsorpsi karbon aktif.

## 2. **Zat tersuspensi dan koloid**

Koloid adalah campuran yang berada di antara larutan sejati dan suspensi, biasanya ukuran partikel koloid adalah 1-1.00 μm. Oleh karena bentuk ukuran dari partikel koloid dibandingkan dengan ukuran medium dimana partikel itu tersebar maka pada koloid terdapat fasa terdispersi dan medium pendispersi (Brady, 1999).

Pada tahun 1925, H. Freundlich mengklasifikasikan dispersi menjadi 3 golongan besar, yaitu larutan, larutan koloid dan suspensi (Puluhulawa, 2020). Diantara ketiga jenis golongan tersebut, koloid dan suspensi digolongkan ke dalam campuran heterogen, karena partikel-partikel yang terlarut di dalamnya masih dapat terlihat, sedangkan untuk larutan sejati, antara zat pelarut dan terlarut sudah tidak bisa dibedakan lagi.

Suspensi adalah sistem dispersi yang mudah mengalami pengendapan (sedimentasi) karena ukuran partikelnya besar sehingga akan menghasilkan endapan zat terlarut. Padatan tersuspensi biasanya dapat ditentukan dengan menyaring padatan tersuspensi dari sampel air yang massa airnya diketahui, dan

kemudian menentukan massa padatan keringnya. Ukuran partikel suspensi yang paling besar  $> 100$  nm. Di sisi lain, partikel koloid berukuran terlalu kecil untuk mengendap dan mempunyai muatan listrik yang mencegahnya mengendap, sehingga partikel koloid dapat melayang dalam air selama sehari-hari tanpa mengendap. Kisaran ukuran koloid umumnya dianggap memanjang dengan ukuran sekitar 10 nanometer (nm) sampai 1 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ).

Sistem koloid didefinisikan sebagai jenis campuran di mana satu bagian terdispersi secara konstan ke bagian lain. Sistem koloid terdiri dari dua fase terpisah, yaitu fase terdispersi (atau fase internal) dan fase kontinu (atau medium pendispersi) (Manisha, 2019). Zat yang didistribusikan sebagai partikel koloid disebut fase dispersi. Fase kontinu kedua di mana partikel koloid terdispersi disebut medium dispersi. Misalnya, untuk larutan koloid tembaga dalam air, partikel tembaga merupakan fasa terdispersi dan air merupakan media dispersi. Fase terdispersi mengacu pada fase yang membentuk partikel. Media dispersi adalah media tempat terjadinya dispersi partikel. Karena fasa terdispersi atau medium dispersi dapat berupa gas, cair atau padat, ada delapan jenis sistem koloid yang mungkin terjadi.

Dispersi koloid dari satu gas ke gas lainnya tidak dimungkinkan karena kedua gas akan menghasilkan campuran molekul yang homogen (Ogemdi, 2019).

**Tabel 2. 1. Macam-Macam Sistem Koloid Berdasarkan Fase**

Fasa Pendispersi	Fasa Terdispersi	Nama	Contoh
Cairan	Gas	Aerosol Cair	Kabut
Padat	Gas	Aerosol Padat	Asap, debu
Gas	Cairan	Busa	Larutan sabun. Busa pemadam kebakaran
Cairan	Cairan	Emulsi	Susu, mayones
Padat	Cairan	Sol, suspensi, koloid, pasta	Sol Au, Sol Ag, tinta, cat, pasta gigi
Gas	Padat	Busa padat	Polistirena yang dikembangkan
Cairan	Padat	Emulsi padat (gel)	Mentega, keju, mutiara
Padat	Padat	Suspensi padat	Plastik berpigmen

### **Pendispersi dan Terdispersinya**

(Sumber : Arnelli & Astuti, Y. 2019)

Partikel koloid memberikan beberapa sifat yang tidak diinginkan pada air, di antaranya:

- Kekeruhan yang paling sering terjadi disebabkan oleh mineral lempung anorganik di permukaan air. Sebagian besar partikel kekeruhan bersifat hidrofobik (menolak air) dan ukurannya berkisar dari 0,2  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$ . Kekeruhan dapat dengan mudah dihilangkan dengan metode koagulasi-flokulasi dan pemisahan.
- Zat organik koloid, yaitu asam humat dan asam fulvat dengan massa molekul berkisar antara 800 dan 50.000 Dalton (satuan Massa Mol), umumnya menimbulkan warna pada air. Koloid logam hidroksida (misalnya besi) juga menyebabkan warna dalam air. Sebagian besar partikel yang mengakibatkan timbulnya warna tersebut bersifat hidrofilik (menarik air) dan lebih sulit dihilangkan dengan koagulasi.
- Bakteri, virus, dan mikroalga juga bersifat koloid. Mereka terdiri dari molekul organik polar, terhidrasi dan hidrofilik.

- Senyawa organik kompleks tertentu yang dihasilkan dari pengolahan air limbah industri juga dapat dianggap sebagai koloid.

Suspensi koloid bersifat stabil dan harus didestabilisasi sebelum memungkinkan untuk mengagregasinya menjadi partikel-flok yang lebih besar yang dapat dihilangkan dengan sedimentasi dan filtrasi. Destabilisasi dipengaruhi oleh koagulasi, dan agregasi dipengaruhi oleh flokulasi. Proses-proses ini akan dibahas dalam bab-bab berikutnya.

## **B. Parameter Kualitas Kimia Air**

Zat organik dan anorganik terlarut menentukan kualitas kimia yang dimiliki air. Zat-zat ini memiliki berbagai efek pada sifat kimia air. Misalnya, beberapa zat ini dapat menjadi racun (kromium, arsenik), sementara zat lainnya menyebabkan air menjadi keras atau membentuk kerak (kalsium karbonat), dan senyawa kimia lainnya dapat mempengaruhi rasa dan bau pada air (natrium klorida, geosmin).

Berbagai macam senyawa kimia anorganik dapat hadir dalam air. Senyawa-senyawa tersebut seperti natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang larut dalam air dengan bentuk ion masing-masing, yaitu  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Jumlah total senyawa anorganik terlarut dalam air dinyatakan sebagai konsentrasi *Total Dissolved Inorganic Solids* (TDIS atau biasanya disebut TDS) dalam mg/l. *Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan istilah untuk menandakan jumlah padatan terlarut atau konsentrasi jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air. TDS digambarkan dengan jumlah zat terlarut dalam *part per million* (ppm) atau milligram per Liter (mg/L). Umumnya peningkatan TDS dalam air akan menyebabkan kesadahan dalam air juga

meningkat.

Konsentrasi dari TDS yang terionisasi dalam suatu zat cair dapat mempengaruhi konduktivitas listrik pada zat cair tersebut (Zamora, *et al*, 2015). Kandungan TDS dalam air biasanya disebabkan karena adanya bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan. Sebagai contoh air buangan sering mengandung molekul sabun, deterjen dan surfaktan yang larut dalam air, misalnya pada air buangan rumah tangga dan industri pencucian (Anonim, 2020).

Analisis kimia anorganik lengkap harus dilakukan secara berkala terhadap air baku dan pengolahan akhir untuk menentukan apakah ada senyawa berbahaya dalam air baku pada konsentrasi yang melebihi batas aman. Analisis penuh terhadap air baku harus dilakukan minimal setahun sekali sedangkan analisis terhadap air olahan harus sesuai dengan spesifikasi atau pedoman yang telah dituangkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017.

**Tabel.2.2 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan**

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
<b>Wajib</b>			
1.	pH	mg/l	6,5 - 8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Fluorida	mg/l	1,5
4.	Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	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.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1
<b>Tambahan</b>			
1.	Air raksa	mg/l	0,001
2.	Arsen	mg/l	0,05
3.	Kadmium	mg/l	0,005
4.	Kromium (valensi 6)	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 (KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	10

**untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi**

(Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017)

Selain zat anorganik, berbagai macam zat organik juga dapat hadir dalam air. Zat-zat ini dapat berupa zat alami seperti bahan tanaman yang membusuk, alga atau produk sampingan bakteri dan karbohidrat, serta senyawa sintetis seperti pestisida, herbisida dan pelarut serta produk yang terbentuk selama pengolahan air seperti kloroform dan produk terklorinasi lainnya. Ada ribuan senyawa organik yang telah

diidentifikasi dalam air, kebanyakan dari senyawa tersebut terdapat dalam konsentrasi yang sangat rendah.

Senyawa organik memiliki karbon sebagai unsur utama dalam komposisinya dan sebagian besar tidak masuk ke larutan sebagai ion, tetapi masuk ke larutan sebagai molekul senyawa. Senyawa organik ditentukan melalui oksidasi sebagai senyawa individu atau sebagai kelompok senyawa. Indikasi kualitas organik air secara umum dapat diperoleh dengan cara penentuan parameter kumulatif seperti *Total Organic Carbon (TOC)*, *Dissolved Organic Carbon (DOC)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan *Biological Oxygen Demand (BOD)*.

Senyawa organik individu atau kelompok senyawa umumnya ditentukan dengan *Gas Chromatography and Mass Spectrohotometry (GC-MS)* atau dengan metode khusus lainnya. Salah satu kelompok senyawa organik yang menjadi perhatian khusus dalam pengolahan air minum adalah yang disebut Trihalomethane (THM). THM adalah senyawa yang terdiri dari empat bahan kimia, yaitu kloroform, bromodiklorometan, dibromokolometan, dan bromoform. Senyawa ini terbentuk bersama dengan disinfeksi air yang dihasilkan dari klorin. Saat klorin yang digunakan untuk mengendalikan kontaminasi mikroba di dalam air tidak sengaja bereaksi dengan material organik yang sudah membusuk (daun, kayu, atau buah), maka akan menghasilkan senyawa berbahaya yang dinamakan Trihalomethane (Anonim, 2021).

### **C. Parameter Kualitas Kimia Air Lainnya**

Dalam pengolahan air, ada sejumlah parameter kimia lainnya yang juga menjadi perhatian. Parameter tersebut antara lain alkalinitas, kekerasan, stabilitas

kimia, dan spesies klorin gabungan.

## 1. Alkalinitas

Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau dikenal dengan *Acid Neutralizing Capacity* (ANC) atau kuantitas anion dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen (Effendi, 2003). Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga (*buffer capacity*) terhadap perubahan pH perairan. Alkalinitas berperan penting untuk menyangga air dan mencegah perubahan pH akibat penambahan asam, atau bahan kimia penghasil asam seperti besi klorida. Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga terhadap penurunan pH perairan. Secara khusus, alkalinitas sering disebut sebagai besaran yang menunjukkan kapasitas penyanggahan ion bikarbonat, dan sampai dengan tahap tertentu, juga menunjukkan penyanggahan terhadap ion karbonat dan hidroksida dalam air. Makin tinggi alkalinitas, makin tinggi pula kemampuan air untuk menyangga sehingga fluktuasi pH perairan makin rendah. Alkalinitas biasanya dinyatakan dalam kalsium karbonat dengan satuan ppm (mg/L).

## 2. Kesadahan (*Hardness*)

Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Kesadahan air terjadi karena adanya ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , atau dapat juga disebabkan adanya ion-ion lain dari polyvalent metal (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil. Air yang memiliki sifat sadah ditemukan pada wilayah yang menggunakan sumber air tanah/sumur dimana pada daerah tersebut memiliki lapisan tanah yang mengandung deposit garam mineral, kapur, dan kalsium (Chandra, 2007). Berbagai bentuk kesadahan dapat dibedakan menjadi:

- *Carbonate hardness* atau *temporary hardness*, yang disebabkan oleh kalsium dan magnesium yang berasosiasi dengan bikarbonat di dalam air.
- *Non-carbonate hardness* atau *permanent hardness*, yang disebabkan oleh kalsium dan magnesium yang berasosiasi dengan ion-ion selain bikarbonat seperti klorida dan sulfat.
- *Calcium hardness*, yang disebabkan oleh semua ion kalsium dalam larutan.
- *Magnesium hardness*, yang disebabkan oleh semua ion magnesium dalam larutan.
- *Total hardness*, yang merupakan jumlah kesadahan kalsium dan magnesium.

Tingkat kesadahan di berbagai tempat perairan berbeda-beda. Pada umumnya air tanah mempunyai tingkat kesadahan yang tinggi, dikarenakan air tanah mengalami kontak dengan batuan kapur yang ada pada lapisan tanah yang dilalui air. Sedangkan

pada air permukaan tingkat kesadiahannya lebih rendah, dikarenakan kesadahan air permukaan bersumber dari kalsium sulfat yang terdapat dalam tanah liat dan endapan lainnya. Tingkat kesadahan air dapat digolongkan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 2. 3.**  
**Klasifikasi Tingkat Kesadahan**

Tingkat Kesadahan	Total Kesadahan (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Lunak ( <i>soft</i> )	< 50
Cukup lunak ( <i>reasonably soft</i> )	50 – 100
Sedikit tinggi ( <i>slightly hard</i> )	100 – 150
Cukup tinggi ( <i>reasonably hard</i> )	150 – 250
Tinggi ( <i>hard</i> )	250 – 350
Tinggi sekali ( <i>very hard</i> )	> 350

(Sumber : Schutte, 2006)

### 3. Stabilitas Kimia

Stabilitas kimia pada air merupakan karakteristik yang sangat penting karena menentukan apakah air akan stabil secara kimiawi, bersifat *aggressive-corrosive* atau memicu pembentukankerak (*scale*). Hal ini sangat penting diperhatikan karena berimplikasi pada biaya pemeliharaan sistem distribusi air.

Korosi adalah suatu proses elektrokimia dimana atom-atom akan bereaksi dengan zat asam dan membentuk ion-ion positif (kation). Hal ini akan menyebabkan timbulnya aliran-aliran elektron dari suatu tempat ke tempat yang lain pada permukaan metal. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air. Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) sering digunakan sebagai pengontrol korosi, dimana kalsium karbonat tersebut akan mengendap dan Membentuk lapisan pelindung permukaan metal, tetapi di sisi lain penggunaan CaCO<sub>3</sub> cenderung menimbulkan

masalah *scale*.

Istilah *scale* dipergunakan secara luas untuk deposit keras yang terbentuk pada peralatan yang kontak atau berada dalam air. Dalam proses distribusi air sering ditemui mineral *scale* seperti  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan  $\text{MgSO}_4$ . Penyebab terbentuknya deposit *scale* adalah terdapatnya senyawa-senyawa tersebut dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Faktor utama yang berpengaruh besar pada kelarutan senyawa-senyawa pembentuk *scale* ini adalah kondisi fisik (tekanan, temperatur, konsentrasi ion-ion lain dan gas terlarut). Pembentukan *scale* menyebabkan berbagai masalah operasional. Apabila *scale* terbentuk pada pipa maka akan terjadi pengurangan diameter pipa sehingga akan menurunkan debit air yang melalui pipa tersebut. Selain itu, *scale* juga dapat mengakibatkan penyumbatan pada sistem penyaring dan *valve*.

Ada berbagai metode untuk menyatakan stabilitas kimia, salah satunya menggunakan indeks saturasi. Indeks saturasi (*saturation index*) adalah perbandingan pH sesungguhnya dengan pH teoritis berdasarkan sifat fisik dan kimia air. Nilainya berkisar dari negatif hingga positif. Nilai negatif mengindikasikan potensi korosi dan nilai positif mengindikasikan pembentukan kerak (*scale*). Nilai mendekati nol mengindikasikan air bersifat seimbang dan terhindar dari korosi maupun *scale*. Indeks yang telah digunakan umumnya adalah *Langelier Saturation Index* (LSI) dan *Ryznar Stability Index* (RI) (Martindaru, 2008).

Selain indeks saturasi, metode lain yang bisa dipakai untuk menentukan stabilitas kimia air adalah dengan menghitung potensi pengendapan kalsium karbonat pada air yang biasa disebut *Calcium Carbonate Precipitation Potential* (CCPP). CCPP didefinisikan sebagai jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang secara teoritis dapat

mengendap atau larut dari air untuk mencapai kesetimbangan dengan fase padat  $\text{CaCO}_3$ . Apabila nilai CCPP nol, maka menunjukkan bahwa air berada dalam kesetimbangan terhadap  $\text{CaCO}_3$ . Kemudian jika CCPP bernilai negatif, air dapat melarutkan  $\text{CaCO}_3$ , dan jika CCPP bernilai positif, ada kemungkinan terjadi pengendapan  $\text{CaCO}_3$ . Tidak seperti indeks saturasi, CCPP menunjukkan kecenderungan air untuk mengendapkan atau melarutkan  $\text{CaCO}_3$  dan kuantitas yang mungkin diendapkan atau dilarutkan.

#### **4. Residu Klorin**

Klorin adalah senyawa kimia yang berfungsi untuk menghambat perkembangan mikroorganisme penyebab penyakit di air. Senyawa kimia ini terdapat dalam berbagai macam bentuk, baik padat, cair maupun gas. Kegunaan klorin yang telah lama diketahui adalah sebagai disinfektan dalam pengolahan air minum, yang disebut juga sebagai proses klorinasi. Dilansir dari laman Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Indonesia, senyawa yang digunakan untuk pengolahan air minum biasanya berbentuk gas klor (Widyawinata, 2021).

Meski klorin berfungsi sebagai zat disinfektan yang baik, namun klorin juga bisa menyebabkan keracunan jika digunakan melebihi batas wajar. Selain itu, kehadiran klorin bebas dalam air minum berkorelasi dengan tidak adanya sebagian besar organisme penyebab penyakit, dan parameter ini menjadi salah satu ukuran kelayakan air minum. Oleh karena itu, diperlukan uji yang presisi dan akurat untuk melakukan monitoring terhadap kadar klorin. (Anonim, 2021).

Berdasarkan Peraturan Pengawasan kualitas air minum diatur oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 2 tahun 2023 Tentang Peraturan pelaksanaan Peraturan Pemerintah nomor 66 tahun 2014 tentang kesehatan

lingkungan , batas minimum diperbolehkannya sisa klor dalam air kolam renang yaitu sebanyak 0,2 mg/L (ppm) dan batas maksimum 0,5 mg/L.

Setiap jenis klorin yang ditambahkan ke air selama proses pengolahan akan menghasilkan pembentukan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl<sup>-</sup>), yang merupakan senyawa desinfektan utama dalam air terklorinasi dan dikenal sebagai klorin bebas (*free chlorine*). Ketika klorin ditambahkan ke air sebagai desinfektan, serangkaian reaksi terjadi saat bahan organik dan logam yang ada di dalam air bereaksi sehingga mengubahnya menjadi senyawa yang tidak efektif untuk kebutuhan disinfeksi. Jumlah klorin yang digunakan dalam reaksi ini disebut kebutuhan klorin air. Setiap konsentrasi klorin yang tersisa setelah permintaan klorin terpenuhi disebut klorin total (Anonim, 2021). Klorin total dibagi lagi menjadi:

1. Jumlah klorin yang kemudian bereaksi dengan nitrat yang ada di dalam air dan diubah menjadi senyawa yang kurang efektif sebagai desinfektan daripada klorin bebas (disebut klorin gabungan).
2. Klorin bebas, yaitu klorin yang tersedia untuk menonaktifkan organisme penyebab penyakit. Oleh karena itu, jika kita menguji air dan menemukan bahwa masih ada sisa klorin bebas, ini membuktikan bahwa organisme paling berbahaya di dalam air telah dihilangkan dan aman untuk diminum. Kegiatan ini yang kemudian disebut sebagai pengukuran residu klorin.

Pengukuran residu klorin dalam pasokan air adalah metode yang sederhana namun penting untuk memeriksa apakah air yang dialirkan aman untuk diminum. Pemeriksaan residu klorin harus dilakukan secara teratur. Jika sistem yang digunakan merupakan sistem yang baru, maka pemeriksaan harus dilakukan setiap

hari sampai proses klorinasi berjalan dengan baik. Setelah itu, pengecekan bisa dilakukan minimal seminggu sekali.

#### **D. Parameter Kualitas Fisik Air**

Kualitas fisik air ditentukan oleh sifat-sifat intrinsik serta zat-zat terlarut dan koloid di dalam air. Sifat fisik intrinsik meliputi suhu, viskositas, dan tegangan permukaan. Sifat fisik lainnya seperti daya hantar listrik, warna, rasa dan bau ditentukan oleh adanya zat terlarut dan koloid di dalam air. Beberapa karakteristik air sering diindikasikan sebagai karakteristik fisik, padahal sebenarnya cenderung bersifat kimiawi, misalnya pH. Sifat-sifat yang seperti ini juga bisa disebut sifat fisika-kimia. Sifat fisik secara umum yang berperan dalam pengolahan air dibahas pada bagian berikut.

##### **1. Kekeruhan**

Kekeruhan memberikan indikasi konsentrasi partikel koloid dalam air. Kekeruhan dinyatakan dalam satuan kekeruhan yaitu *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Kekeruhan dapat diketahui dengan menggunakan suatu alat bernama nephelometer, dengan prinsip kerja membandingkan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh sampel air dengan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh referensi/acuan standar di pengukur kekeruhan.

Kekeruhan air baku bisa bernilai 1 atau 2 NTU untuk jenis air tanah dan bisa bernilai sampai beberapa ratus NTU untuk air permukaan yang keruh. Nilai kekeruhan air minum sebaiknya bernilai <1 NTU. Berdasarkan persyaratan kualitas air minum dalam PERMENKES RI No. 2 tahun 2023, nilai maksimum kekeruhan yang diperbolehkan adalah 5 NTU.

## 2. Nilai pH

pH air diukur dalam satuan pH. Nilai pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen  $[H^+]$  dalam air yang dinyatakan sebagai nilai logaritmik. pH memberikan indikasi seberapa asam atau basa air tersebut. Karena konsentrasi  $[H^+]$  dan  $[OH^-]$  dapat bervariasi pada kisaran yang sangat luas dari  $10^0$  sampai  $10^{-14}$ , maka penggunaan skala logaritmik lebih mudah dalam menyatakan konsentrasi. Untuk tujuan ini fungsi pH dinyatakan sebagai:  $pH = -\log [H^+]$  (2.1)

di mana  $[H^+]$  adalah konsentrasi ion hidrogen yang dinyatakan dalam mol/l.

pH juga menjadi faktor dalam sistem perpipaan air minum. Nilai pH air murni sendiri adalah sekitar 7 pada suhu  $25^\circ C$ . Jika pH air menunjukkan angka  $<7$ , maka berarti air tersebut cenderung asam. Sedangkan jika pH air menunjukkan angka  $>7$ , maka air cenderung basa. Ketika pH air  $<6,5$  dan  $>9,5$  tentunya akan mempercepat terjadinya reaksi korosi pada pipa distribusi air minum.

## 3. Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. Karena arus listrik dikonduksikan melalui pergerakan ion dalam larutan, maka konduktivitas listrik juga memberikan indikasi konsentrasi ion atau *total dissolved solids* (TDS) di dalam air. Konduktivitas listrik air diukur dalam satuan mili Siemen per meter (mS/m). Satuan lain yang juga digunakan adalah  $\mu S/cm$ , yang secara numeris sama dengan  $\mu mho/cm$ . Konversi dari  $\mu S/cm$  ke mS/m adalah sebagai berikut:

$$mS/m = \mu S/cm \times 0,1 \quad (2.2)$$

Nilai yang didapat dari konduktivitas listrik dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi TDS dalam mg/L melalui cara mengalikan

konduktivitas listrik dengan faktor yang ditentukan untuk jenis air. Misalnya untuk air permukaan faktornya sekitar 6,5, tetapi nilai faktor tersebut bisa bervariasi lagi sesuai sumber airnya. Berdasarkan persyaratan kualitas air minum yang diatur dalam PERMENKES RI No. 2 Tahun 2023, nilai maksimum TDS yang diperbolehkan adalah 500 mg/l.

#### **4. Warna, rasa, dan bau**

Secara fisik air harus terlihat jernih, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa (tawar). Ada dua macam warna pada air, yaitu *apparent color* dan *true color*. *Apparent color* ditimbulkan karena adanya benda-benda zat tersuspensi dari bahan organik, sedangkan *true color* adalah warna yang ditimbulkan oleh zat-zat anorganik. Pengukuran warna menggunakan skala TCU (*True Color Unit*). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017, nilai maksimal warna untuk air bersih 50 TCU, sedangkan untuk air minum 5 TCU.

Rasa dan bau biasanya terdapat bersama-sama dalam air. Untuk rasa, seperti rasa asin, manis, pahit, asam dan sebagainya tidak boleh terdapat dalam air yang dikonsumsi. Sama halnya dengan rasa, bau busuk, bau amis, dan sebagainya juga tidak boleh terdapat di dalam air bersih. Rasa dan bau air dapat disebabkan oleh berbagai zat, seperti disebabkan produk alga seperti geosmin dan 2-MIB (2-metil isoborneol), garam anorganik seperti NaCl, dan gas seperti H<sub>2</sub>S.

#### **5. Temperatur air**

Temperatur merupakan syarat fisik terakhir yang harus dipenuhi air bersih. Temperatur sebaiknya sama dengan suhu udara ( $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ) dan bila terjadi perbedaan maka toleransi batas yang diperbolehkan  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

### E. Parameter Kualitas Mikrobiologis

Kualitas mikrobiologis air ditentukan oleh jenis dan jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam air. Berbagai mikroorganisme dapat hadir bahkan di perairan yang berkualitas baik. Sebagian besar mikroorganisme ini tidak berbahaya, tetapi jika air tercemar patogen maka bisa menimbulkan bahaya. Patogen adalah mikroorganisme penyebab penyakit seperti kolera, gastroenteritis, hepatitis, dan lain- lain. Parameter kualitas mikrobiologis air juga diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017 seperti dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel. 2.4.**

**Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi**

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E. coli	CFU/100ml	0

(Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017)

Sulit untuk menentukan keberadaan semua organisme patogen yang berbeda. Oleh karena itu, organisme indikator tertentu digunakan untuk memberikan indikasi kemungkinan adanya patogen. Organisme indikator adalah jenis mikroorganisme yang terdapat dalam jumlah yang sangat besar di usus manusia maupun hewan berdarah panas. Kehadiran organisme ini dalam air berfungsi sebagai indikasi pencemaran air melalui kotoran manusia. Apabila organisme itu terdapat dalam kotoran manusia, maka air yang dikonsumsi tersebut tidak aman dan harus didisinfeksi sebelum digunakan.

Organisme indikator yang paling umum digunakan antara lain:

1. *Total coliform*

Adalah sekelompok bakteri yang paling sering digunakan sebagai organisme indikator untuk air minum. Meskipun semua jenis *total coliform* ditemukan dalam usus hewan termasuk manusia dan cocok dijadikan sebagai indikator pencemaran oleh kotoran manusia, kebanyakan dari *total coliform* juga banyak terdapat di lingkungan, termasuk di air biasa dan air limbah. Artinya *total coliform* tidak spesifik terhadap pencemaran yang disebabkan oleh kotoran manusia, tetapi juga dapat berasal dari sumber lain.

## 2. *Coliform feses* dan *Escherichia coli*

*Coliform feses* dan *Escherichia coli* adalah bagian dari kelompok *Total coliform*. Kedua organisme ini merupakan indikator yang lebih baik untuk polusi feses dibandingkan *total coliform*, tetapi *Coliform feses* dan *Escherichia coli* tidak memberikan perbedaan antara kontaminasi manusia dan hewan. Jumlah total kelompok ini juga jauh lebih rendah daripada *total coliform*.

## F. Pengertian Konstruksi Sumur Gali

Konstruksi sumur gali adalah kondisi atau keadaan fisik sumur gali yang meliputi dinding, lantai, bibir sumur gali, cincin sumur gali, saluran pembuangan limbah, dan dilengkapi dengan kerekan timba dengan gulungannya atau pompa (Buku saku PUPR 2022).

### 1. Lokasi **Penempatan** Sumur Gali

Hal yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi penempatan sumur gali (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017):

- a) Lokasi mudah dijangkau atau tidak terlalu jauh dari rumah-rumahsekitar.
- b) Penentuan lokasi yang layak untuk sumur gali yang akan digunakan untuk

umum harus dimusyawarahkan terlebih dahulu.

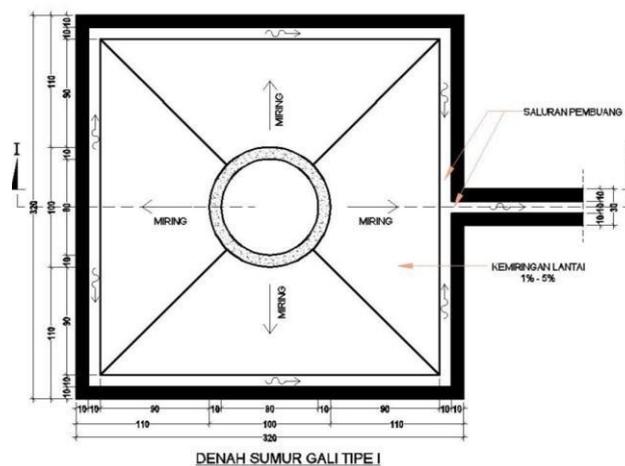
- c) Jarak sumur gali dengan sumber pencemar seperti *septictank*, pembuangan sampah, limbah dll adalah 10 meter.
- d) Sumur air bersih yang digunakan secara bersama (komunal) maka jarak ke pemakai maksimal 50 cm.
- e) Sumur tidak boleh terendam banjir.

2. Tipe-tipe sumur **berdasarkan** kondisi tanah

Tipe sumur gali ada 2 macam tergantung pada kondisi tanah yang mudah/tidak mudah retak (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017):

- a) Ciri jika tanah tidak menunjukkan gejala mudah retak atau runtuh maka dinding atas dibuat dari pasangan bata/batako/batu belah yang diplester bagian luar dan dalam setinggi 80 cm dari permukaan lantai, dinding bawah dari bahan yang sama sedalam minimal 300 cm dari permukaan lantai.

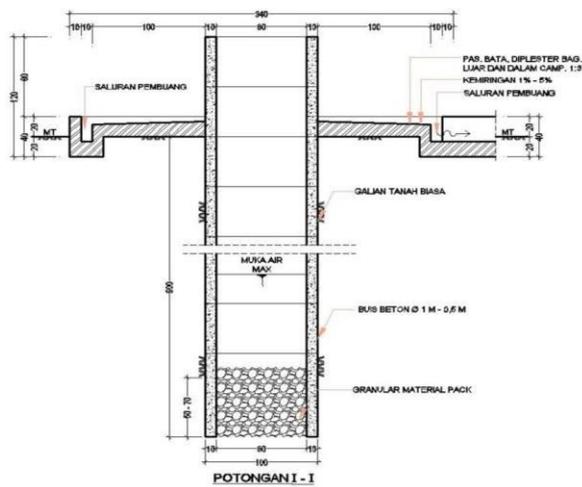
Gambar 1



Tipe 1

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Sumur Gali tahun 2017

b) Ciri jika tanah menunjukkan gejala mudah retak atau runtuh maka dinding atas dibuat dari pasangan bata/batako/batu belah yang diplester bagian luar dan dalam setinggi 80 cm dari permukaan lantai, dinding bawah sampai kedalaman sumur dari pipa beton sedalam minimal 300 cm, dari permukaan lantai pipa beton harus kedap air dan sisanya berlubang.



Gambar 2

Tipe 2

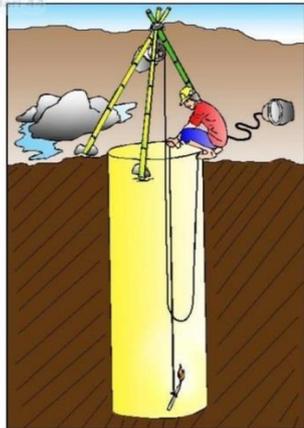
Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Sumur Gali tahun 2017

3. Ketentuan persyaratan teknis konstruksi sumur gali

Hal yang harus diperhatikan agar sumur terhindar dari pencemaran adalah jarak sumur dengan jamban, lubang galian untuk air limbah (*cesspool, seepage pit*), dan sumber-sumber pengotoran lainnya. Keadaan konstruksi dan cara pengambilan air sumur merupakan sumber kontaminasi, misalnya sumur dengan konstruksi terbuka dan pengambilan air dengan timba. Sumur dianggap mempunyai tingkat perlindungan sanitasi yang baik, bila tidak terdapat kontak langsung antara manusia dengan air di dalam sumur. Sumur gali ada yang memakai dinding sumur dan ada yang tidak memiliki dinding sumur. Syarat konstruksi pada sumur gali meliputi

dinding sumur, bibir sumur, lantai sumur, dan cincin sumur (Purnama, 2017) :

a) Bangunan sumur gali terdiri dari dinding sumur, lantai, bibir, dan cincin sumur yang harus dibuat dengan bahan yang kuat dan kedap air seperti pasangan batu bata/batu kali (Purnama, 2017). Saat pembuatan sumur gali pastikan mengecek kondisi sumur galidengan menurunkan lilin yang menyala ke dasar lubang galian selama 10 menit. Bila lilin mati setiap dimasukkan ke dalam lubang sumur maka dapat dipastikan konsentrasi oksigen sangat rendah hentikan pembuatan sumur tersebut karena kondisi ini sangat berbahaya bagi penggali sumur dan cari lokasi lain. Pastikan jarak sumur dengan sumber pencemar minimal 10 m (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).



Gambar 3 Pemeriksaan Gas Beracun

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Sumur Galitahun 2017

b) Bibir sumur harus setinggi minimal 0,7 m dari permukaan tanah harus kedap air untuk mencegah merembesnya air ke dalam sumur, sebaiknya bibir sumur diberi penutup agar hujan dan kotoran lainnya tidak dapat masuk ke dalam sumur (Purnama, 2017). Sumur gali pada umumnya ditimba sebaiknya dilengkapi dengan kerekan timba maka perlu diberi tiang sumur 2 buah dari pasangan bata, beton maupun tiang besi (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).



Gambar 4 : Bibir Sumur

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Sumur Gali tahun 2017

c) Lantai sumur disemen/harus kedap air, mempunyai lebar di sekeliling sumur  $\pm 1,5$  m dari tepi bibir sumur, agar air permukaan tidak masuk. Lantai sumur tidak retak/bocor, mudah dibersihkan, dan tidak tergenang air, kemiringan 1-5% ke arah saluran pembuangan air limbah agar air bekas dapat dengan mudah mengalir ke saluran air limbah, yang dibuat dengan kemiringan 2% ke arah sarana pengolahan air buangan dan badan penerima (Purnama, 2017).

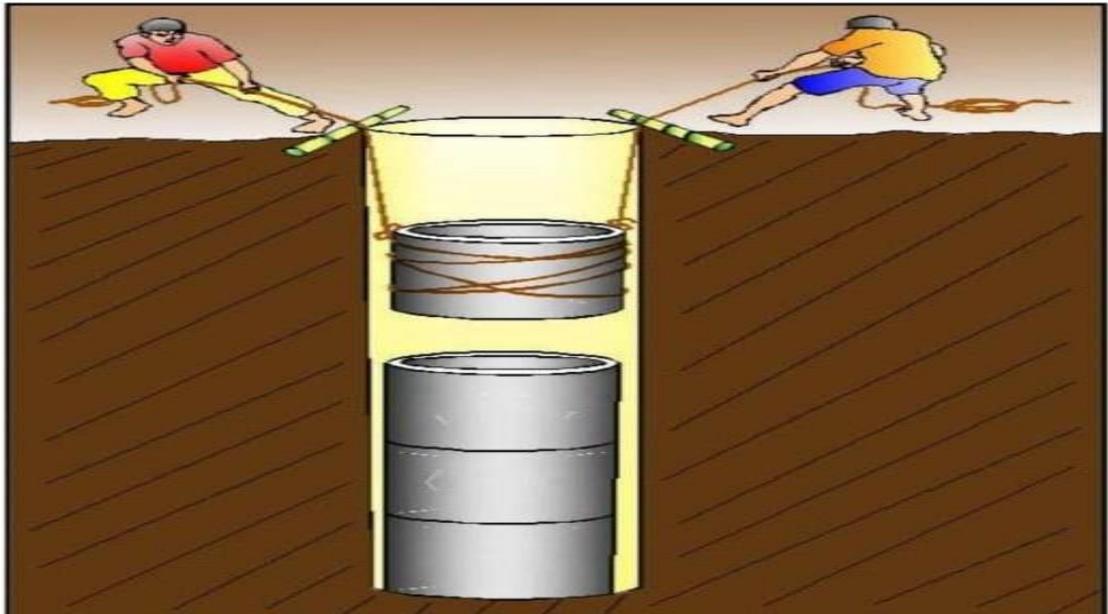


Gambar 5 : Lantai sumur dan saluran pembuangan air

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum i Sumur Galitahun 2017

d) Cincin sumur harus memiliki kedalaman 3 m dari lantai sumur jika tanah

longsor waktu digali maka cincin saat harus dipasang secara bertahap sampai ke dalam sumur (Kementerian PekerjaanUmum, 2017).



Gambar 6 : Cincin Sumur

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Sumur Galitahun 2017

1. SPAL (Saluran Pembuangan Air Limbah ) dibuat dari tembok yang kedap air dan panjangnya sekurang-kurangnya 10 m disekitar lantai SPAL dibuat kemiringan 2% ke arah sarana pengolahan air buangan dan badan penerima agar tidak terjadi genangan air (Punama, 2017 dan Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

#### G. Sumur BOR

Air yang tersedia di dunia ini sekitar 97% itu berasal dari bawah tanah. Dan sumur sebagai media yang menyediakan air tanah untuk kebutuhan manusia, perkotaan, pertanian, irigasi tanaman, dan industri. Beberapa sumur menghasilkan air panas atau sumber air panas bumi. Dan ada juga air tanah yang digunakan hanya untuk pendingin. Selain itu, ada juga beberapa sumur yang digali hanya untuk studi kuantitas dan kualitas air, dan inilah yang disebut dengan pengamatan sumur atau sumur pantau.

Di luar dari maksud dan tujuannya, sumur itu didefinisikan sebagai lubang buatan yang digunakan untuk mendapatkan atau mengakses air atau juga disebut sebagai sumber air yang digali. Biasanya sumur ini punya diameter yang kecil atau sekitar <3 meter (10 kaki). Tujuan dibuatnya sumur ini pun berbeda-beda, ada yang digunakan untuk mencari air dan ada juga yang digunakan untuk mencari gas alam dan minyak.

Bagian atas sumur disebut dengan kepala sumur atau wellhead. Wellhead ini bentuknya bermacam-macam tergantung dari bagaimana, kapan, dan tujuannya dibangun dan juga bahan apa yang tersedia saat dibangun. Kalau untuk sumur bor kebanyakan kepala sumurnya muncul pipa dari dalam tanah yang ukurannya sangat bermacam-macam mulai dari diameter 5 sampai 25 cm (2 sampai 10 inchi), yang menjulang di atas tanah biasanya dengan ketinggian kurang dari 60 cm (2 kaki) yang kemudian tersambung pada pompa.

Untuk menjaga area sumur, biasanya pada perusahaan terdapat rumah sumur atau wellhouse yang memiliki tujuan untuk memudahkan pemeliharaan sumur. Makanya, saat akan membuat sumur sangat perlu untuk memerhatikan hal-hal yang bisa mengakibatkan sumur menjadi tidak baik karena terkontaminasi. Kontaminan ini bisa berasal dari lingkungan sekitar seperti septik tank, daerah resapan, dan sebagainya. Maka dari itu harus disertakan komponen-komponen untuk sanitasi.

### **Bagian sumur bor**

#### **a) Pipa Cassing, layar, dan segel sanitasi (well seal cover)**

Segel sanitasi adalah penutup bagian atas sumur, khususnya sumur bor. Fungsi dari segel sanitasi ini adalah untuk mencegah binatang kecil, puing-puing

batu atau tembok, serangga, dan kotoran masuk ke dalam sumur dan mencemari akuifer. Segel sanitasi ini biasanya punya akses yang memungkinkan untuk melakukan pengukuran level air secara berkala serta punya ventilasi atau tabung dengan penyaringan yang bertujuan untuk menyamakan tekanan udara akibat dari naik turunnya level air di dalam sumur. Selanjutnya pipa casing yang punya beberapa fungsi penting. Umumnya dipakai untuk menjaga lubang sumur bor tetap terbuka dan juga merupakan satu rangkaian dengan segel sanitasi yang juga memiliki fungsi untuk mendukung mekanisme pompa serta mencegah air tanah dangkal dan air permukaan masuk ke dalam sumur. Lebih mudahnya, Pipa casing ini dipakai sebagai tempat untuk memasang pipa yang lebih kecil yang langsung tersambung ke pompa sebagai media untuk mengalirkan air dari bawah ke atas.

Biasanya pipa casing punya tinggi lebih di atas permukaan tanah atau setinggi 30 cm (1 kaki). Pipa casing ini bisa menjaga kedalaman sumur, jika kondisi tanah di sekitar sumur bor cenderung mudah runtuh kerikil dan pasirnya. Kalau sumur dibuat di kondisi yang tanahnya banyak bebatuan dan keras, bisa jadi pipa casing hanya dipakai di bagian atas saja. Kalau di kondisi tanah yang ideal, panjang pipa casing 5,5 m masih dianggap minimum. Biasanya material segel untuk pipa casing adalah material penghalang yang kuat yang biasanya terbuat dari tanah liat atau semen yang ditempatkan di antara lubang sumur bor dan pipa casing. Hal ini ada tujuannya yaitu untuk mencegah air tanah yang berasal dari akuifer lain dan air permukaan itu masuk ke lubang sumur bor atau mencegah air yang mengalir ke bawah di luar pipa casing dan sumber air menjadi lebih dalam. Kalau sumur bor punya kedalaman yang lebih dalam, biasanya segel casing dibangun 1,5 m mengelilingi pipa casing. Terkadang segel juga dibangun pada

kedalaman yang lebih dalam di antara akuifer yang berbeda. Hal ini juga punya tujuan yaitu untuk mencegah akuifer yang satu mengalir ke akuifer yang lain yang bisa berpotensi menyebabkan hilangnya sumber daya serap dan sumber air juga terjadinya kerusakan sumur bor.

Screen dalam casing yang dipakai untuk menyaring kerikil dan pasir memungkinkan terjadinya aliran air ke dalam sumur dengan maksimal. Konstruksinya sangat beragam, screen diatur atau direkayasa dengan panjang lebih dari 15 m dan beberapa lubangnya menekan melalui casing. Susunan yang ditemui dalam pengeboran dan penggunaan sumur menentukan jenis layar yang dibutuhkan.

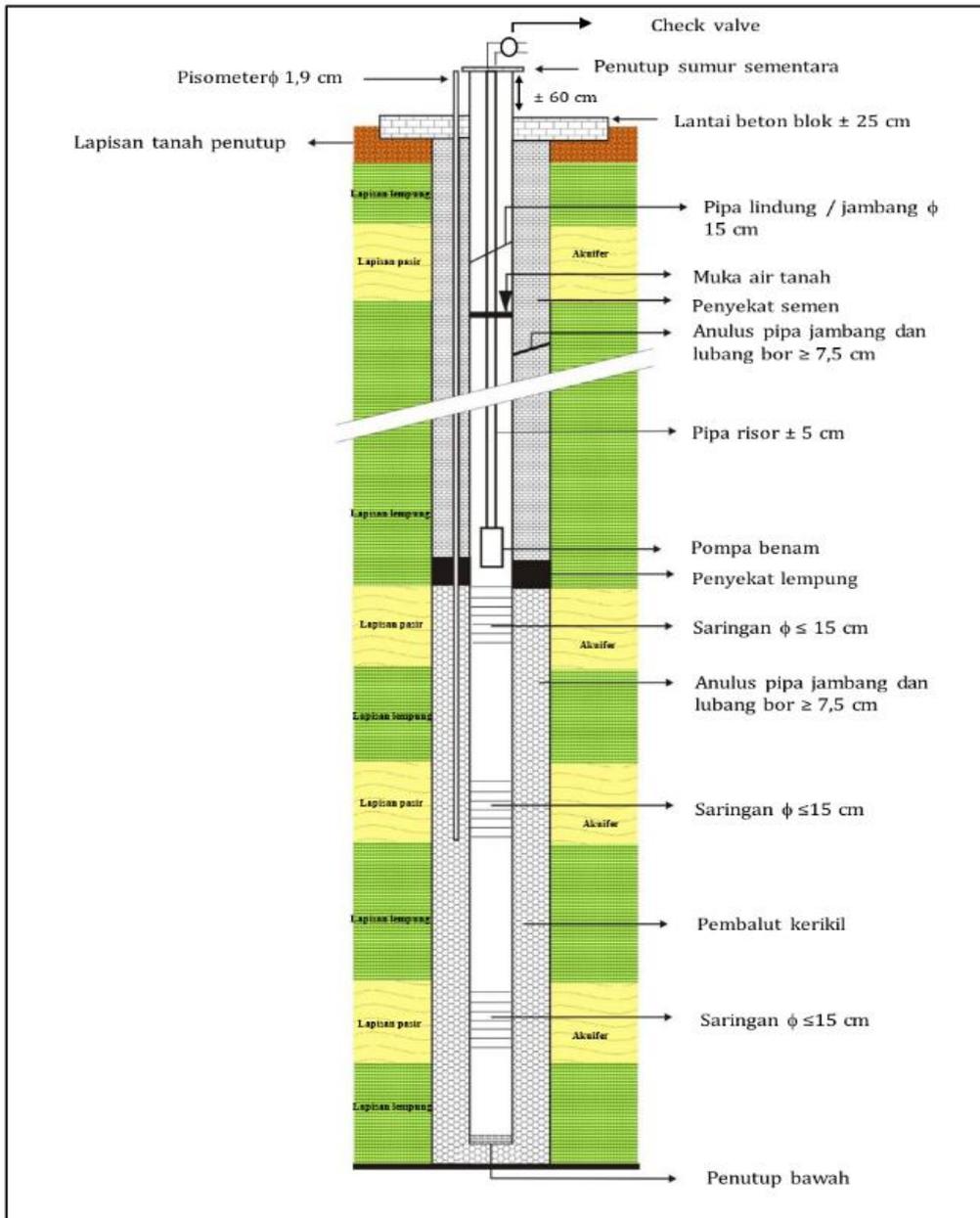
#### **b) Pompa**

Meskipun beberapa sumur bor airnya dapat mengalir sendiri hingga ke permukaan tanah (sumur artesis), tapi kebanyakan tetap perlu pompa untuk mendapatkan air dari dalam sumur. Hampir semua sumur dengan pompa air umumnya didesain secara sentrifugal dengan memakai impeller spiral untuk menarik atau mendorong air keluar dari sumur. Dan yang paling umum yaitu desan sentrifugal di atas tanah, dimana motor (dinamo) dan pompa berada di dekat sumur atau di atas sumur. Pompa ini bisa mengangkat atau menggerakkan volume air yang besar, namun biasanya tak bisa mengangkat air dari kedalaman lebih dari 8 m.

Umumnya sumur bor dengan tingkat air yang stabil (statis) perlu persyaratan yang lebih sedikit supaya air bisa keluar dari sumur, seperti sumur-sumur masyarakat yang memakai pompa submersible. Biasanya pompa jenis ini melekat langsung di atas sumur. Kalau pompa turbin biasanya digunakan untuk sumur dengan level yang lebih dalam dan sering dipakai dalam jumlah besar. Pompa turbin ini biasanya melekat langsung di atas dinamo sumur dan bagian lain

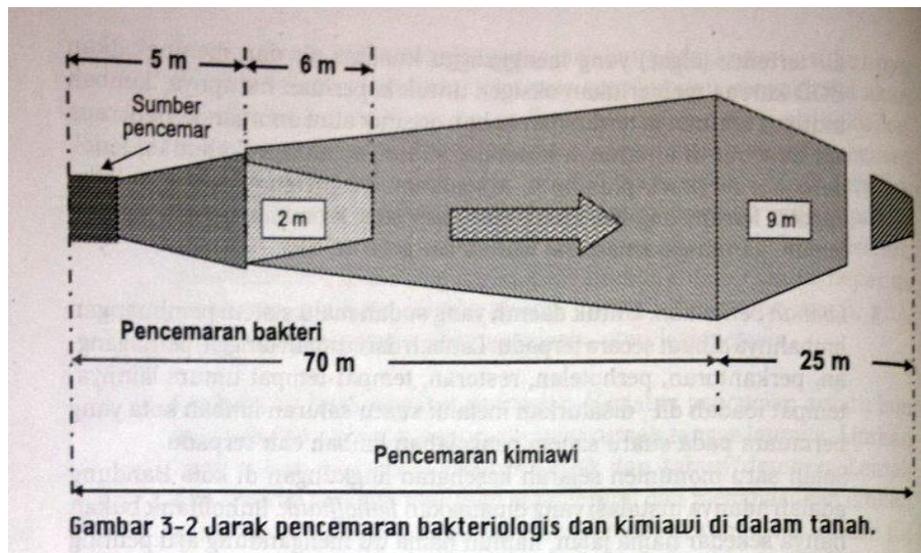
ditanggihkan di dalam sumur. Pompa jenis ini punya dinamo motor yang diletakkan di atas sumur dengan panjang porosnya memutar jauh di bawah permukaan.

Gambar di bawah ini menunjukkan syarat yang harus di penuhi dalam pembuatan Sumur Bor :



Contoh Gambar Penampang Tegak Kontruksi Sumur Bor Produksi tipe 2

## H. Penyebaran Mikroorganisme dan Bahan Kimia



Gambar 7

Penyebaran Mikroorganisme dan Bahan Kimia dalam suatu pencemaran terhadap air tanah di sekitarnya.

Sumber : <https://slidetodoc.com/pengolahan-limbah-domestik-limbah-adalah-semua-benda-yang/>

Pencemaran yang ditimbulkan oleh bakteri terhadap air yang ada di dalam tanah dapat mencapai jarak 10-15 m searah dengan aliran tanah. Oleh karena itu, pembuatan sumur gali untuk keperluan rumah tangga sebaiknya berjarak 11 m dari sumber pencemar.

2. Pencemaran terhadap bahan kimia dapat mencapai 95 m dengan demikian, sumber air yang ada di masyarakat sebaiknya harus berjarak lebih besar dari 95 m dari tempat pembuangan bahan kimia (Kusnoputranto, 1985).

### I. *Escherichia coli*

## 1. Definisi, Sumber, Kegunaan dan Karakteristik

*Escherichia coli* atau biasa disingkat *E. coli* adalah bakteri yang ditemukan oleh *Theodor Escherich* pada tahun 1885, berbentuk batang, hidup aerobik/an aerobik fakultatif, gram negative, penghuni usus (enteron) hewan dan manusia dan mempunyai karakteristik seperti bakteri *Coliform* karena termasuk basil *Coliform*. *Coliform* dapat berubah menjadi oportunistik pathogen bila hidup di luar usus, menyebabkan infeksi saluran kemih, infeksi luka dan mastitis pada sapi.

Dari segi jumlahnya, bakteri ini bukanlah bakteri terbanyak di usus, kalah jumlahnya dengan jumlah *Bacteroides* dan *Bifidobacterium*.. Meskipun beberapa strain tidak berbahaya tetapi beberapa jenis diketahui menghasilkan racun *Verotoksin (VT)* yang dapat menyebabkan diare. Strain *E.coli 0157:H7* dapat menyebabkan diare yang parah dan kerusakan ginjal. Semua orang dari berbagai umur dapat terinfeksi bakteri ini, tetapi yang dapat mengalami komplikasi serius adalah anak-anak dan lansia. (*American Academy of Family Physicians, 1999-2006*)

Sumber lain menyebutkan bahwa *E.coli* bergerak dan terdapat komensal dalam usus manusia mulai dari bayi baru lahir sampai meninggal. Walaupun pada umumnya tidak berbahaya untuk manusia, tetapi beberapa strain yang disebut *Enteropathogenic E.coli (EPEC)* seperti *O111 B4, O55 B5, O26 B6, O125 B15, O127 B8* ialah sangat pathogen untuk manusia terutama untuk bayi baru lahir.

*E.coli* dapat tumbuh pada suhu antara 10 – 40 °C, dengan suhu optimum 37

°C pH optimum untuk pertumbuhannya adalah pada 7,0 – 7,5; pH minimum pada 4,0 dan maksimum pada 9,0. Nilai Aw minimum untuk pertumbuhan *E. coli* adalah

0,96. Bakteri ini relative sangat sensitive terhadap panas dan diinaktifkan pada suhu pasteurisasi makanan atau selama pemasakan makanan. *E.coli* juga dapat hidup lama di luar usus dan mudah diidentifikasi serta dapat digunakan untuk menunjukkan cemaran tinja (indikator pencemaran ) dalam air minum dan makanan, sehingga bila ditemukan *E.coli* dalam air minum dan makanan, berarti air minum dan makanan tersebut telah terinfeksi oleh isi dan bakteri usus yang diantaranya mungkin pula penyebab penyakit dan harus diambil tindakan pengamanan. Jumlah total bakteri dalam air minum harus di bawah 100 sel / ml. Sedangkan dalam 100 ml air minum tidak boleh ditemukan *E.coli*.

Termasuk golongan bakteri apatogen di luar *E.coli* adalah *Pseudomonas (Pyocyanus)*, *Staphylococcus albus (Epirdermidis)*, *Streptococcus anhemolyticus*, *S. faecalis*, *Proteus*, *Lactobacillus*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Serratia marcescens* dan sebagainya. Golongan bakteri ini biasanya terdapat komensal dalam usus, tetapi dalam keadaan tertentu seperti *malnutrition*, statis dari pada usus (misalnya pada penyakit *Hirschsprung*, *obstruksi usus*, *atresia ani* dan lain-lain), pada penyakit yang berat (*morbilli*, *meningitis*), pada prematuritas (*low birth weight infants*), pada keadaan terdapatnya *defisiensi* dari pada *imunoglobulin* (bawaan atau didapat) bakteri-bakteri ini akan tumbuh dengan subur (*over growth*) sehingga mengakibatkan gangguan pencernaan dan absorpsi dari pada makanan dan akhirnya menyebabkan diare akut maupun kronik (*Dammin, 1964; Donaldson, 1967; Gorbach, 1969; Piere, 1971; Gracey, 1973, 1974*). Selain itu beberapa penyelidik

(*Prescott, 1971; James, 1972; Gracey dan Stones, 1972; Gracey, 1973*) mendapatkan bahwa pada diare kronik dan *malnutrition* didapatkan pula bakteri

*anaerob.*

Bakteri *E.coli* sebenarnya berguna untuk kita yaitu dapat membantu kita dalam proses pencernaan makanan, menekan pertumbuhan spesies bakteri lain yang berbahaya dan dapat menyintesis beberapa jenis vitamin untuk kebutuhan proses metabolisme dalam tubuh. (Priti M, L, 2006)

Ada beberapa alasan mengapa bakteri *E.coli*, *Streptokokus fekal* dan *Clostridium perfringens* digunakan sebagai indikator sanitasi :

1. Karena terdapat dalam jumlah besar di dalam kotoran manusia dan hewan, dimana bakteri tersebut merupakan bakteri komensal di dalam saluran pencernaan manusia dan hewan.
2. Bakteri – bakteri tersebut pada umumnya tidak tumbuh di dalam saluran pencernaan organisme lainnya kecuali manusia dan hewan berdarah panas.
3. Bakteri indikator harus selalu terdapat di dalam contoh dimana ditemukan mikroorganisme *pathogen enteric*.
4. Bakteri indikator harus dapat hidup lebih lama dibandingkan dengan bakteri *pathogen enteric* yang berbahaya.
5. Prosedur untuk uji bakteri indikator harus sangat spesifik yang berarti tidak memberikan hasil positif yang salah, dan sangat sensitif yang berarti dapat mendeteksi adanya bakteri indikator dalam jumlah sangat kecil.
6. Prosedur untuk uji bakteri indikator harus relatif mudah dikerjakan.
7. Prosedur untuk uji bakteri indikator harus aman yang berarti tidak boleh membahayakan bagi kesehatan orang yang melakukannya.

8. Jumlah bakteri indikator harus dapat menunjukkan tingkat polusi, yang berarti kira-kira jumlahnya sebanding dengan jumlah mikroorganisme patogen yang terdapat di dalam air atau makanan

Beberapa ciri penting suatu organisme indikator ialah :

1. Terdapat dalam air tercemar dan tidak ada dalam air yang tidak tercemar.
2. Terdapat dalam air bila ada patogen.
3. Jumlah mikroorganisme indikator berkorelasi dengan kadar polusi.
4. Mempunyai kemampuan bertahan hidup yang lebih besar dari pada patogen.
5. Mempunyai sifat yang seragam dan mantap.
6. Tidak berbahaya bagi manusia dan hewan.
7. Terdapat dalam jumlah yang lebih banyak dari pada patogen. Hal ini membuatnya mudah dideteksi.
8. Mudah dideteksi dengan teknik-teknik laboratorium yang sederhana.

Oleh karena itu pemeriksaan mikrobiologis yang rutin terhadap air untuk menentukan aman tidaknya untuk diminum, tidaklah cukup bila mendasarkan uji-*uji* yang digunakan hanya terhadap adanya (terisolasinya) mikroorganisme *patogenik* karena alasan sebagai berikut :

1. Kemungkinan besar patogen masuk ke dalam air secara sporadis, tetapi karena tidak dapat bertahan hidup lama, maka mungkin saja tidak terdapat di dalam contoh air yang dikirimkan ke laboartorium.
2. Bila terdapat dalam jumlahnya amat sedikit, maka besar kemungkinan patogen- patogen tersebut tidak terdeteksi oleh prosedur laboratoris yang digunakan.
3. Hasil pemeriksaaan laboartorium baru dapat diketahui setelah 24 jam atau

lebih.

Apabila ternyata ditemukan adanya patogen, sementara itu tentunya banyak orang yang telah mengkonsumsi air tersebut dan telah terepose terhadap infeksi sebelum dapat dilakukan usaha untuk mengatasi situasi tersebut.

Telah dikemukakan pula bahwa aspek bakteriologik dari pada diare pada bayi dan anak dalam menghadapi penderita dengan diare akut maupun kronik adalah :

1. Walaupun infeksi bacteria pathogen (*Shigella, Salmonella, E. coli, Vibrio*) hanya merupakan sebagian kecil (15% - 35 %) dari pada penyebab diare, tetapi tetap memegang peranan penting karena dapat menyebabkan kematian yang tinggi.
2. Bakteri yang tergolong apatogen mungkin mempunyai peranan besar pula dalam menimbulkan diare selain virus, demikian pula bakteri anaerob.
3. Tidak boleh dilupakan adanya efek *sinergistik* antara infeksi dan *malnutrition*(Schrimshaw, 1968).

## **2. Mekanisme masuknya *E.coli* ke manusia**

Perilaku yang tidak higienis terutama setelah buang air besar, dapat menjadi penyebab masuknya *E.coli* ke dalam tubuh manusia saat kita makan dan atau menyuapi anak atau lansia.( Sarbini, 2006).

Manusia terinfeksi *E.coli* didapat dari makanan dan atau minuman yang terkontaminasi. Untuk bakteri *E.coli* 0157:H7 hidup di usus sapi yang sehat dan kontaminasi dapat terjadi ketika proses penyembelihan. Daging rusa (vension) juga dapat terinfeksi oleh organisme ini. Mengkonsumsi daging sapi atau rusa yang tidak cukup matang adalah penyebab utama manusia dapat terinfeksi. (*American Academy of Family Physicians, 1999- 2006*)

Seseorang yang terinfeksi bakteri *E.coli* 0157:H7 dapat ditemukan di kotorannya hingga 2 minggu setelah gejalanya berhenti. Orang-orang ini dapat menularkan bakteri *E.coli* 0157:H7 kepada orang lain jika mereka tidak mencuci tangannya setelah dari toilet. Anak-anak memiliki resiko “*Outbreaks*” karena banyaknya jumlah anak-anak yang kurang paham mencuci tangan setelah dari toilet. Hal ini juga menjadikan resiko penularan kepada teman-temannya dan keluarga. (*American Academy of Family Physicians, 1999- 2006*)

Bakteri ini masuk ke dalam tubuh manusia melalui tangan atau alat-alat seperti botol, dot, thermometer yang tercemar oleh tinja dari pada penderita atau carrier. Incidence lebih banyak pada bayi baru lahir sampai umur 6 bulan, lebih banyak timbul pada bayi yang minum susu botol dari pada yang minum air susu ibu, lebih sering terjadi epidemi di ruang bayi baru lahir di suatu rumah sakit dari pada di luar rumah sakit. Di negara yang sudah maju, maupun di negara-negara yang sedang berkembang. *E.coli* patogen ini sering merupakan problem dan belum dapat diberantas. Kesulitan timbul karena beberapa strain dari pada *E.coli* ini *cepat resisten* terhadap obat-obat baru seperti *Neomycin, Ampicillin dan Colimycin*. (Depkes RI, 2006)

Pada pembuangan tinja yang tidak saniter, *E.coli* dapat dengan mudah mencemari air tanah permukaan, sehingga bila air tanah tersebut bila dipakai sebagai sumber air minum dan masak yang kemudian tidak dilakukan pemasakan sampai mendidih, dimungkinkan air minum tersebut akan mengandung bakteri *E.coli*. Begitu juga bila pengaliran air limbah domestik dari kandang peternakan, bila tidak dikelola dengan saniter, akan mudah mencemari air tanah permukaan. Lalat, kecoa dan tikus dapat juga berperan sebagai pembawa *E.coli* dari tinja hewan

dan manusia ke makanan, bila kita tidak melakukan perlindungan makanan dan tidak menjaga kebersihan lingkungan terutama pembuangan tinja, sampah dan limbah. (Akbar, F, 2004)

Sebagai agen penyebab penyakit diare, bakteri *E.coli 0157:H7* memproduksi *verotoksin* yang dapat melakukan perjalanan ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah, dari usus besar hingga ke organ ginjal. Jika toksin sudah sampai di organ ginjal, kondisi penderita dapat bertambah fatal. Sel endotel pada glomerulus ginjal memiliki reseptor khusus yang mampu berikatan dengan toksin dari bakteri ini. Kerusakan pada pembuluh darah akan terjadi akibat adanya ikatan antara toksin dan reseptor yang dinamakan *Globotriaosyl ceramide* ini. Akibatnya infeksi bisa berkembang menjadi HUS, urin akan bercampur dengan darah (hematuria), timbul gejala anemia, bahkan bisa menyebabkan disfungsi ginjal, Maka dialysis (cuci darah) merupakan satu-satunya pilihan pengobatan yang diharapkan dapat memperpanjang usia. (Priti M, L, 2006)

Ada beberapa cara manusia terinfeksi oleh *E.coli 0157:H7* yaitu melalui:

1. Mengonsumsi produk daging sapi yang kurang matang khususnya "*Ground beef*"
2. Mengonsumsi susu, jus buah dan sari apel yang tidak dipasteurisasi.
3. Mengonsumsi sayur dan buah mentah yang belum dicuci.
4. Meminum atau berenang di air yang terkontaminasi dengan kotoran hewan atau manusia.

Berikut beberapa makanan yang dapat menyebabkan keracunan *E.coli* :

1. *Ground Beef* yang kurang matang.
2. Sayuran yang tumbuh dengan pupuk hewan atau dicuci dengan air yang

terkontaminasi.

3. Jus yang tidak dipasteurisasi (Vries, Garry Cores de, 2006)

### **3. Dampak kesehatan yang ditimbulkan**

Strain bakteri *E.coli* dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia seperti diare, muntaber dan masalah pencernaan lainnya,. diketahui ada 5 *pathotypes* diare yang diakibatkan oleh strain *E. coli* yaitu :

1. *Shiga Toxin Producing E.coli (STEC)* yaitu diare yang ditandai nyeri perut yang hebat yang mulanya tidak ada pendarahan, tetapi bila berlanjut dapat terjadi pendarahan usus (*haemorrhagic colitis*), kadang-kadang terjadi demam, infeksi pada saluran kencing (*Hemolytic Uremic Syndrome / HUS*), *Postdiarrheal Thrombotic Thrombocytopenic Purpura (TTP)*, . *Shiga Toxin Producing E.coli 0157 : H7* adalah paling virulent diantara *pathotypes* yang lain.

2. *Enteropathogenik E.coli (EPEC)* adalah diare yang ditandai dengan berak berair sehingga sering menimbulkan penderita kekurangan cairan yang berakibat kematian. Bila berlanjut dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan. Di Negara miskin, paling sering menyerang bayi dan anak-anak yang usianya di bawah 2 tahun secara sporadis dan endemis.

3. *Enterotoxigenic E.coli* adalah diare yang ditandai dengan berak berair, dan kejang perut yang berlangsung singkat 1 – 5 hari terus sembuh sendiri.

4. *Enteroinvasive E.coli (EIEC)* yaitu diare dengan gejala mirip persis dengan gejala klinis oleh infeksi *Shyggella* (tidak berdarah dan lendir), demam dan tinjanya mengandung *leukosit*.

5. *Enteraggregative E.coli (EAEC)* yaitu diare yang tidak mempunyai gejala infeksi yang khas, berak berair, paling sering menyerang anak-anak di

negara- negara miskin, tetapi semua usia bisa terkena juga dengan jangka waktu > 14 hari.

Dari 5 *pathotypes* diare yang diakibatkan oleh strain *E. coli*, pada gejala klinis awal secara awam masyarakat tidak dapat membedakannya. Dengan dasar itu, maka semuanya dianggap sebagai penyakit diare. (*American Academy of Family Physicians, 1999-2006*).

### **2.1.1. Cara ukur**

Cara ukur *E.coli* hanya dapat dilakukan dengan pemeriksaan laboratorium. Salahsatu cara yang sederhana adalah pemeriksaan kualitas bakteriologis air dengan metode H<sub>2</sub>S yaitu metode pemeriksaan bakteriologis air untuk medeteksi adanya kelompok bakteri pembentuk H<sub>2</sub>S. Kelompok bakteri tersebut antara lain *Proteus*, *Strein Klebsiella*, *Clostridium* dan *Salmonella*. Prinsip metode ini adalah kelompok bakteri tersebut di atas yang berada di dalam media yang mengandung *peptone* dan *thiosulfate* akan terjadi reduksi (*hydrogenation*) *organic sulfur* oleh *microbial enzymes* sehingga terbentuk gas H<sub>2</sub>S dengan indikator garam kuat *Ferric Ammonium Citrate* akan terjadi endapan hitam. Bilamana terdapat kelompok bakteri pembentuk gas H<sub>2</sub>S yang ditunjukkan dengan adanya endapan hitam, berarti berhubungan erat dengan adanya bakteri *coli* yang berarti merupakan petunjuk atau indikator bahwa air yang diperiksa telah tercemar oleh tinja.( Depkes RI, 2004)

Metode Sanitarian KIT test adalah metode yang sederhana karena beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. Dapat dilakukan pemeriksaan di lapangan/lokasi dekat dengan sarana air bersih.
2. Dapat dieramkan dalam suhu kamar 25 °C - 32 °C.

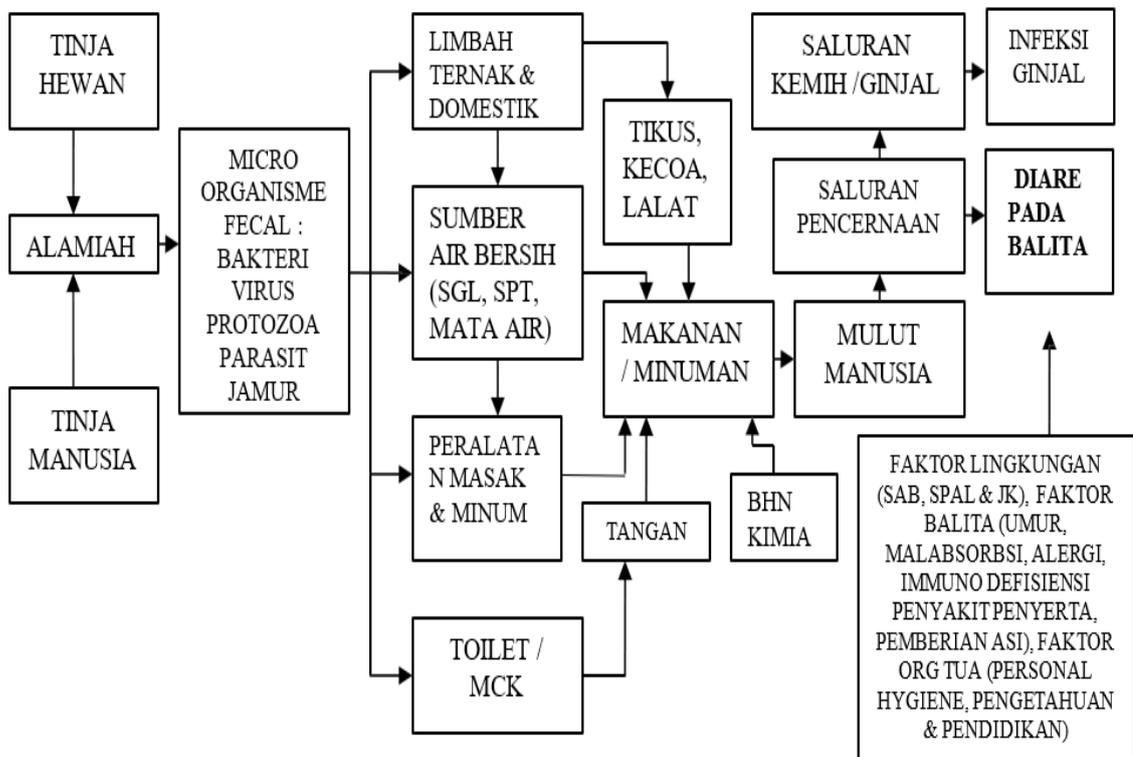
3. Tanpa menggunakan inkubator untuk pengeraman sampel air (dapat menghemat pemakaian listrik).
4. Pemiakan dapat dilakukan selama 18 – 24 jam (satu kali).
5. Sampel air yang positif ditunjukkan adanya indikator endapan berwarna hitam.
6. Hasil positif atau negatif dapat dilihat langsung dengan mudah dan dicatat oleh petugas (kader desa).
7. Hasil pemeriksaan dapat langsung sebagai umpan balik kepada pemilik/kelompok pemakai air yang bersangkutan.

Cara lain adalah petunjuk pertama bahwa air yang diperiksa itu mengandung bakteri *E.coli* adalah bila dalam tabung peragian (*labu Einhorn*) yang diisi larutan *agar peptone – laktosa* diinkubasi pada 37° C selama 24 jam ditemukan gas *hydrogen dan karbon dioksida* dengan jumlah perbandingan sama (stokhiometrik) 1 :

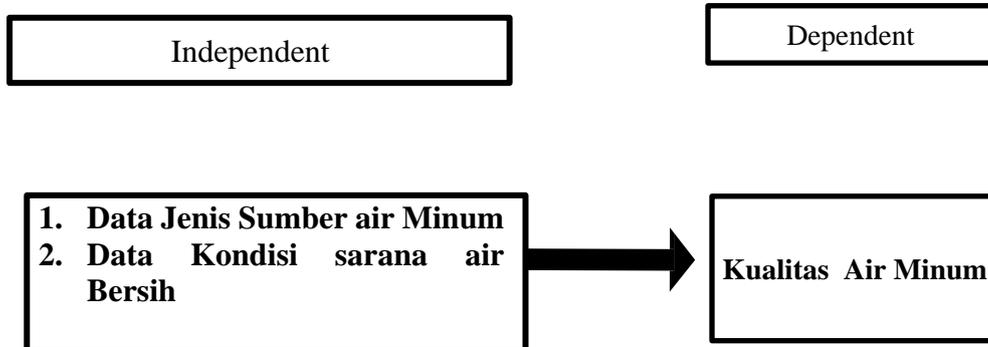
1. Bila *E.coli* ini dioleskan pada agar *eosin biru metilena (laktosa – peptone – eosin – biru metilena)*, maka koloni berwarna hitam kebiruan tua dan memperlihatkan kilap logam yang ditimbulkan oleh pemantulan cahaya. (Baskoro, T, 2005)

### C. Kerangka teori

Berdasarkan tinjauan pustaka, terjadinya diare pada balita disebabkan oleh berbagai faktor yang salahsatunya adalah infeksi oleh mikro organisme *fecal* (bakteri, virus, protozoa, parasit dan jamur) terhadap makanan dan atau minuman yang dikonsumsi melalui berbagai media kemudian masuk ke saluran pencernaan. Kejadian diare juga dapat disebabkan oleh bahan kimia. Faktor lain yang mempengaruhi terjadinya diare adalah faktor lingkungan (kondisi sarana air bersih, sarana pengelolaan air limbah dan jamban keluarga), faktor balita (umur, malabsorpsi, alergi, immuno defisiensi, penyakit penyerta, pemberian ASI), faktor orang tua balita (higine perorangan, pengetahuan, pendidikan, status ekonomi). Berikut kerangka teori terjadinya diare tersebut :



#### D. Kerangka Konsep



Data Jenis Sarana dan kondisi Air Minum adalah variabel independen ( Bebas ) , sedangkan Kualitas Air Minum adalah variabel dependen ( Terikat )