

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air

1. Pengertian air

Air merupakan senyawa kimia sederhana dengan rumus kimia H₂O yang menjadi asal muasal kehidupan di Bumi serta awal dari perkembangan peradaban dunia. Air merupakan zat yang berbentuk cair dalam kondisi normal di permukaan bumi, yang akan mengalami pembekuan pada suhu di bawah 0° C dan mendidih pada suhu 100° C. Menurut Kamus Bahasa Indonesia air adalah cairan jernih tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau yang diperlukan dalam kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan yang secara kimiawi mengandung hidrogen dan oksigen (Kamus Pusat Bahasa, 2008) . Air merupakan komponen utama penyusun tubuh manusia yang memiliki peran sangat penting dalam menjaga keseimbangan fungsional tubuh manusia. Manfaat air sangat banyak, tetapi fungsi utama air adalah untuk memfasilitasi semua organ tubuh dengan benar (Mariyam dkk., 2023).

2. Air minum

Air minum adalah air yang memenuhi syarat kesehatan, baik melalui pengolahan maupun tanpa pengolahan, dan dapat langsung diminum. Persyaratan kesehatan pada air mencakup perlindungan dari pencemaran, hewan pembawa penyakit, dan tempat berkembang biak vektor, serta memastikan bahwa air aman dari kemungkinan kontaminasi.

Pengolahan, penyimpanan dan penyajian air minum harus mengikuti prinsip higiene dan sanitasi (Kementerian Kesehatan, 2023).

Prinsip higiene dan sanitasi merupakan kegiatan yang bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas air minum bebas dari unsur-unsur yang dapat membahayakan kesehatan seperti mikrobiologi, fisika, kimia dan radioaktif (Kementerian Kesehatan, 2023).

B. Depot Air Minum Isi Ulang

1. Pengertian depot air minum isi ulang

Depot Air Minum (DAM) adalah sebuah usaha yang mengolah air mentah menjadi air minum dalam bentuk tanpa merek tertentu dan menjualnya kepada konsumen (Kementerian Kesehatan, 2023). Air minum isi ulang adalah air yang telah melalui proses pemurnian dan tidak memiliki merek tertentu. Proses produksi air minum isi ulang melibatkan penyaringan dan pemurnian, yang kemudian diisi kembali ke dalam wadah pelanggan. Air yang dihasilkan harus memenuhi standar kesehatan dan keselamatan yang ketat (Rahman & Utina, 2023).

Kualitas biologis air sangat dipengaruhi oleh sumber air baku yang digunakan. Pencemaran pada air baku dapat menyebabkan adanya mikroorganisme tertentu dalam air yang akan dipasarkan. Depot air minum isi ulang (DAMIU) adalah salah satu usaha yang berisiko tinggi terkontaminasi oleh mikroorganisme (Suryani & Kusumayati, 2022).

2. Pencemaran air minum isi ulang

Pencemaran pada air minum isi ulang dapat disebabkan oleh masuknya atau penambahan zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Karena pencemaran air minum isi ulang tersebut sehingga kualitas air minum turun hingga tingkat tertentu yang dapat membahayakan. Air tersebut tidak dapat lagi digunakan untuk konsumsi dan hanya dapat digunakan untuk tujuan lain yang tidak membahayakan makhluk hidup. Cara masuknya bahan pencemar ke dalam air bervariasi. Dalam kasus pencemaran mikroba, penyebarannya dari tinja ke air minum dapat terjadi melalui air, tangan, vektor, dan tanah (Pakpahan dkk., 2015).

Faktor dan kondisi yang menyebabkan kualitas bakteriologis air pada depot air minum isi ulang tidak memenuhi standar kesehatan meliputi (Ulfa dkk., 2023) :

- a. Keberadaan bakteri total *coliform* dan *E. coli* dalam air minum disebabkan oleh adanya kontaminasi pada peralatan pengolahan air minum, serta kurangnya pengetahuan mengenai higiene oleh pemilik depot, sanitasi tempat pengolahan air minum, ataupun sistem distribusi pada pipa penyalur air minum.
- b. Pengambilan sampel air minum sebelum proses pengendapan dapat menyebabkan kekeruhan pada air minum, yang dapat memicu pertumbuhan bakteri.

- c. Suhu penyimpanan sampel air minum yang tidak sesuai dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri, di mana bakteri *coliform* memerlukan suhu 37° C sebagai suhu optimal untuk berkembang biak.
- d. Proses desinfeksi/sterilisasi yang tidak optimal, terutama pada depot yang menggunakan sistem desinfeksi/sterilisasi dengan ultraviolet.

3. Peralatan depot air minum isi ulang

Khusus untuk peralatan Depot Air Minum (DAM), setidaknya harus memenuhi persyaratan berikut (Kementerian Kesehatan, 2014) :

- a. Peralatan dan perlengkapan yang digunakan mencakup pipa pengisian air baku, tendon air baku, pompa penghisap dan penyedot, filter, mikrofilter, wadah/galon air baku atau air minum, keran pengisian air minum, keran pencucian/pembilasan wadah/galon, keran penghubung, dan peralatan desinfeksi. Semua peralatan tersebut harus terbuat dari bahan yang aman untuk pangan (*food grade*), tidak beracun, tidak menyerap bau dan rasa, tahan karat, serta tahan terhadap pencucian dan desinfeksi ulang.
- b. Mikrofilter dan desinfektor harus dalam kondisi tidak kadaluwarsa.
- c. Tendon air baku harus tertutup dan terlindung.
- d. Wadah/galon untuk air baku atau air minum harus dibersihkan dengan cara dibilas terlebih dahulu menggunakan air produksi

selama minimal 10 (sepuluh) detik sebelum diisi, dan setelah pengisian, wadah harus ditutup dengan bersih.

- e. Wadah/galon yang telah diisi air minum harus segera diserahkan kepada konsumn dan tidak boleh disimpan di Depot Air Minum lebih dari 1×24 jam.

4. Pengolahan air minum isi ulang

Sistem pengolahan air minum isi ulang berperan penting dalam memastikan kualitas air yang aman untuk dikonsumsi. Berbagai metode pengolahan air yang digunakan antara lain adalah: desinfeksi (meliputi pemanasan, chlorinisasi, ozonisasi, dan sinar ultraviolet), destilasi, mikrofiltrasi, serta filtrasi (menggunakan alumina aktif, karbon aktif, dan pertukaran anion dan kation). Teknologi *Reverse Osmosis* (RO) sering dianggap sebagai salah satu metode yang paling efektif (Syahid dkk., 2019).

Reverse Osmosis merupakan metode pemurnian yang dilakukan melalui membran *semi-permeabel*. *Reverse Osmosis* berfungsi dengan memanfaatkan membran *semi-permeabel* yang memungkinkan molekul air untuk melewati, sementara sebagian besar kontaminan dan zat pencemar ditahan. Proses ini melibatkan penerapan tekanan tinggi yang melebihi tekanan osmosis alami, sehingga air dapat berpindah dari daerah dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi ke daerah dengan konsentrasi yang lebih rendah (Syahid dkk., 2019).

Selama proses ini berlangsung, kotoran dan bahan berbahaya akan dikeluarkan sebagai air tercemar (limbah). Molekul air dan bahan mikro yang memiliki ukuran lebih kecil dari membran *Reverse Osmosis* akan dapat melewati membran tersebut. Membran RO memiliki kemampuan untuk menghilangkan hingga 95-98% zat pencemar, termasuk garam, logam berat, dan mikroorganisme (Syahid dkk., 2019). Hal ini menjadikan air yang dihasilkan sangat murni dan aman untuk dikonsumsi.

Membran yang digunakan dalam sistem *Reverse Osmosis* (RO) tersedia dalam berbagai konfigurasi, seperti membran serat *hollow*, lempeng (*plate*), atau *spiral wound* (Syahid dkk., 2019). Masing-masing jenis membran memiliki keunggulan tertentu terkait efisiensi dan kapasitas. Teknologi membran RO mampu menghasilkan air minum berkualitas tinggi dengan cepat berkat penggunaan tenaga pompa.

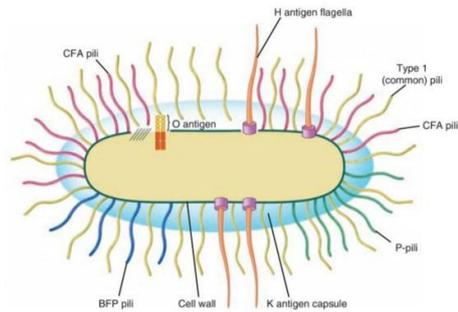
Air yang dihasilkan melalui proses RO tidak hanya bebas dari bakteri, tetapi juga dari berbagai kontaminan kimia dan fisik. Proses ini berlangsung dengan cepat dan efisien, berkat penggunaan pompa yang meningkatkan tekanan (Syahid dkk., 2019). Air yang diolah dengan sistem RO dapat langsung dikonsumsi, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk pengolahan air minum isi ulang. Selain itu, teknologi ini juga dapat diterapkan dalam berbagai sektor industri dan rumah tangga.

C. *Escherichia coli*

1. Pengertian *E. coli*

E. coli merupakan salah satu bakteri *coliform* yang tergolong dalam famili *Enterobacteriaceae*. *Enterobacteriaceae* adalah bakteri enterik yang dapat hidup dan bertahan di dalam saluran pencernaan. *E. coli* memiliki bentuk batang, bersifat Gram-negatif, fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan merupakan flora alami di usus mamalia (W. P. Rahayu dkk., 2018).

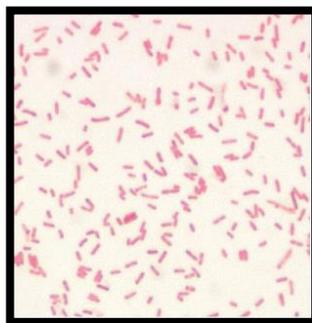
E. coli berperan sebagai bakteri indikator kualitas air minum, karena keberadaannya dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut terkontaminasi oleh feses, yang mungkin juga mengandung mikroorganisme enterik patogen lainnya. Bakteri *E. coli* pencemar dapat bersumber dari tinja yang berada pada sumber pencemar seperti sampah atau WC yang dekat dengan sarana penjaja (Widyaningrum & Resi, 2021). Bakteri *E. coli* yang terdapat dalam air umumnya adalah *E. coli* non-patogen, namun terkadang juga ditemukan strain patogen seperti enterotoksigenik dan *E. coli* yang memproduksi *Shiga-toxin* (Enterohemoragik) (W. P. Rahayu dkk., 2018).



Gambar 1. Struktur Antigen Bakteri *E. coli*

(Ahmad et al., 2018)

Genus *Escherichia* termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae*, di mana *E. coli* dan bakteri *coliform* lainnya umumnya terdapat pada limbah dan air yang terkontaminasi. Infeksi sering kali terjadi akibat menelan makanan dan minuman yang terkontaminasi oleh air yang tidak melalui proses pematangan terlebih dahulu. Kebersihan pribadi juga sangat penting dalam mencegah penyebaran infeksi yang berkaitan dengan bakteri *E. coli*. Beberapa kasus penyakit infeksi yang secara langsung terkait dengan infeksi bakteri *E. coli* meliputi septikemia, diare, gastroenteritis, dan meningitis neonatus (Wahyuningsih dkk., 2023).



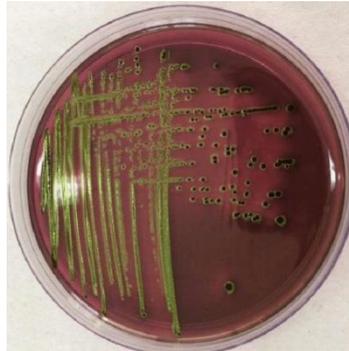
Gambar 2. Bakteri *E. coli* Gram-Negatif

(Cappuccino & Welsh, 2018)

2. Morfologi *E. coli*

E. coli merupakan bakteri Gram negatif yang berbentuk batang dengan ukuran berkisar antara 1,0-1,5 $\mu\text{m} \times$ 2,0-6,0 μm . Bakteri ini dapat bersifat tidak motil atau motil dengan flagela, serta dapat tumbuh dalam kondisi aerobik maupun anaerobik, bersifat fakultatif anaerobik, dan dapat bertahan pada media yang rendah nutrisi. Karakteristik biokimia lainnya dari *E. coli* adalah kemampuannya untuk memproduksi indol, kurang efisien dalam memfermentasi sitrat, dan menunjukkan hasil negatif pada analisis urease (W. P. Rahayu dkk., 2018)

E. coli mampu hidup dan bertahan pada tingkat keasaman yang tinggi di dalam tubuh manusia. Selain itu, *E. coli* juga dapat bertahan di luar tubuh manusia dengan penyebarannya melalui feses. Kedua habitat hidup *E. coli* ini cukup berbeda. Saluran pencernaan manusia merupakan habitat yang relatif stabil, hangat, bersifat anaerob, dan kaya akan nutrisi. Sementara itu, kondisi lingkungan di luar saluran pencernaan dapat sangat bervariasi, jauh lebih dingin, aerobik, dan memiliki kandungan nutrisi yang lebih rendah (W. P. Rahayu dkk., 2018).



Gambar 3. Bakteri *E. coli* Pada Media EMBA

(Putra dkk., 2020)

D. Identifikasi *E. coli*

1. Media *Lactose Broth*

Media *Lactose Broth* (LB) berfungsi sebagai media untuk mengidentifikasi ada tidaknya bakteri *coliform* dalam suatu sampel, dengan cara mengamati terbentuknya asam dan gas yang disebabkan oleh fermentasi laktosa oleh bakteri *coliform*. Uji ini dilakukan dengan cara menumbuhkan bakteri dalam media LB dan diinkubasi selama 24-48 jam. Hasil positif dan negatif didasarkan pada kekeruhan media dan terbentuk atau tidaknya gelembung pada tabung durham. Apabila media menjadi keruh dan terbentuk gelembung sebanyak paling tidak 10% dari volume tabung durham maka hasil positif (Habibah, 2016).



Gambar 4. Bakteri *E. coli* Pada Media *Lactose Broth*

2. Media *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA)

Dari tabung yang positif dengan terbentuknya gas, suspensi ditanamkan secara aseptis ke dalam media EMBA menggunakan jarum inokulasi. Koloni bakteri *E. coli* yang tumbuh memiliki warna kehijauan dengan kilau logam. Pewarnaan Gram mikroskopis menunjukkan bahwa bakteri tersebut adalah Gram negatif dan berbentuk basil (Arrizqiyani dkk., 2021).



Gambar 5. Bakteri *E. coli* Pada Media EMBA

3. Media Endo

Dari tabung yang positif dengan terbentuknya gas, suspensi ditanamkan secara aseptis ke dalam media Endo menggunakan jarum

inokulasi. Koloni bakteri *E. coli* yang tumbuh memiliki warna merah atau merah muda dengan kilau logam. Pewarnaan Gram mikroskopis menunjukkan bahwa bakteri tersebut adalah Gram negatif dan berbentuk basil (Arrizqiyani dkk., 2021).



Gambar 6. Bakteri *E. coli* Pada Media Endo

4. Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram membagi bakteri menjadi dua kelompok utama, yaitu Gram positif dan Gram negatif, berdasarkan perbedaan komposisi kimia dinding selnya. Sel Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal, sementara sel Gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis dan dikelilingi oleh lapisan luar yang mengandung lipid. Bakteri *E. coli* termasuk bakteri Gram negatif yang ditandai dengan warna merah pada pengamatan mikroskopis setelah pewarnaan gram (Cappuccino & Welsh, 2018).



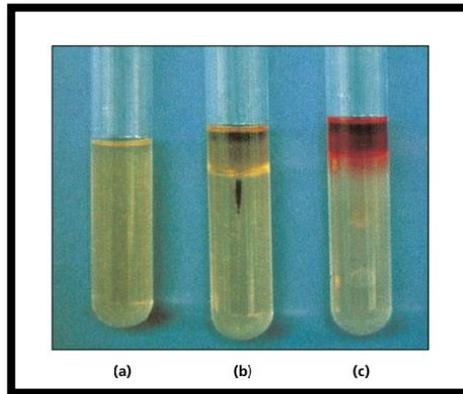
Gambar 7. Pewarnaan Gram Bakteri *E. coli*
(Cappuccino & Welsh, 2018)

5. Uji Biokimia

Uji biokimia merupakan uji konfirmasi yang dilakukan untuk mengidentifikasi bakteri *E. coli*. Uji biokimia terdiri dari Indol, *Methyl Red*, *Voges-Proskauer*, *Simmons Sitrat*, dan *Triple Sugar Iron Agar*.

a) Uji indol

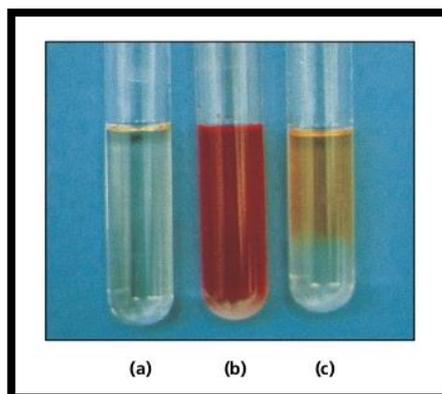
Uji indol bertujuan untuk menentukan kemampuan bakteri dalam memecah asam amino triptofan. Triptofan adalah asam amino esensial yang dapat mengalami oksidasi melalui aktivitas enzimatik dari beberapa bakteri. Hasil dari uji indol ditandai dengan terbentuknya lapisan (cincin) berwarna merah ceri pada permukaan biakan setelah penambahan reagen *Kovach*, yang menunjukkan bahwa bakteri ini dapat membentuk indol dari triptofan sebagai sumber karbon (Cappuccino & Welsh, 2018).



Gambar 8. Uji Biokimia Indol (a) tidak terinokulasi (b) negatif dan (c) positif (Cappuccino & Welsh, 2018).

b) Uji *Methyl red*

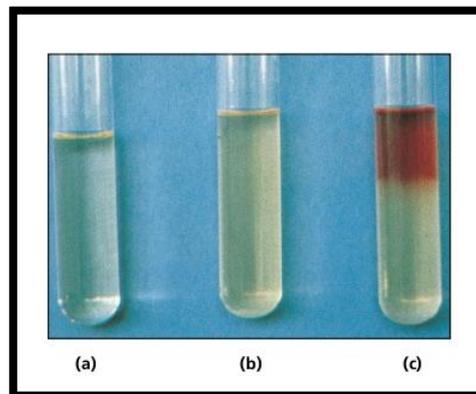
Uji *Methyl Red* digunakan untuk mendeteksi adanya pembentukan asam dengan pH di bawah 4. Penambahan indikator *Methyl Red* pada akhir pengamatan dapat menunjukkan perubahan pH menjadi asam (Cappuccino & Welsh, 2018).



Gambar 9. Uji Biokimia *Methyl Red* (a) tidak terinokulasi (b) positif dan (c) negatif (Cappuccino & Welsh, 2018).

c) Uji *Voges Proskauer*

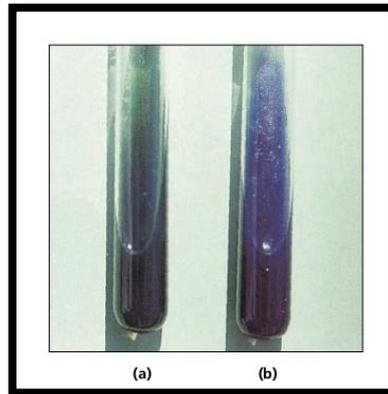
Uji *Voges-Proskauer* bertujuan untuk membedakan jenis bakteri dari keluarga *Enterobacteriaceae*. Uji *Voges-Proskauer* positif ditandai dengan perubahan warna biakan menjadi merah muda setelah penambahan larutan *alpha-naphthol* dan KOH 10% (Cappuccino & Welsh, 2018).



Gambar 10. Uji Biokimia *Voges Praskauer* (a) tidak terinokulasi (b) negatif dan (c) positif (Cappuccino & Welsh, 2018)

d) Uji *Simmon's Sitrat*

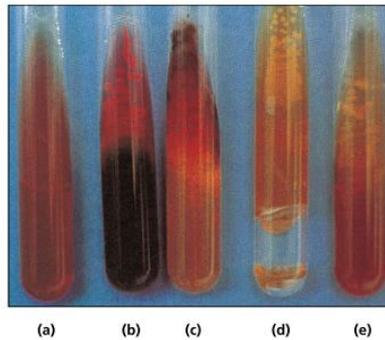
Uji *Simmons Sitrat* digunakan untuk mengamati kemampuan mikroorganisme dalam menggunakan sitrat sebagai sumber karbon untuk energinya. Jika mikroorganisme mampu menggunakan sitrat, maka asam akan dihilangkan dari medium biakan, yang menyebabkan peningkatan pH dan perubahan warna medium dari hijau menjadi biru. Perubahan warna dari hijau menjadi biru menunjukkan bahwa mikroorganisme tersebut dapat menggunakan sitrat sebagai sumber karbon (Cappuccino & Welsh, 2018).



Gambar 11. Uji Biokimia *Simmons Citrat* (a) negatif dan (b) positif. (Cappuccino & Welsh, 2018)

e) Uji *Triple Sugar Iron Agar*

Uji *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA) dirancang untuk membedakan berbagai kelompok atau genus *Enterobacteriaceae*, yang merupakan basil gram negatif yang mampu memfermentasi glukosa dengan produksi asam, dan untuk membedakan *Enterobacteriaceae* dari basil gram negatif usus lainnya. Perbedaan dibuat berdasarkan perbedaan pola fermentasi karbohidrat dan produksi hidrogen sulfida oleh berbagai kelompok organisme usus (Cappuccino & Welsh, 2018).



Gambar 12. Uji Biokimia TSIA (a) tidak terinokulasi; (b) basa/asam, H₂S; (c) basa/asam; (d) asam/asam, gas; dan (e) asam/asam (Cappuccino & Welsh, 2018).

E. Teori Empiris

Tabel 2.1 Teori Empiris

Penulis	Judul Penelitian	Tahun Terbit	Hasil
Agusanatery dan Seprianus Fahira	Analisis Kualitas Sumber Air Minum (Air Sumur) Masyarakat Di Kecamatan Kota Raja Kota Kupang Berdasarkan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	2022	Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang analisis kualitas mikrobiologi air minum (air sumur) masyarakat Kecamatan Kota Raja, Kota Kupang berdasarkan jumlah bakteri <i>Escherichia coli</i> , didapatkan hasil pemeriksaan laboratorium Mikrobiologi menunjukkan bahwa 24 sampel dari 8 kelurahan di Kecamatan Kota Raja, Kota Kupang positif mengandung bakteri <i>Escherichia coli</i> .
Astry Yonitha Fangidae, Yuliana Radja Riwu, Honey.I. Ndoen, dan Mustakim Sahdan	Gambaran Sanitasi Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Kelurahan Lasiana tahun 2019	2020	Penelitian ini menunjukkan bahwa masih terdapat 60% dari 10 sampel DAMIU positif tercemar bakteri <i>E. coli</i> .

Albina Telan, Agustina, dan Olga Dukabain	Bare M.	Kualitas Air Minum Isi Ulang Pada Depot Air Minum (DAMIU) Di Wilayah Kerja Puskesmas Oepoi Kota Kupang	2015	Kualitas bakteriologis air minum pada Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Wilayah Kerja Oepoi tidak memenuhi syarat karena ada 40% (10) terkontaminasi bakteri <i>coliform</i> dan 20% (5) terkontaminasi bakteri <i>E. coli</i> .
Febriyanti Donata Ndoka, Susanti dan Radja Riwu	Peso Marylin Junias, dan Yuliana	Gambaran Kualitas Air pada Depot Air Minum Isi Ulang di Kelurahan Tarus	2024	Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dari ke lima depot, satu depot terdapat bakteri <i>Escherichia coli</i> pada air baku sehingga tidak memenuhi syarat kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2010 tentang kualitas air, sedangkan untuk kualitas air minum kelima depot memenuhi syarat karena tidak terdapat bakteri <i>Escherichia coli</i> .
Emanuel Dappa, Marilyn Junias, Mustakim Sahdan	S, dan	Gambaran Inspeksi Sanitasi Sumur Gali dengan Kandungan Bakteriologis Air Sumur Gali di Wilayah Kerja Puskesmas Sikumana Kota Kupang Tahun 2022	2023	Dari 34 sampel air sumur gali yang diperiksa di laboratorium, sebanyak 20 sampel air sumur gali tidak memenuhi syarat minimum kandungan bakteri <i>E. coli</i> pada air sumur gali.