

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Air Minum

Air adalah cairan bening yang tidak memiliki rasa, warna, dan bau, yang esensial bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan, serta terdiri dari unsur kimia hidrogen dan oksigen. (KBBI, 2023). Air merupakan sumber daya alam terpenting kedua bagi kelangsungan makhluk hidup setelah oksigen. Hal ini dibuktikan dengan peran vital air sebagai komponen penyusun tubuh manusia sebesar 80% (Kusumawardani & Larasati, 2020). Para pakar telah mengungkapkan hasil penelitian bahwa air menjadi komponen utama tubuh manusia dewasa sekitar 60%, sedangkan 75% pada anak-anak. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa air lebih penting dari nutrisi apapun dalam tubuh manusia (Lorenzo et al., 2019).

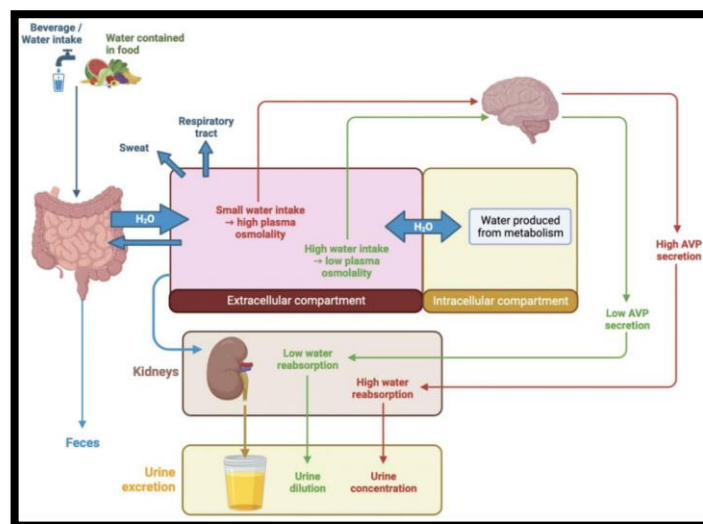
Sumber air bersih dari air baku pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi empat bagian yaitu air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang masing-masing memiliki variasi karakteristik dalam hal kualitas dan kuantitas. Air tanah diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama yaitu, air tanah dalam, air tanah dangkal, dan mata air. Secara umum, air tanah memiliki kualitas yang cukup baik sehingga dapat digunakan secara langsung. Namun jika terdapat kontaminasi, maka diperlukan klorinasi air (Savitri & Azwar, 2023). Klorinasi merupakan metode pengolahan air yang berperan dalam membunuh mikroorganisme dan mengoksidasi zat-zat kimia yang terdapat dalam air (Maulana et al., 2022).

Air permukaan merupakan air yang berada di atas permukaan bumi. Air jenis ini rentan terhadap kontaminasi, seperti lumpur, daun, batang kayu, kotoran, limbah rumah tangga hingga limbah industri. Meskipun air permukaan merupakan sumber air yang cukup melimpah, keadaannya yang rentan terkontaminasi membuat air permukaan memerlukan proses pengolahan sebelum digunakan dan dikonsumsi (Savitri & Azwar, 2023).

Air hujan adalah air yang berasal dari proses hujan, umumnya sangat bersih, namun kemungkinan terdampak pencemaran udara yang disebabkan oleh kotoran, polusi, dan debu industri. Air hujan bersifat agresif terhadap pipa, saluran, dan tangki penyimpanan, yang dapat mempercepat proses korosi. Selain itu, air hujan memiliki kandungan garam dan mineral terlarut yang rendah, sehingga terkadang rasanya tidak terlalu segar (Savitri & Azwar, 2023).

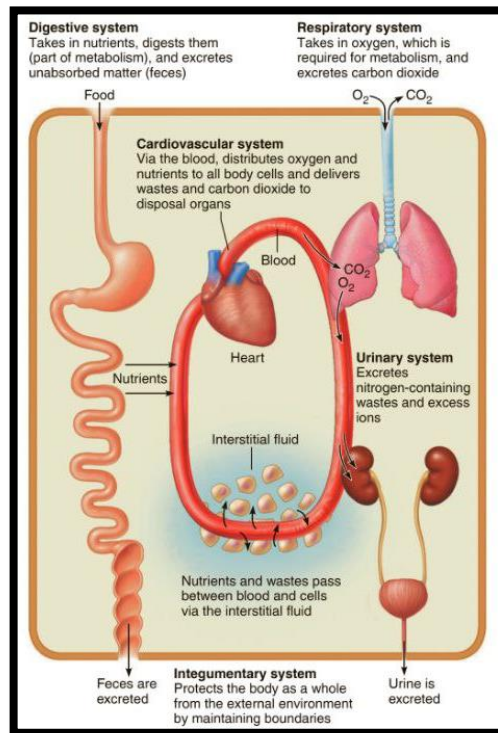
Air laut bersifat asin karena mengandung garam natrium klorida (NaCl) dengan kadar sekitar 3%. Akibat dari kandungan ini, air laut jarang digunakan sebagai sumber air baku untuk keperluan air minum karena tidak memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk konsumsi. (Savitri & Azwar, 2023).

Air minum adalah air dengan hasil pengolahan maupun tanpa proses pengolahan yang dapat langsung diminum dengan memenuhi syarat kesehatan (Kemenkes RI, 2023). Air minum yang aman didefinisikan sebagai air yang tidak mengandung risiko signifikan terhadap kesehatan manusia yang digunakan oleh rumah tangga sebagai sumber utama untuk minum, kebutuhan memasak, sanitasi individu dan keperluan rumah tangga lainnya (WHO, 2022).



Gambar 2.1 Regulasi Fisiologis Keseimbangan Air

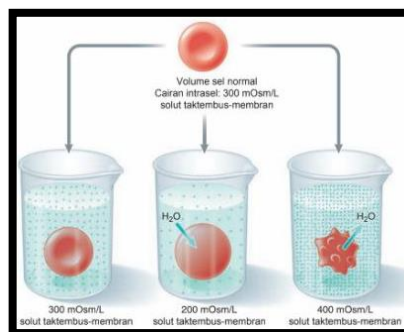
Sumber: (Travers et al., 2023)



Gambar 2.2 Peran Air dan Hubungan dengan Sistem Tubuh

Sumber: (Marieb & Keller, 2018)

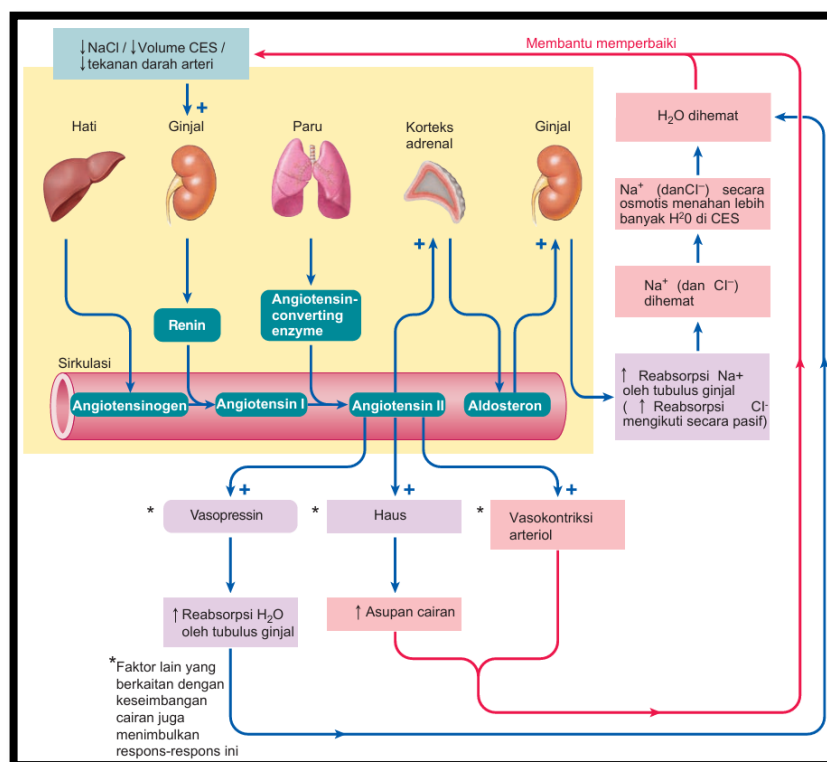
Air memiliki berbagai macam fungsi mendasar bagi tubuh seperti, berfungsi sebagai pelarut untuk reaksi metabolisme, pengangkutan nutrisi, hormon, dan produk limbah. Hidrasi yang cukup diperlukan untuk sebagian besar proses tubuh, termasuk pengaturan detak jantung, tekanan darah, metabolisme, suhu tubuh, fungsi ginjal, mekanisme pencernaan pada sistem gastrointestinal, dan fungsi kognitif (Patel et al., 2020).



Gambar 2.3 Pengaruh Air terhadap Volume Sel

Sumber: (Sherwood, 2013)

Pada fungsi struktural, air yang terikat oleh protein sitoplasma akan menentukan volume sel. Proses ini mempengaruhi mekanisme fisiologis tubuh manusia seperti, kinerja sel, regulasi proliferasi sel, dan kematian sel apoptosis. Air menjaga suhu tubuh tetap konstan dengan cara menyimpan energi dalam ikatan hidrogen sehingga dapat meredam perubahan suhu. Air memiliki konduktivitas termal tinggi yang mengakibatkan distribusi dan transfer panas secara cepat. Air bertindak sebagai pelumas di mulut (air liur), mata (air mata) dan persendian (cairan sinovial). Air juga melindungi dan mendorong pembersihan selaput lendir, mencegah cedera dan patah tulang dengan menambahkan fleksibilitas serta elastisitas pada jaringan. (Lorenzo et al., 2019).



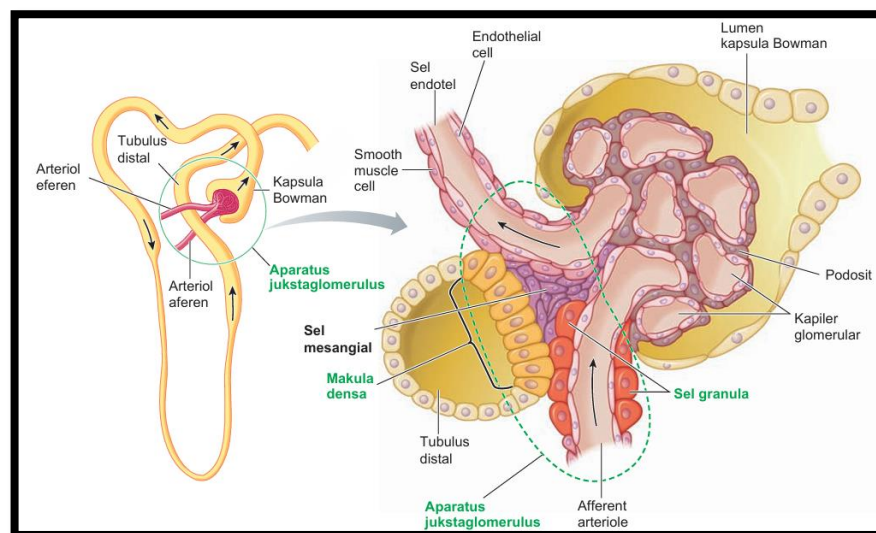
Gambar 2.4 Sistem Renin-Angiotensin-Aldosteron & Keseimbangan Cairan

Sumber: (Sherwood, 2013)

Sejalan dengan pentingnya air, homeostatis air menjadi sangat penting dalam tubuh manusia. Hipotalamus melepaskan hormon antidiuretik untuk mengurangi rasa haus dan ekskresi urin sebagai respon

terhadap perubahan hidrasi. Sistem endokrin lain yang melibatkan renin, angiotensin, dan aldosteron juga mempengaruhi keseimbangan air. Sekitar 80% dari total asupan air dikonsumsi dalam bentuk air putih dan minuman lainnya. Tambahan 20% asupan air harian berasal dari kelembapan makanan, dan sejumlah kecil diproduksi secara internal sebagai produk tambahan metabolisme energi. Ekskresi air terjadi melalui proses penguapan dari kulit yang jumlahnya bergantung pada luas permukaan tubuh, laju pernapasan, aktivitas fisik, dan iklim (Patel et al., 2020).

Air minum dan cairan dalam makanan diserap di bagian proksimal usus halus. Laju penyerapan air ditentukan oleh laju pengosongan lambung ke usus halus. Oleh karena itu, total volume cairan yang dikonsumsi pada akhirnya akan menggambarkan keseimbangan air dalam tubuh. Kecepatan rehidrasi ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi seberapa cepat cairan dikirim ke mukosa usus. Laju pengosongan lambung biasanya dipercepat dengan volume total air atau zat yang dikonsumsi dan diperlambat oleh tingginya kepadatan energi dan osmolalitas. Saluran pencernaan menyerap sekitar 9 L air per hari. Air diserap melintasi persimpangan ketat antara enterosit sesuai dengan tekanan hidrostatis dan osmotik yang terjadi di usus kecil maupun usus besar (McQuilken, 2021).



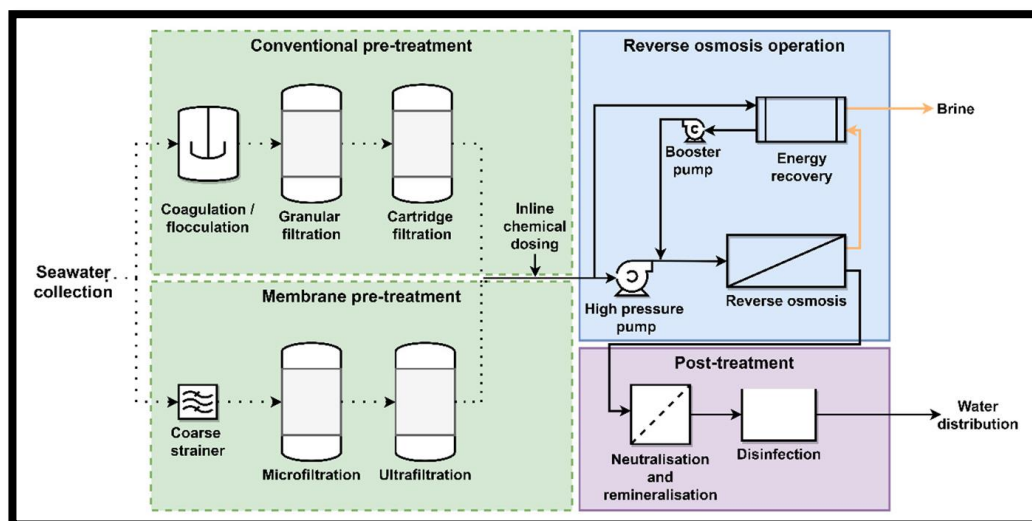
Gambar 2.5 Filtrasi Glomerulus

Sumber: (Sherwood, 2013)

Volume darah diatur dengan mencocokkan asupan air dan ekskresi air. Dampak dari konsumsi air terhadap tekanan darah dan detak jantung muncul dalam rentang waktu 15-20 menit setelah minum dan dapat berlangsung hingga 60 menit. Ginjal membutuhkan air untuk proses filtrasi kotoran dari darah dan pengeluarannya melalui urin. Eksresi air oleh ginjal membantu menghilangkan zat-zat terlarut dari sirkulasi darah. Secara umum, volume urin yang dihasilkan oleh orang dewasa sekitar 1,5 hingga 2,0 liter per hari sudah cukup untuk mengeluarkan zat-zat terlarut sebanyak 900 hingga 1200 mOsm per hari (Popkin et al., 2020).

2.1.2 Reverse Osmosis

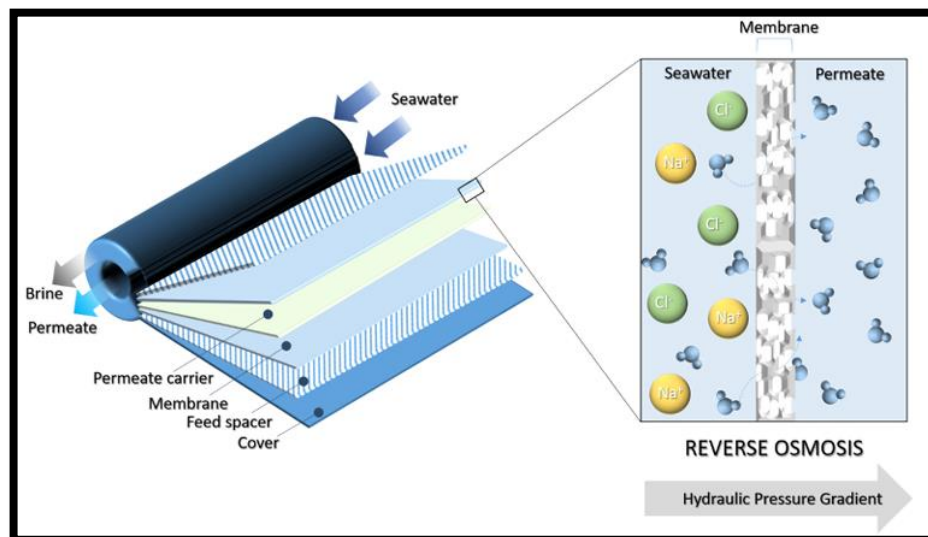
Proses *Drinking Water Treatment* (DWT) konvensional, seperti pre-oksidasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi (C/F/S), dan filtrasi media granular, difokuskan pada penghilangan partikel-partikel kecil, padatan terlarut, senyawa anorganik larut, mikroorganisme, dan patogen. Koagulasi, flokulasi dan sedimentasi adalah proses-proses penting dalam pengolahan air minum konvensional, karena tingkat efisiensi biaya. Dengan demikian, C/F/S merupakan langkah kunci untuk penghilangan *Engineered Nanoparticles* (ENPs) dalam DWTP (Sousa & Teixeira, 2020).



Gambar 2.6 Proses Pre-treatment Reverse Osmosis

Sumber: (Skuse et al., 2021)

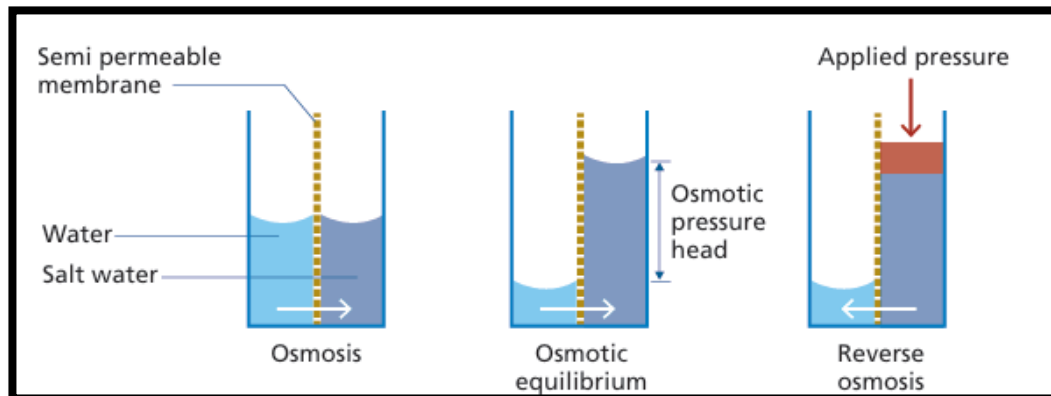
Pengolahan air berupa *reverse osmosis* (RO) merupakan serangkaian proses yang dirancang untuk meningkatkan kualitas air baku menjadi air yang memenuhi standar kualitas untuk berbagai keperluan. Tujuan dari pengolahan air adalah memenuhi kebutuhan air minum, menyediakan pasokan air industri, menyediakan air keperluan sanitasi, dan melestarikan lingkungan. Pada prinsipnya pengolahan air bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminan serta komponen yang tidak diinginkan, sehingga air dapat memenuhi standar kualitas yang ditetapkan untuk keperluan konsumsi. Proses pengolahan air terbagi menjadi tiga tahap utama, yaitu penampungan awal, unit pengolahan, dan penampungan akhir (Veber et al., 2021).



Gambar 2.7 Membran *Reverse Osmosis*

Sumber: (Skuse et al., 2021)

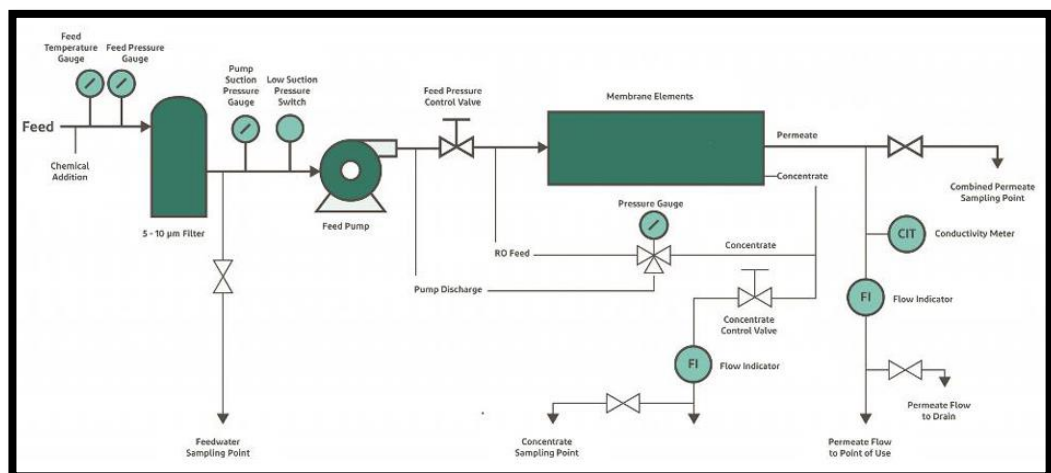
Ketika dua larutan dengan konsentrasi berbeda dipisahkan oleh membran semi-permeabel, pelarut (air) mengalir dari larutan encer ke larutan pekat hingga konsentrasi kedua larutan menjadi sama. Proses ini dikenal sebagai osmosis. Secara formal, *reverse osmosis* adalah proses memaksa pelarut dari daerah dengan konsentrasi solut tinggi melalui membran semi-permeabel ke daerah dengan konsentrasi solut rendah dengan menerapkan tekanan yang melebihi tekanan osmotik (Ahuchaogu et al., 2019).



Gambar 2.8 Prinsip Dasar Reverse Osmosis

Sumber: (Salinas-Rodríguez et al., 2021)

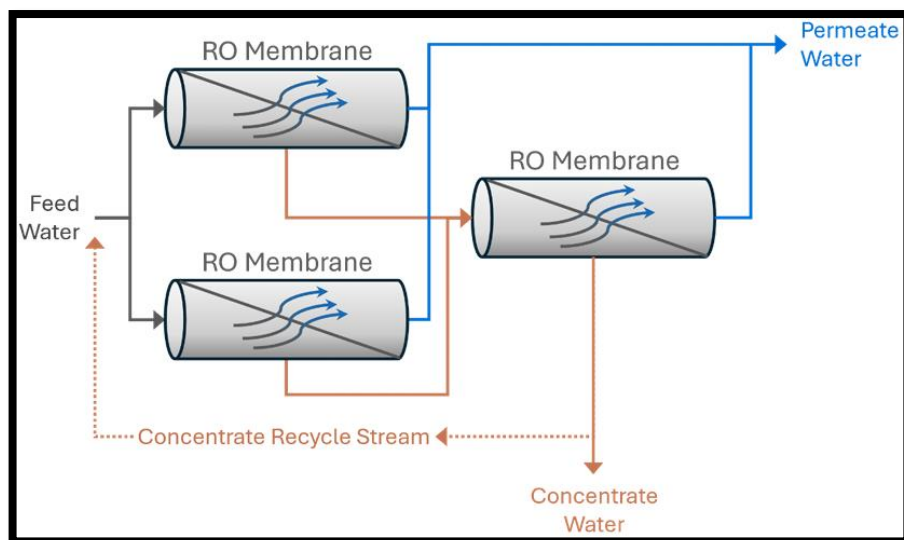
Selama proses RO, air dipaksa ke arah yang berlawanan atau melawan gradien osmotik dengan menggunakan tekanan, sehingga muncul istilah osmosis terbalik. Jumlah energi atau tekanan yang dibutuhkan untuk mengatasi tekanan osmotik bergantung pada kandungan ionik (konduktivitas) air sumber. Sistem RO akan membutuhkan sekitar 10 psi per 1000 PPM zat terlarut. Dengan demikian, RO sangat bergantung pada energi untuk menghasilkan gradien tekanan melintasi membran, dan jumlah energi yang dibutuhkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya konduktivitas air sumber (Nissenson et al., 2022).



Gambar 2.9 Mekanisme Kerja Sistem Reverse Osmosis

Sumber: (Dupont, 2023)

Sistem RO biasanya terdiri dari prafilter, pompa, kontrol aliran dan tekanan, membran (biasanya membran *spiral-wound*), dan berbagai monitor. Saat air mengalir sejajar di sepanjang membran, sebagian air dipaksa melewati membran dan masuk ke aliran air produk, sedangkan sisanya yang tidak melewati membran diarahkan ke saluran pembuangan atau didaur ulang. Aliran permeat dan konsentrat yang dialirkan memungkinkan proses pembilasan membran yang berkelanjutan dan menghindari pengotoran membran secara alami (Nissenson et al., 2022).



Gambar 2.10 Daur Ulang Aliran Konsentrat Reverse Osmosis

Sumber: (Puretec Industrial Water, 2024)

Beberapa sistem RO akan mendaur ulang aliran air yang dibuang dan mengalihkannya melewati membran untuk meningkatkan kecepatan melalui sistem membran dan mencegah pengotoran atau kegagalan membran. Efisiensi sistem RO dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk tekanan dalam sistem, komposisi air, suhu air, dan tingkat gas terlarut dalam air. Sistem pengolahan air dirancang dengan redundansi dengan menempatkan dua unit RO dalam sistem pengolahan air. Hal ini dikenal sebagai sistem RO tahap ganda. Perlu atau tidaknya sistem RO tahap tunggal atau ganda sangat bergantung pada kualitas air sumber. Jika satu RO tidak berfungsi, RO lainnya dapat digunakan, dan perawatan dapat dilanjutkan (Nissenson et al., 2022).

2.1.3 Syarat Kualitas Air Minum Layak Konsumsi

a. Parameter Fisik

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, air layak minum harus jernih dan tidak berwarna. Warna dalam air dapat berasal dari bahan kimia berbahaya atau *apparent color* dan mikroorganisme atau *true color* yang larut di dalamnya. Batas maksimum untuk warna air yang aman diminum adalah 10 unit skala *True Colour Units* (TCU). Kualitas air yang baik ditandai dengan air yang jernih dan tidak keruh. Sementara itu, batas maksimum untuk kekeruhan air yang layak minum adalah kurang dari 3 unit skala *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Partikel yang larut dalam air dapat menyebabkan air terlihat keruh, kotor, atau berlumpur. Bahan-bahan seperti tanah liat, pasir, dan lumpur dapat menjadi penyebab utama kekeruhan air. Meskipun air keruh tidak selalu berbahaya bagi kesehatan atau tidak dapat diminum, namun secara estetika air yang keruh dianggap tidak wajar atau tidak sesuai untuk dikonsumsi (Kemenkes RI, 2023).

Air yang berbau busuk umumnya memiliki rasa yang tidak enak dan tidak layak dikonsumsi. Kualitas air yang baik dapat ditandai dengan tidak adanya bau dan rasa tawar. Adanya bau busuk dalam air menunjukkan adanya dekomposisi atau pembusukan bahan organik oleh mikroorganisme. Selain itu, rasa dan bau pada air juga bisa disebabkan oleh senyawa fenol. Suhu yang diperbolehkan pada parameter wajib air minum adalah kurang atau lebih dari maksimal tiga derajat celsius dari suhu udara. Ketentuan suhu ini untuk memastikan bahwa air minum tetap higienis, aman, sekaligus menjaga stabilitas kimia serta biologisnya sesuai dengan standar mutu. Air minum yang layak dikonsumsi harus bebas dari TDS atau zat padat terlarut yang melebihi batas 300 mg/L. Kandungan TDS dalam air, seperti bahan kimia anorganik dan gas, dapat menyebabkan rasa tidak enak, mual hingga serangan jantung (Kemenkes RI, 2023).

b. Parameter Mikrobiologi

Air yang terkontaminasi organisme patogen dapat membahayakan kesehatan manusia. Organisme patogen ini dapat berasal dari golongan bakteri, protozoa, dan virus. Beberapa contoh bakteri patogen yang sering ditemukan dalam air tercemar adalah *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Shigella dysenteriae*, dan *Leptospira*. Selain itu, protozoa seperti *Entamoeba histolytica* dan *Giardia lamblia* juga dapat menyebabkan penyakit pencernaan yang serius. (Syauqiah et al., 2018).

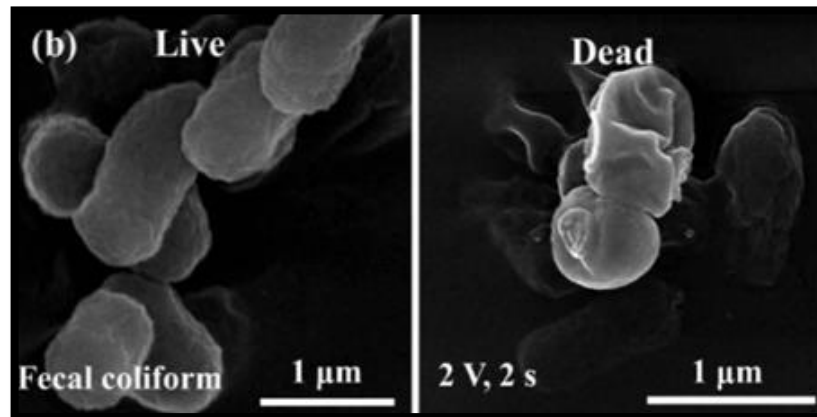


Gambar 2.11 Bakteri *Escherichia coli*

Sumber: (Kaper et al., 2024)

Escherichia coli (E. coli) adalah bakteri Gram-negatif berbentuk batang yang termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae*. Sebagai bakteri enterik, E. coli hidup dan bertahan di saluran pencernaan serta merupakan flora alami pada usus mamalia. Bakteri ini memiliki ukuran berkisar antara 1,0–1,5 μm x 2,0–6,0 μm , dapat bersifat motil dengan flagela atau tidak motil, dan mampu tumbuh baik dalam kondisi aerob maupun anaerob (fakultatif anaerob). Selain itu, E. coli tidak membentuk spora dan dapat bertahan di lingkungan dengan nutrisi yang minim. (Rahayu et al., 2018)

E. coli digunakan sebagai bakteri indikator untuk menilai kualitas air minum karena keberadaannya menunjukkan adanya kontaminasi oleh feses. Hal ini juga mengindikasikan potensi keberadaan mikroorganisme enterik patogen lainnya. Meskipun E. coli yang ditemukan di air biasanya bersifat non-patogen, strain patogen seperti enterotoksigenik dan penghasil shiga-toxin (enterohemoragik) dapat ditemukan. (Rahayu et al., 2018)



Gambar 2.12 Bakteri Coliform

Sumber: (Ghernaout et al., 2020)

Meskipun tidak berbahaya bagi kesehatan, air yang mengandung mikroorganisme non-patogen dapat menimbulkan beberapa masalah. Jenis bakteri seperti *Actinomyces* (*Moldlike bacteria*), bakteri koliform, *Fecal streptococci*, dan bakteri besi (*Iron Bacteria*) dapat menyebabkan bau dan rasa tidak enak pada air, menghasilkan lendir, bahkan dapat membentuk kerak pada pipa. Ganggang dan cacing bebas (*free living*) yang berada di air kotor dapat menimbulkan gangguan kesehatan (Syauqiah et al., 2018).

Parameter wajib air minum menurut aspek mikrobiologi menyebutkan bahwa kadar maksimal yang diperbolehkan untuk bakteri *E. coli* dan total koliform adalah nol pada satuan CFU/100ml. Hal ini berarti tidak diperbolehkan ada sama sekali atau ditemukannya bakteri *E. coli* dan koliform pada air yang akan dikonsumsi. Apabila ditemukan dan dikonsumsi, maka akan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan, khususnya pada saluran pencernaan (Kemenkes RI, 2023).

c. Parameter Kimia

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, air minum yang layak dikonsumsi harus memiliki tingkat keasaman (pH) dalam rentang 6,5 hingga 8,5. Tingkat keasaman air ini memengaruhi rasa. Air dengan pH di bawah 7

akan terasa asam di lidah, sedangkan air dengan pH di atas 7 terasa pahit (Kemenkes RI, 2023).

Air yang memiliki kualitas baik adalah air yang tidak mengandung bahan kimia melebihi standar yang telah ditetapkan. Tubuh manusia dapat mentolerir air dengan kadar kimia yang sesuai. Jika kandungan senyawa kimia terlarut dalam air melebihi batas yang diizinkan, hal ini dapat berpotensi menyebabkan masalah kesehatan. Kelebihan senyawa kimia terlarut dalam air dapat menghasilkan senyawa beracun yang berbahaya bagi tubuh manusia. (Kemenkes RI, 2023).

Tabel 2.1 Parameter Wajib Air Minum (Kimia)

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	Ph	6,5-8,5	-	SNI/APHA
2	Nitrat (NO ³) (terlarut)	20	mg/L	SNI/APHA
3	Nitrit (NO ²) (terlarut)	3	mg/L	SNI/APHA
4	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
5	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA
6	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/APHA
7	Sisa khlor (terlarut)	0,2-0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI/APHA
8	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
9	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/APHA
10	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
11	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
12	Alumunium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

Sumber: (Kemenkes RI, 2023)

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

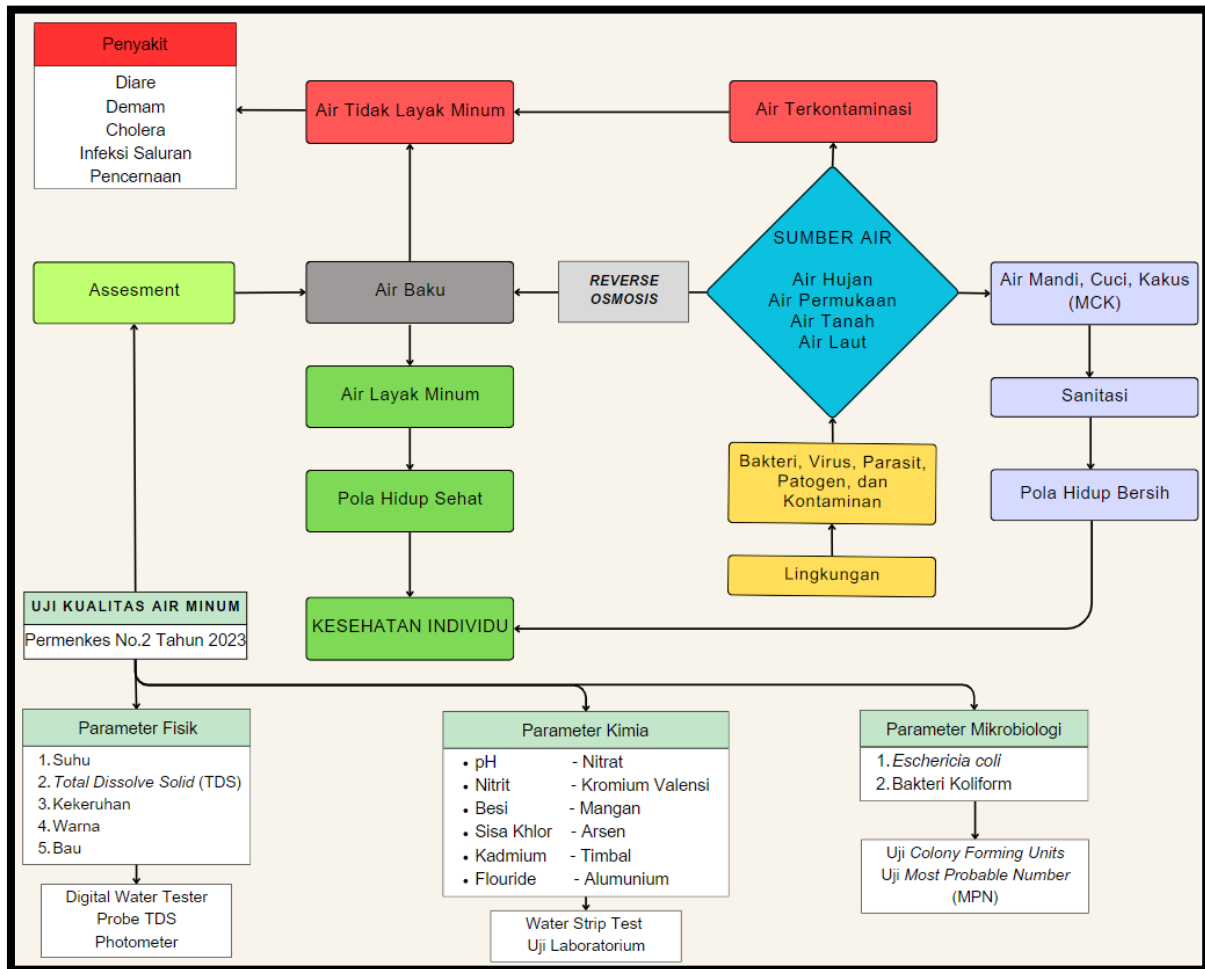
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	(Rohmawati & Kustomo, 2020)	Analisis Kualitas Air pada Reservoir PDAM Kota Semarang Menggunakan Uji Parameter Fisika, Kimia, dan Mikrobiologi, serta dikombinasikan dengan Analisis Kemometri	Observasional analitik dengan pendekatan <i>cross-sectional</i>	Hasil analisis laboratorium mengenai kualitas air, yang menggunakan uji parameter fisika dan kimia, menunjukkan bahwa semua sampel air mematuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Hasil pengukuran berada dalam rentang nilai yang diizinkan. Sementara itu, dari segi parameter mikrobiologi, semua sampel menunjukkan kualitas yang baik dengan tidak adanya bakteri <i>E. coli</i> , sehingga air tersebut layak untuk dikonsumsi sebagai air minum sesuai dengan standar baku air bersih
2	(Marhamah et al., 2020)	Kualitas air minum isi ulang pada depot air minum di Kabupaten Manokwari Selatan	Deskriptif laboratorium	Kualitas air minum isi ulang di depot D telah terverifikasi sesuai dengan standar baku mutu yang diatur oleh Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2010, yang mencakup parameter seperti nilai pH, kesadahan, total koliform, dan <i>E.coli</i> . Namun, hasil uji menunjukkan bahwa populasi bakteri <i>E. coli</i> dalam air isi ulang

No	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil
				di depot A, C, dan E setelah disimpan dalam galon selama 3 hari melebihi batas yang telah ditetapkan dalam standar baku mutu tersebut.
3	(Mayudin & Ariesmayana, 2021)	Analisis Kualitas Air Baku, Pengolahan, dan Distribusi Pdam Tirta Al-Bantani Kabupaten Serang	Kualitatif deskriptif	Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa semua parameter air pengolahan (reservoir) PDAM Tirta Al-Bantani memenuhi standar baku mutu. Hasil ini menegaskan bahwa air tersebut dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan air minum.
4	(Kumala et al., 2019)	Uji Kualitas Air Minum Pada Sumber Mata Air di Desa Baturiti, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan	Observasional dengan <i>purposive sampling</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel air dari sumber mata air di Desa Baturiti memenuhi standar uji parameter fisika, kimia, dan biologi. Secara keseluruhan, kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa kualitas air minum yang diuji sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010.

Sumber: Diolah oleh Peneliti

2.3 Kerangka Berpikir



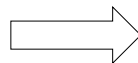
Gambar 2.13 Kerangka Teori

Sumber: Diolah oleh Peneliti

Variabel Independen

Variabel Dependen

Kualitas air minum



Air Minum Kemasan
 Air Minum Isi Ulang
 Air Minum Hasil Reverse Osmosis
 Universitas Pertahanan RI

Gambar 2.14 Kerangka Konsep

Sumber: Diolah oleh Peneliti