

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI TEKANAN POMPA TERHADAP
PERFORMA *PROTOTYPE* SWRO**

Disusun dan diajukan oleh:

**RAHIM
D091191023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH VARIASI TEKANAN POMPA TERHADAP PERFORMA *PROTOTYPE SWRO*

Disusun dan diajukan oleh

Rahim
D091191023

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 26 Juni 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. Eng. Ir. Faisal M, S.T., M.Inf.Tech, M.Eng., IPM
NIP 19810211 200501 1 003

Pembimbing Pendamping,


Surya Hariyanto, S.T., M.T
NIP 19710702 200012 1 001

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Faisal M, S.T., M.Inf.Tech, M.Eng., IPM
NIP 19810211 200501 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Rahim
NIM : D091191023
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENGARUH VARIASI TEKANAN POMPA TERHADAP PERFORMA PROTOTYPE SWRO

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 26 Juni 2024.

Yang Menyatakan


RAHIM
METERA TEMPEL
BA14BALX246327509



ABSTRAK

RAHIM. *Pengaruh Variasi Tekanan Pompa terhadap Performa Prototype SWRO* (dibimbing oleh Faisal Mahmuddin dan Surya Hariyanto.)

Keterbatasan air tawar menjadi salah satu permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat pesisir dan nelayan terutama bagi masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil. Penggunaan teknologi SWRO merupakan salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sistem SWRO memanfaatkan perbedaan tekanan hidrostatik dengan tekanan osmotik air laut untuk melakukan pemisahan kandungan garam dari air. Salah satu faktor paling penting dalam sebuah sistem SWRO adalah tekanan yang diterapkan selama proses pengoperasian. Penelitian ini menggunakan *prototype* SWRO dengan memvariasikan tekanan pompa yaitu 60 psi, 70 psi, 80 psi, 90 psi, dan 100 psi untuk mengamati bagaimana volume dan kualitas (TDS, salinitas, dan pH) air hasil (permeat) yang dihasilkan serta performa paling baik yang didapatkan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tekanan berpengaruh terhadap volume dan kualitas air yang dihasilkan, semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin besar volume permeat yang dihasilkan serta kualitas air juga semakin baik. Performa yang paling baik didapatkan pada tekanan 100 psi, dimana *prototype* mampu menghasilkan permeat dengan nilai TDS yaitu 17,67 ppm, salinitas 0 ppt, dan nilai pH 5,15, nilai fluks permeat sebesar 7,26 L/m².jam, dan mampu merejeksi TDS hingga 99,80%, rejeksi salinitas 100%, dan rejeksi pH hingga 22,16%.

Kata Kunci: SWRO, *prototype*, tekanan, performa.



ABSTRACT

RAHIM. " *The Effect of Pump Pressure Variation on the Performance of SWRO Prototype* " (supervised by Faisal Mahmuddin and Surya Hariyanto.)

The scarcity of fresh water is one of the challenges faced by coastal communities and fishermen, especially for those residing in small islands. The utilization of SWRO technology is one of the efforts to address this issue. SWRO systems utilize the difference in hydrostatic pressure and osmotic pressure of seawater to separate salt content from water. One of the most important factors in an SWRO system is the pressure applied during operation. This study employs an SWRO prototype by varying the pump pressure at 60 psi, 70 psi, 80 psi, 90 psi, and 100 psi to observe the volume and quality (TDS, salinity, and pH) of the resulting water (permeate) and determine the optimal performance. The results indicate that pressure affects the volume and quality of the produced water; higher pressure yields greater permeate volume and better water quality. The best performance is achieved at 100 psi, where the prototype produces permeate with TDS value of 17,67 ppm, salinity of 0 ppt, and pH value of 5,15, with a permeate flux of 7,26 L/m².hour. It can reject TDS up to 99,80%, salinity rejection of 100%, and pH rejection up to 22,16%.

Keywords: SWRO, prototype, pressure, performance.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Desalinasi Air Laut	4
2.2 Jenis Desalinasi	4
2.3 Desalinasi Air dengan Teknologi <i>Reverse Osmosis</i>	9
2.4 Pompa.....	11
2.5 Membran <i>Reverse Osmosis</i>	11
2.6 Standar Baku Air Konsumsi.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	16
3.3 Pembuatan <i>Prototype</i> SWRO	26
3.4 Tahapan Penelitian.....	27
3.5 Analisis Data	29
3.6 Diagram Alir	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengujian <i>Prototype</i> SWRO	31
4.2 Performa <i>Prototype</i> SWRO.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Jenis teknologi desalinasi	4
Gambar 2 Diagram teknologi desalinasi MSF	5
Gambar 3 Diagram teknologi desalinasi MED	6
Gambar 4 Diagram teknologi desalinasi VC	7
Gambar 5 Diagram teknologi desalinasi ED.....	8
Gambar 6 Diagram teknologi desalinasi <i>reverse osmosis</i>	8
Gambar 7 Prinsip kerja reverse osmosis	9
Gambar 8 Pompa.....	11
Gambar 9 Membran <i>spiral wound</i>	12
Gambar 10 Tangki Filter FRP	17
Gambar 11 Filter sedimen 5 <i>micron</i>	17
Gambar 12 Filter sedimen 3 <i>micron</i>	18
Gambar 13 Filter GAC.....	18
Gambar 14 Filter CTO	19
Gambar 15 Housing filter.....	19
Gambar 16 <i>Booster pump</i>	20
Gambar 17 Membran RO.....	20
Gambar 18 <i>Housing</i> membran	21
Gambar 19 <i>Post carbon</i>	21
Gambar 20 Pipa, selang, dan sambungan.....	22
Gambar 21 Katup	22
Gambar 22 <i>Pressure gauge</i>	23
Gambar 23 TDS meter	23
Gambar 24 pH meter	24
Gambar 25 Refraktometer.....	24
Gambar 26 Gelas ukur	25
Gambar 27 Plat besi	25
Gambar 28 Besi hollow.....	25
Gambar 29 Desain <i>prototype</i> SWRO.....	26
Gambar 30 <i>Prototype</i> SWRO.....	27
Gambar 31 Skema <i>prototype</i> SWRO	28
Gambar 32 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 33 Grafik pengaruh tekanan terhadap laju alir permeat	32
Gambar 34 Grafik pengaruh tekanan terhadap nilai TDS permeat.....	33
Gambar 35 Grafik pengaruh tekanan terhadap nilai pH permeat	35
Gambar 36 Grafik pengaruh tekanan pompa terhadap nilai fluks permeat	37
Gambar 37 Grafik pengaruh tekanan terhadap rejeksi TDS	38
Gambar 38 Grafik pengaruh tekanan terhadap rejeksi pH.....	39



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Parameter air minum.....	15
Tabel 2 Parameter air untuk keperluan higiene dan sanitasi.....	15
Tabel 3 Variasi pengujian	27
Tabel 4 Kadar awal air umpan	31
Tabel 5 Hasil pengukuran laju alir permeat	31
Tabel 6 Hasil pengukuran nilai TDS permeat.....	33
Tabel 7 Hasil pengukuran salinitas permeat	34
Tabel 8 Hasil pengukuran pH permeat.....	35
Tabel 9 Hasil perhitungan fluks permeat	36
Tabel 10 Hasil perhitungan rejeksi TDS	37
Tabel 11 Hasil perhitungan rejeksi salinitas	38
Tabel 12 Hasil perhitungan rejeksi pH.....	39



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Satuan
A	Luas permukaan membran (m^2)
C_f	Konsentrasi zat terlarut air umpan
C_p	Konsentrasi zat terlarut permeat
ED	<i>Electrodialisis</i>
J	Fluks permeat ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$)
MED	<i>Multi Effect Distillation</i>
MSF	<i>Multi Stage Flash</i>
P	Tekanan (psi)
pH	Derajat Keasaman
ppm	<i>Parts per Million</i>
ppt	<i>Part per Thousand</i>
psi	<i>Pound-force per Square Inch</i>
R	Rejeksi (%)
RO	<i>Reverse Osmosis</i>
SWRO	<i>Sea Water Reverse Osmosis</i>
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i> (ppm)
t	Waktu (jam)
V	Volume permeat (L)
VC	<i>Vapor Compression</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi pembuatan <i>prototype</i> SWRO	43
Lampiran 2 Dokumentasi pengambilan air laut di pantai	44
Lampiran 3 Kadar awal air laut.....	45
Lampiran 4 Pengukuran laju alir & kadar permeat pada tekanan 60 psi	46
Lampiran 5 Pengukuran laju alir & kadar permeat pada tekanan 70 psi	47
Lampiran 6 Pengukuran laju alir & kadar permeat pada tekanan 80 psi	48
Lampiran 7 Pengukuran laju alir & kadar permeat pada tekanan 90 psi	49
Lampiran 8 Pengukuran laju alir & kadar permeat pada tekanan 100 psi	50
Lampiran 9 Tabel hasil pengukuran kadar permeat.....	51



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan Pompa Terhadap Performa *Prototype* SWRO” dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang diutus sebagai rahmat bagi seluruh alam.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S1 (Strata Satu) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Rasyid dan Ibu Asia yang selalu memberikan doa, restu dan dukungan serta materi kepada penulis selama ini.
2. Bapak Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, sekaligus sebagai dosen pembimbing I yang telah mengarahkan, membimbing, dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Surya Hariyanto, S.T., M.T selaku pembimbing II yang telah mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
4. Bapak M. Rusydi Alwi, S.T., M.T dan Ibu Balqis Shintarahayu, S.T., M.Sc selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang dijadikan sebagai bahan perbaikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Hasnawiyah Hasan, S.T., M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan saran, masukan, dan motivasi selama masa kuliah.



6. Seluruh bapak/ibu dosen, pegawai dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan membantu perihal administratif penulis.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Prodi Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2019 yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.
8. Seluruh pihak-pihak yang terlibat selama pengerjaan skripsi yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini hasil yang didapatkan masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dikarenakan keterbatasan ilmu dan kemampuan dari penulis. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya saran dan masukan yang membangun pada hasil skripsi ini. Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis secara khusus, dan kepada pembaca. Terima kasih.

Gowa,

2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air tawar adalah salah satu aspek penting dalam menjaga keberlangsungan hidup dan perkembangan manusia. Seiring dengan pertumbuhan populasi yang cepat dan aktivitas ekonomi manusia yang semakin meningkat, masalah keterbatasan air tawar semakin menjadi sorotan utama. Keterbatasan air tawar ini terutama dihadapi oleh masyarakat yang bermukim di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil yang masih kesulitan untuk mendapatkan sumber air bersih. Masyarakat yang bermukim pada kawasan pesisir masih sangat sulit untuk memperoleh fasilitas air bersih atau air konsumsi. Masyarakat kawasan pesisir 59% merupakan masyarakat asli yang mengaku nyaman dengan lingkungannya, namun masih kesulitan untuk mendapatkan sumber air bersih atau air minum. Sulitnya mendapatkan air bersih untuk dikonsumsi disebabkan karena sebagian besar wilayah pesisir terpengaruh oleh kondisi laut yang memiliki salinitas tinggi (Hapsari dkk, 2022). Hal tersebut diperparah dengan pengaruh dari musim kemarau yang dapat membatasi jumlah air yang mereka dapatkan (Ali dkk, 2019). Masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil umumnya mengambil air dari daratan atau pulau terdekat yang memiliki sumber air bersih. Hal tersebut tentu saja menguras banyak energi dan biaya serta akan sangat beresiko untuk melakukan penyeberangan ketika cuaca buruk (Kutananda & Titah, 2022).

Salah satu upaya dalam mengatasi masalah keterbatasan air tawar di wilayah pesisir adalah dengan memanfaatkan air laut sebagai sumber air paling melimpah. Namun, air laut tidak memungkinkan untuk dikonsumsi secara langsung karena memiliki tingkat salinitas yang tinggi dan tidak memenuhi standar kualitas air minum. Konsentrasi salinitas dan *Total Dissolved Solid* (TDS) air laut yang tinggi memerlukan teknologi pengolahan yang memiliki kemampuan untuk memisahkan zat-zat terlarut di dalamnya (Yoshi & Widiassa, 2016). Desalinasi merupakan



ang banyak digunakan untuk mengubah air laut menjadi air yang aman konsumsi. Salah satu teknik desalinasi yang banyak digunakan adalah *osmosis* (RO). *Reverse osmosis* banyak dipilih karena sejumlah

keunggulannya, termasuk efisiensi dalam penggunaan energi, kemampuan untuk memisahkan zat-zat yang tidak diinginkan dari air, dan biaya operasional yang tidak terlalu mahal (Kutananda & Titah, 2022).

Teknologi RO didasarkan pada fenomena fisik yang menggunakan perbedaan tekanan osmotik. Perbedaan tekanan osmotik antara larutan air asin dan air tawar dimanfaatkan untuk melakukan desalinasi, yaitu menghilangkan garam dari air. Tekanan hidrostatik yang lebih tinggi daripada tekanan osmotik pada air asin dimanfaatkan untuk membalik aliran, menghasilkan air tawar murni sebagai produk akhir. RO melibatkan tekanan hidrostatik yang melebihi tekanan osmosis larutan, sehingga air pelarut dapat berpindah dari larutan berkonsentrasi tinggi ke larutan berkonsentrasi rendah (Ragetisvara & Titah, 2021).

Yusuf dkk (2009) mengungkapkan bahwa dalam proses desalinasi dengan *reverse osmosis* ini memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja membran dalam proses filtrasi larutan, seperti konsentrasi air yang masuk melalui membran dan tekanan operasi yang diterapkan pada membran. Tekanan yang tepat diperlukan untuk memaksimalkan proses pemisahan. Oleh karena itu, penting untuk memahami pengaruh variabel tekanan pompa terhadap kinerja sistem RO.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis akan melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Variasi Tekanan Pompa Terhadap Performa *Prototype* SWRO”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas maka, rumusan masalah yang dikemukakan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan pompa terhadap volume dan kualitas air hasil (permeat) yang dihasilkan ?
2. Berapa tekanan pompa yang dibutuhkan untuk mencapai performa yang paling baik ?

1.3 Tujuan Penelitian



uan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

ngetahui pengaruh variasi tekanan pompa terhadap volume dan kualitas yang dihasilkan.

2. Mengetahui berapa tekanan pompa yang dibutuhkan untuk mencapai performa yang paling baik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya :

1. Memanfaatkan air laut sebagai sumber air yang dapat dikonsumsi.
2. Mengoptimalkan performa *prototype* SWRO dalam menghasilkan air tawar yang dapat dikonsumsi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini dibatasi pada :

1. Tekanan yang diberikan sebanyak 5 variasi tekanan dan tidak melebihi kapasitas membran.
2. Tekanan yang divariasikan adalah tekanan *booster pump*/tekanan air yang masuk ke membran.
3. Air baku yang digunakan adalah air laut yang tidak tercemari oleh limbah.
4. Parameter kualitas air yang diukur dalam penelitian ini dibatasi pada parameter TDS, salinitas, dan pH air.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

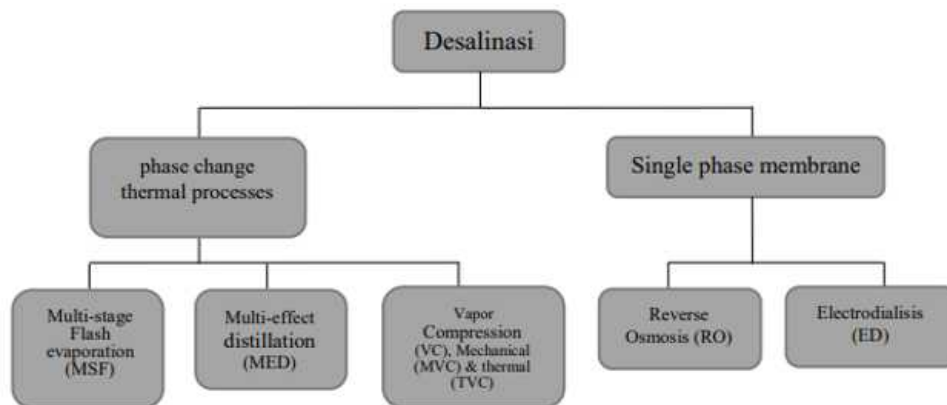
2.1 Desalinasi Air Laut

Air laut terdiri dari 96,5% air bersih dan 3,5% kandungan lainnya seperti garam, gas terlarut, materi organik, dan partikel yang tidak larut. Rasa asin pada air laut berasal dari kandungan garamnya, yang memiliki rata-rata sekitar 3,5% (Prastuti, 2017). Air laut merupakan salah satu potensi terbesar untuk dijadikan sebagai sumber air bersih. Air laut dapat diolah menjadi air bersih dengan penerapan teknologi desalinasi (Redjeki, 2023).

Desalinasi adalah sebuah rangkaian proses yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi garam yang terkandung di dalam air, sehingga menghasilkan produk air yang layak untuk dikonsumsi. Proses ini banyak dikembangkan terutama pada tingkat industri dan juga di kapal untuk menghasilkan air tawar (Nugroho, 2004).

2.2 Jenis Desalinasi

Teknologi desalinasi dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut (Abdulloh, 2015).



Gambar 1 Jenis teknologi desalinasi (Sumber : Abdulloh, 2015)

2.2.1 Teknologi Desalinasi Termal

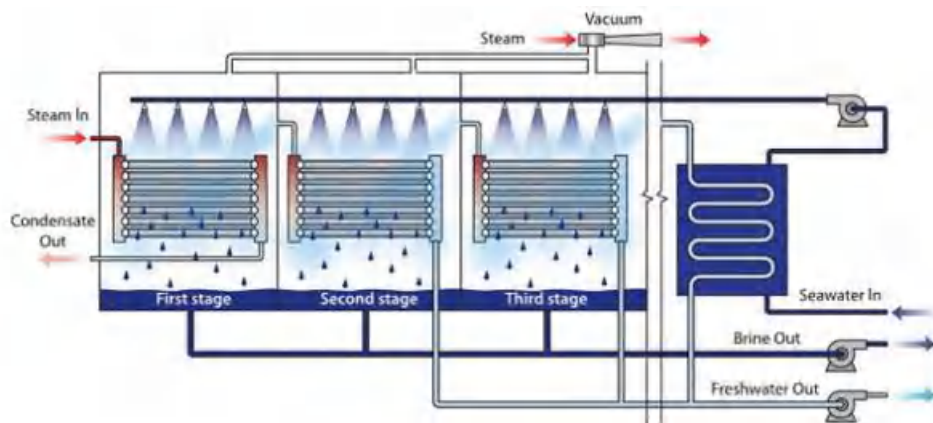


Teknologi desalinasi termal adalah sama dengan siklus alami air yaitu melalui erubahan fase. Desalinasi termal atau distilasi merupakan metode i dengan cara menguapkan air laut melalui pemanasan kemudian air

dikondensasikan menjadi air tawar. Proses yang termasuk teknologi desalinasi termal ini adalah sebagai berikut.

1. Multi Stage Flash (MSF)

Dalam teknologi MSF, air laut dialirkan ke dalam suatu wadah yang disebut *brine heater* untuk dipanaskan. Proses pemanasan dilakukan dengan cara menyempatkan uap panas yang dihasilkan oleh turbin pada pembangkit listrik ke dalam *brine heater*. Air laut yang sudah dipanaskan sebelumnya, selanjutnya dialirkan ke wadah berikutnya yang disebut *stage*. Di dalam *stage* tekanan diturunkan menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Perubahan tekanan tersebut akan menyebabkan air laut yang masuk akan mendidih secara mendadak (*flashing*) dan menyebabkan air menjadi uap (*watervapour*).



Gambar 2 Diagram teknologi desalinasi MSF (Sumber : Nugroho, 2004)

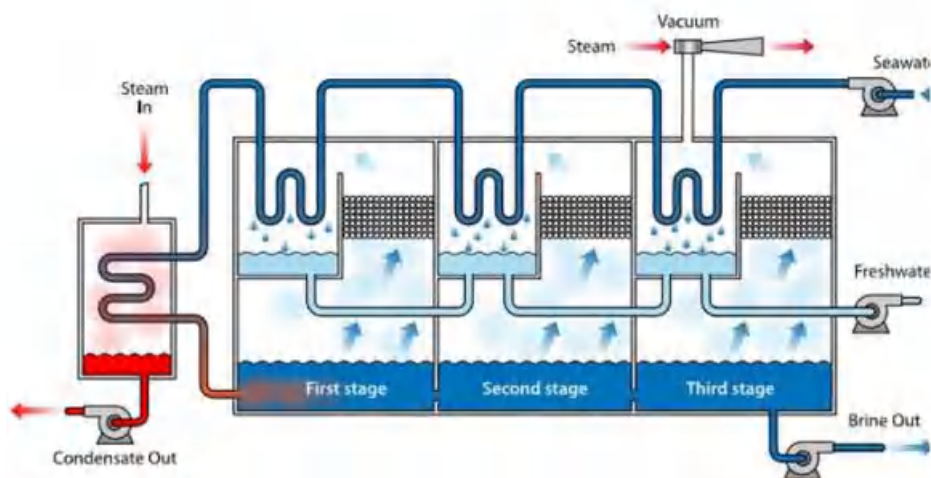
Proses ini akan terus berlanjut ke tahap berikutnya hingga air mencapai suhu yang lebih rendah dan tidak lagi menghasilkan uap air. Biasanya tahapan ini terdiri dari 15 sampai 25 tahapan. Penambahan jumlah *stage* akan menambah *capital cost* dan menambah rumit pengoperasian. Uap air yang berasal dari proses *flashing* ini kemudian mengalami kondensasi di dalam tabung yang terdapat pada setiap *stage*. Tabung tersebut juga berperan sebagai saluran untuk mengalirkan air laut ke dalam *brine heater*. Selama proses kondensasi ini, juga akan menyebabkan pemanasan pada air laut masukan, yang berarti bahwa jumlah energi yang diperlukan untuk memanaskan air laut masukan di *brine heater* menjadi lebih rendah. Kapasitas dari ini 4000 - 57000 m³/hari (1-15 mgd). Suhu maksimum (*Top Brine ure*) air laut yang keluar dari *brine heater* adalah berkisar antara 90 - 110 ngkatkan suhu dapat meningkatkan kinerja instalasi ini, tetapi di sisi lain,



hal ini juga dapat merugikan karena dapat mempercepat pembentukan *scaling* dan korosi pada permukaan logam (Nugroho, 2004).

2. Multi Effect Distillation (MED)

Pada teknologi desalinasi jenis MED (*Multi Effect Distillation*) menggunakan prinsip evaporasi dan kondensasi. Prinsip kerjanya adalah dengan cara menyemprotkan air laut pada permukaan evaporator. Permukaan evaporator ini umumnya berbentuk tabung (*tubes*) yang dilapisi film tipis (*thin film*) untuk mempercepat pendidihan dan penguapan.



Gambar 3 Diagram teknologi desalinasi MED (Sumber : Nugroho, 2004)

Proses penguapan pertama terjadi dengan menggunakan uap panas yang berasal dari pembangkit listrik/boiler yang keluar dari turbin. Kemudian dialirkan ke dalam sistem desalinasi. Uap ini memberikan panas yang diperlukan untuk proses desalinasi, dan selanjutnya terkondensasi kembali menjadi air. Air hasil kondensasi ini kemudian dapat dikembalikan ke dalam boiler pada pembangkit listrik untuk digunakan kembali dalam siklus tersebut. Uap yang dihasilkan pada proses terakhir dikondensasikan pada *heat exchanger* yang terpisah yang dinamakan *final condenser*. Temperatur pada setiap efek dari MED diatur oleh sistem hampa udara yang terpisah. Dalam perkembangan terbaru, digunakan alat *thermal vapour compression* yang berperan penting dalam mengurangi jumlah efek

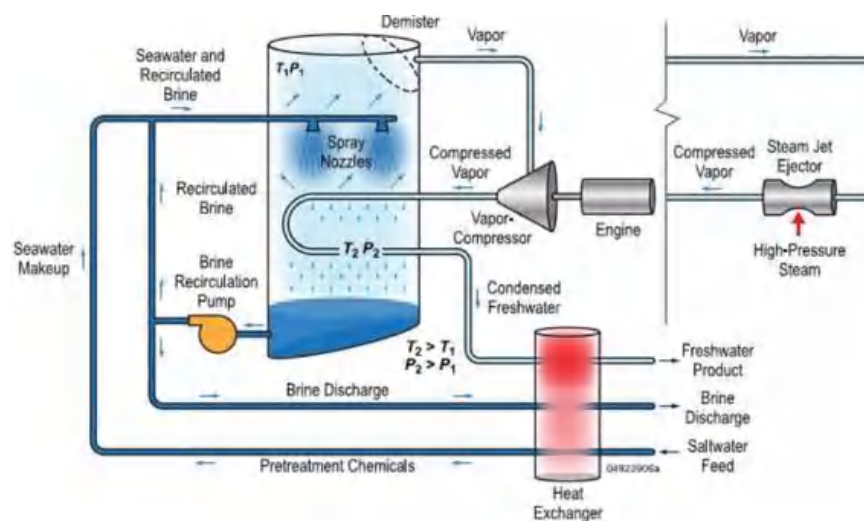


erlukan dalam proses MED untuk memproduksi air tawar dalam jumlah a. Umumnya instalasi desalinasi ini terdiri dari 8-16 efek. Efisiensi termal es ini sangat bergantung pada jumlah tahapan (efek) yang digunakan dalam

sistem. Semakin banyak efek yang digunakan, semakin tinggi efisiensi termalnya. Kapasitas air tawar yang dihasilkan oleh MED berkisar antara 2000 - 20.000 m³/hari (0.5 - 5 mgd) (Nugroho, 2004).

3. Vapor Compression (VC)

Destilasi dengan metode *Vapor Compression* (VC) umumnya digunakan untuk pengolahan air laut pada skala kecil hingga menengah. Metode ini menguapkan air melalui penekan uap ke dalam boiler hingga air laut mencapai temperatur yang dibutuhkan untuk menguap. Selanjutnya uap air akan melalui proses kondensasi dan menjadi air tawar (Abdulloh, 2015).



Gambar 4 Diagram teknologi desalinasi VC (Sumber : Nugroho, 2004)

2.2.2 Teknologi Desalinasi Membran

Teknologi desalinasi membran adalah sebuah metode untuk mengubah air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan sebuah membran untuk menahan atau merejeksi zat atau ion terlarut di dalam air laut sehingga menghasilkan air berkonsentrasi rendah (tawar).

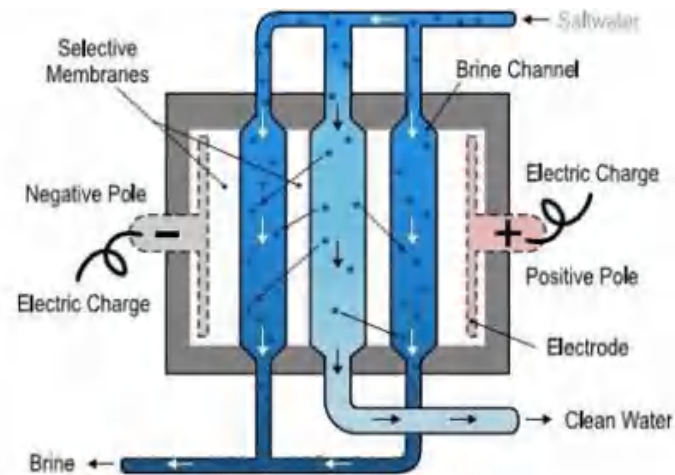
1. Electrodialysis (ED)

Teknologi *Electrodialysis* (ED) merupakan sebuah metode desalinasi dengan mengalirkan listrik ke dalam air untuk menciptakan sebuah medan listrik yang dapat melewati ion garam melalui membran sehingga menyisakan air tawar.



ini relatif murah dalam pembiayaannya. Hal ini dikarenakan konsumsi energi tergantung dari konsentrasi garam di dalam air umpan. Teknologi ED terdiri dari beberapa komponen dasar, yaitu sistem *pre-treatment*, paket membran,

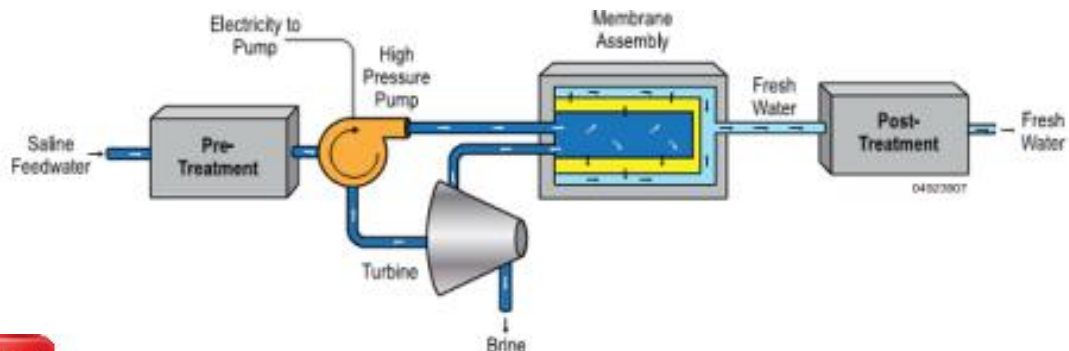
pompa tekanan rendah dan *power supply* dengan *direct-current* (*rectifier* atau *PV system*), dan sistem *post-treatment* (Abdulloh, 2015).



Gambar 5 Diagram teknologi desalinasi ED (Sumber : Nugroho, 2004)

2. Reverse Osmosis (RO)

Jika air tawar dan air laut dipisahkan oleh membran *semi-permeable*, air tawar akan melewati membran dan beralih ke sisi air laut dalam suatu proses yang dikenal sebagai osmosis. Proses ini terjadi bahkan tanpa adanya tekanan eksternal. Tekanan efektif yang mendorong perpindahan ini disebut sebagai tekanan osmotik. Perpindahan ini akan berhenti secara otomatis ketika mencapai keseimbangan pada tekanan osmotik tertentu. Besar tekanan osmotik dipengaruhi oleh sifat-sifat membran, suhu, dan konsentrasi air laut atau air tawar. Dalam sistem *reverse osmosis* (RO), tekanan diberikan pada air laut agar terjadi sebaliknya, yaitu air tawar yang terkandung dalam air laut keluar melewati membran. Proses ini dikenal sebagai *reverse osmosis* (RO) (Nugroho, 2004).



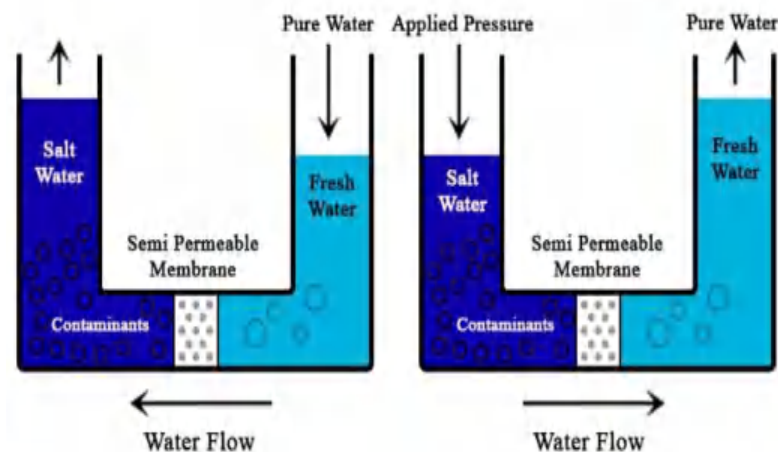
bar 6 Diagram teknologi desalinasi *reverse osmosis* (Sumber : Nugroho, 2004)



2.3 Desalinasi Air dengan Teknologi *Reverse Osmosis*

Teknologi desalinasi dengan metode *reverse osmosis* merupakan proses pengolahan air laut menjadi air tawar dengan melewati air laut melalui sebuah membran *semi-permeable* yang memiliki kemampuan untuk memisahkan air tawar dari larutan garam yang terkandung di dalam air laut. Membran *reverse osmosis* mampu memisahkan zat terlarut di dalam air laut hingga 0,0001 mikron (Sefentry, 2020).

Reverse osmosis adalah kebalikan dari fenomena osmosis. Osmosis adalah suatu proses di mana dua larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang berbeda mencapai kesetimbangan melalui lapisan *semi-permeabel*. Pada osmosis, pelarut bergerak dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang rendah ke larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi, sehingga menciptakan kesetimbangan konsentrasi. Perbedaan ketinggian larutan yang tercapai selama proses ini dapat diukur sebagai tekanan osmosis (William, 2003).



Gambar 7 Prinsip kerja reverse osmosis (Sumber : Dokumen pribadi)

Reverse osmosis bekerja dengan cara memberikan tekanan hidrostatik yang melebihi tekanan osmosis larutan. Hal ini memungkinkan pelarut, dalam kasus ini air, untuk berpindah dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut tinggi ke larutan dengan konsentrasi zat terlarut rendah. Prinsip *reverse osmosis* ini digunakan untuk memisahkan air dari komponen-komponen yang tidak diinginkan, sehingga dihasilkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi (William, 2003). Dalam tekanan osmotik antara air garam dan air tawar digunakan untuk memisahkan garam dari air. Tekanan yang lebih tinggi dari tekanan osmotik pada



air garam dimanfaatkan untuk mengubah arah aliran, sehingga menghasilkan air murni dengan konsentrasi yang lebih rendah (Ragetisvara & Titah, 2021). Difusi air tawar menuju air laut melewati membran *semipermeabel* dipengaruhi oleh daya atau tekanan osmosis. Tekanan osmosis dipengaruhi oleh karakteristik jenis membran, temperatur, konsentrasi garam (salinitas), dan senyawa yang terlarut dalam air (TDS) (Widayat, 2007). Efisiensi penghilangan garam dengan proses *reverse osmosis* pada membran mencapai 99,5% (Widayat, 2005).

Sistem RO pada dasarnya terdiri dari empat sistem utama, yaitu: (a) *pre-treatment*, (b) pompa bertekanan tinggi, (c) sistem membran, dan (d) *post-treatment* (Ragetisvara & Titah, 2021).

- a) *Pre-treatment* bertujuan menurunkan zat pengotor dalam air. *Pre-treatment* terdiri dari beberapa rangkaian filter yang digunakan untuk mengurangi zat kontaminan dalam air yang dapat merusak *high pressure pump* dan membran.
- b) *High pressure pump* berfungsi meningkatkan tekanan air umpan yang sudah melalui proses *pre-treatment* hingga tekanan operasi sesuai dengan membran dan salinitas air umpan.
- c) Sistem membran terdiri dari bejana bertekanan dan membran *semi-permeable*. Membran *semi-permeable* akan menghalangi aliran garam terlarut dan mengalirkan air produk terdesalinasi sehingga menghasilkan dua aliran, yaitu aliran produk air bersih dan aliran air laut berkonsentrasi.
- d) *Post-treatment* terdiri dari pengaturan pH, desinfeksi, penggunaan CO₂ untuk memulihkan alkalinitas, penambahan inhibitor untuk pengendalian korosi, serta degasifikasi. Pengaturan nilai pH diupayakan memasuki rentang 6,8 – 8,1 sesuai persyaratan kualitas air minum. Desinfeksi melibatkan sinar UV untuk membunuh bakteri dan organisme. Terdapat pula penambahan mineral dikarenakan hasil dari RO merupakan air demineralisasi. *Post-treatment* mencakup penyesuaian pH untuk pengendalian korosi dan desinfeksi. Desain dan penerapan proses *post-treatment* didasarkan pada tujuan kualitas air yang diinginkan untuk air olahan.



2.4 Pompa

Pompa adalah sebuah mesin yang digunakan untuk mendorong cairan dari satu wadah/tangki ke wadah/tangki yang lain atau untuk menaikkan tekanan pada aliran bertekanan rendah menjadi aliran dengan tekanan tinggi serta sebagai penguat laju aliran (Yana dkk, 2017).



Gambar 8 Pompa (sumber : Dokumen pribadi)

Dalam sistem *reverse osmosis* pompa adalah salah satu komponen penting dalam proses filtrasi air. Pompa yang digunakan adalah sebuah pompa pendorong (*booster pump*) yang berfungsi meningkatkan tekanan air umpan yang sudah melalui proses *pre-treatment* hingga tekanan operasi sesuai dengan membran dan salinitas air umpan. Tekanan tinggi digunakan untuk melewati air pada membran. Tekanan hidrostatik yang lebih besar dari tekanan osmotik air laut digunakan untuk membalikkan aliran, sehingga menghasilkan air murni (air tawar). Tekanan tinggi didapatkan melalui penggunaan satu atau lebih pompa yang bekerja secara paralel (Ragetisvara & Titah, 2021).

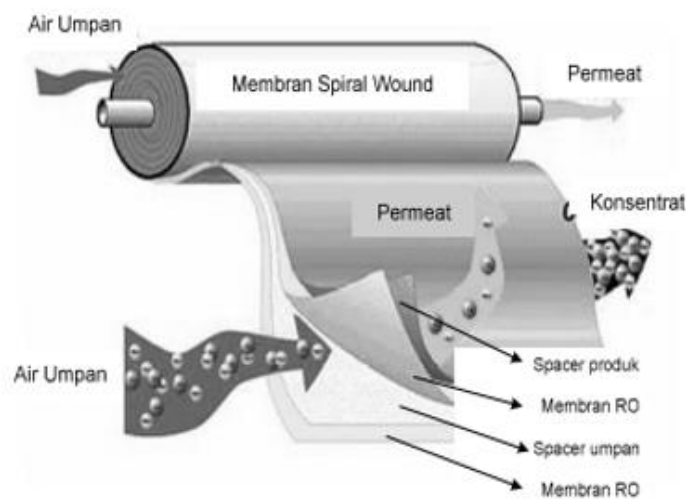
2.5 Membran Reverse Osmosis

Teknologi *reverse osmosis* menggunakan membran *semi-permeable* yang tersusun oleh lapisan tipis polimer pada penyangga berpori (*fabric support*). Dalam sebuah sistem *reverse osmosis* membran yang digunakan harus memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap air dan juga harus memiliki kemampuan semi permeabilitas yang baik artinya laju transportasi air melewati membran harus lebih tinggi dibandingkan laju transportasi ion-ion yang terlarut dalam umpan.

am aplikasi *reverse osmosis*, konfigurasi modul membran yang umumnya n adalah *spiral wound*. Konfigurasi lain seperti *hollow fiber*, tubular, dan



plate and frame tidak begitu umum digunakan dalam aplikasi *reverse osmosis*, dan biasanya digunakan dalam industri makanan serta sistem khusus.



Gambar 9 Membran *spiral wound* (Sumber: Anonym, 2009)

Dalam konfigurasi *spiral wound*, dua lembaran membran dipisahkan oleh saluran kolektor permeat dan membentuk sebuah lembaran (*leaf*). *Assembling* dilakukan dengan melekatkan lembaran tersebut pada tiga sisi dan membiarkan sisi keempat terbuka sebagai jalur keluar permeat. *Feed/brine spacer* yang digunakan sebagai bahan penyangga pada umpan/*brine*, kemudian dipasang bersama dengan lembaran tersebut. Beberapa lembaran *leaf* ini kemudian digulung mengelilingi sebuah tabung plastik berlubang, yang berfungsi untuk mengumpulkan permeat dari lembaran-lembaran tersebut. Elemen membran *spiral wound* yang digunakan dalam industri biasanya memiliki panjang sekitar 100-150 cm dan diameter sekitar 10-20 cm. Sementara itu, sistem *reverse osmosis* (RO) untuk skala rumah tangga memiliki elemen dengan panjang sekitar 25-100 cm dan diameter sekitar 5 -10 cm. Air umpan/*brine* mengalir secara aksial melalui elemen tersebut, memasuki melalui *feed spacer*, dan kemudian keluar melalui jalur *brine* secara sejajar menuju permukaan membran (Ariyanti, 2011). Membran menjadi lebih selektif jika dioperasikan pada tekanan yang lebih tinggi sehingga nilai TDS pada permeat yang dihasilkan dapat lebih rendah pada tekanan yang lebih tinggi (Ginting dkk, 2016).



ameter utama yang digunakan dalam penilaian kinerja membran filtrasi
uks permeat dan rejeksi. Fluks permeat adalah jumlah volume permeat
eroleh pada operasi membran per satuan waktu per luas permukaan

membran (Cheryan, 1986). Fluks permeat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Mulder, 1996) :

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (1)$$

dimana,

J = fluks permeate (L/m².jam)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

Rejeksi adalah ukuran kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan padatan/zat terlarut (Cheryan, 1986). Rejeksi membran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Mulder, 1996) :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2)$$

dimana,

R = rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat terlarut permeat

C_f = konsentrasi zat terlarut air umpan

2.6 Standar Baku Air Konsumsi

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menetapkan pedoman atau regulasi yang berisi aturan-aturan tentang standar kualitas air yang layak untuk keperluan konsumsi atau air minum yang aman bagi kesehatan manusia. Standar kualitas air minum yang ditetapkan meliputi beberapa parameter. Adapun parameter tersebut adalah sebagai berikut.

1. Parameter mikrobiologis

Air minum tidak boleh mengandung bakteri coliform dan E.coli dalam 100 ml sampel air. Hal ini karena keberadaan bakteri ini menunjukkan kontaminasi fekal yang dapat membawa patogen penyebab penyakit seperti are, kolera, dan tifus.



2. Parameter kimiawi

- Arsenik
Batas maksimum arsenik dalam air minum adalah 10 µg/L. Kandungan arsenik yang tinggi dapat menyebabkan keracunan akut dan masalah kesehatan kronis seperti kanker kulit dan gangguan perkembangan.
- Fluoride
Batas maksimum fluoride adalah 1.5 mg/L. Konsentrasi fluoride yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fluorosis.
- Nitrat
Batas maksimum nitrat adalah 10 mg/L untuk air minum. Kandungan nitrat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan methemoglobinemia atau blue baby syndrome pada bayi.
- Logam berat (timah, kadmium, dan merkuri)
Batas maksimum yang ditetapkan adalah 10 µg/L untuk timah, kadmium 3 µg/L, dan 6 µg/L untuk merkuri.

3. Parameter fisik

Parameter fisik yang ditetapkan untuk air minum adalah air minum seharusnya tidak memiliki warna, rasa, atau bau yang tidak menyenangkan. Parameter ini dapat dijadikan sebagai indikator adanya kontaminan di dalam air yang dikonsumsi.

4. Parameter pH

Rentang pH yang disarankan oleh WHO untuk air minum adalah berkisar antara 6,5 sampai 8,5. Rentang ini penting untuk menjaga keseimbangan kimia air, dan memastikan efektivitas desinfektan seperti klorin.

5. Total Dissolved Solid (TDS)

WHO tidak menetapkan batasan maksimum yang ketat untuk TDS, namun TDS yang ideal adalah dibawah 300 ppm, dan hingga 600 ppm masih dapat ditoleransi. TDS yang tinggi dapat mempengaruhi rasa air.

Pedoman WHO tersebut kemudian digunakan sebagai acuan bagi negara-negara untuk menetapkan standar nasional yang mendukung kesehatan masyarakat dengan memastikan air minum yang aman dan berkualitas tinggi.



Di Indonesia, standar air konsumsi diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 2 Tahun 2023 yang dituangkan dalam parameter yang menjadi acuan air minum aman. Selain air minum, acuan mengenai air untuk keperluan higiene dan sanitasi juga tertuang dalam Permenkes tersebut.

Tabel 1 Parameter air minum

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Total Dissolved Solid</i>	<300	Mg/L	SNI/APHA
2	pH	6,5-8,5	-	SNI/APHA
3	Warna	10	TCU	SNI/APHA
4	Bau	Tidak berbau	-	APHA

Sumber : Permenkes (2023)

Tabel 2 Parameter air untuk keperluan higiene dan sanitasi

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	<i>Total Dissolved Solid</i>	<300	Mg/L	SNI/APHA
2	pH	6,5-8,5	-	SNI/APHA
3	Warna	10	TCU	SNI/APHA
4	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara

Sumber : Permenkes (2023)

