

**Studi Desalinasi Air Laut dengan *Reverse Osmosis* dan
Ultrafiltration untuk Penduduk Pulau Buaya, Kabupaten Alor,
Nusa Tenggara Timur**

***Study of SeaWater Desalinisation using Reverse Osmosis and
Ultrafiltration for the Resident of Buaya Island, Alor Regency, East
Nusa Tenggara***

Lili Windyasari Bela¹, Melly Mellyanawaty^{1,2*)}, Nur Iswanto¹

¹Prodi Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta

²Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya

^{*}Corresponding author: melly@umtas.ac.id

INTISARI

Penduduk di Pulau Buaya, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur (NTT) selama ini, karena kondisi geografisnya, mengalami kesulitan untuk mendapatkan air bersih dan sangat tergantung pada sumber air tawar yang terdapat di pulau lain. Akses ke pulau ini dapat ditempuh dengan perjalanan selama 10-15 menit menggunakan perahu motor dan tidak dapat diakses selama kondisi cuaca ekstrim. Kebutuhan air bersih penduduk Pulau Buaya sebesar 140 m³/hari. Implementasi desalinasi air laut adalah untuk memenuhi kebutuhan air minum/air bersih bagi penduduk Pulau Buaya, Kabupaten Alor, NTT. Studi ini akan merancang unit desalinasi guna memenuhi kebutuhan penduduk Pulau Buaya yang terdiri dari intake, *feed pump*, modul *ultrafiltration*, *booster pump*, modul *Reverse Osmosis*, 2 *buffer tank* dan tanki air minum dengan kapasitas 100 m³. Daya yang dibutuhkan untuk pompa air baku dan *booster pump* masing-masing adalah 12 kW dan 56,5 kW. Unit desalinasi mampu memenuhi kebutuhan air minum penduduk Pulau Buaya dengan debit 140 m³/hari dan waktu operasi 10 jam/hari.

Kata Kunci: Pulau Buaya, Desalinasi, Air Bersih, *Reverse Osmosis*, *Ultrafiltration*

ABSTRACT

The residents of Buaya Island, Alor Regency, East Nusa Tenggara (NTT), due to its geographical conditions, have difficulties in getting clean water and are very dependent on fresh water supplies from adjacent island. This island was accessed in 10-15 minutes voyage by motorboat and would be inaccessible during extreme rough weather. The clean water need for the residents of Buaya Island was 140 m³/day. The installation of sea water desalination unit was to supply drinking/clean water needs of the Buaya Island population, Alor Regency, NTT. This study was to design desalination unit to supply the needs of Buaya Island community which consisted of an intake, feed pump, ultrafiltration module, booster pump, reverse osmosis module, 2 buffer tanks, and 2 drinking water tank with a capacity of 100 m³. The power required for the raw water pump and booster pump were 12 kW and 56.5 kW, respectively. The desalination unit was able to fulfil the drinking water needs of Buaya Island residents with a discharge of 140 m³/day and an operating time of 10 hours/day.

Keywords: Buaya Island, Desalination, Clean Water, Reverse Osmosis, Ultrafiltration

PENDAHULUAN

Pulau Buaya merupakan pulau yang bentuknya mirip dengan buaya jika dilihat dari kejauhan. Seperti halnya pulau-pulau kecil terluar dan terpencil lain di Indonesia, Pulau Buaya juga mengalami keterbatasan pasokan air bersih karena tidak memiliki sumber air tawar permukaan seperti air sungai atau air danau, dan dipengaruhi oleh kondisi air laut yang memiliki salinitas tinggi serta sebagian wilayahnya berbentuk berbatu karang. Penduduk Pulau Buaya sangat bergantung pada sumber air tawar dari pesisir dermaga Baolang yang berjarak sekitar 10-15 menit perjalanan dengan perahu. Cuaca buruk dan gelombang laut juga mengakibatkan kesulitan dalam memperoleh air bersih karena penyeberangan menjadi tidak aman atau bahkan tidak mungkin dilakukan, sehingga penduduk harus bersiap menghadapi hari-hari tanpa pasokan air yang memadai. Pemanfaatan air hujan belum mampu memenuhi kebutuhan akan air bersih karena wilayah Desa Pulau Buaya memiliki iklim semi arid yang menyebabkan musim kemarau lebih panjang dibandingkan dengan musim hujan.

Sumber air yang tidak terbatas adalah air laut. Namun, air laut tidak dapat dikonsumsi secara langsung karena kandungan salinitasnya yang cukup tinggi dan tidak memenuhi baku mutu air minum (Kutananda et al., 2022). Air laut dapat diproses menjadi air minum melalui proses desalinasi untuk menghilangkan kandungan garam terlarut dan mineral lain yang berlebihan sehingga dihasilkan air yang sesuai dengan baku mutu air minum (Hapsari et al., 2022). Salah satu teknologi desalinasi air laut adalah teknologi membran, khususnya *Reverse Osmosis*. *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) telah terbukti dapat menghasilkan air murni dari air laut secara maksimal (Fadhila, 2015). Membran RO mampu menghilangkan kadar garam, mineral terlarut, bakteri dan virus sehingga air hasil pengolahan jernih, bersih dan bisa langsung dikonsumsi (Indriatmoko et al., 2020).

Studi ini bertujuan untuk merancang unit desalinasi air laut menggunakan teknologi membran, yakni ultrafiltration dan RO, guna memenuhi kebutuhan air minum bagi penduduk Pulau Buaya, Kabupaten Alor, NTT, termasuk mengestimasi kebutuhan *Capital Expenditure* (Capex) dan *Operation Expenditure* (Opex).

Desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kandungan garam berlebih di dalam air agar dihasilkan air yang dapat dikonsumsi. Teknologi desalinasi yang banyak diaplikasikan adalah *thermal process* seperti *Multi Effect Distillation* (MED), *Multi Vapour Compression* (MVC) dan *Multistage Flash* (MSF), serta teknologi membran yakni aplikasi RO. Beberapa faktor yang menjadi dasar dalam pemilihan proses teknologi desalinasi adalah sebagai berikut:

1. Salinitas (kadar zat terlarut air masukan);
2. Kualitas air bersih yang diinginkan;
3. Sumber energi yang akan digunakan untuk produksi air;
4. Debit air yang diperlukan;
5. Faktor ekonomi, keandalan, kemudahan operasi dan perawatannya.

Keunggulan teknologi membran dibandingkan dengan *thermal process* adalah konsumsi energi yang lebih rendah yakni sebesar 3 - 4 kWh/m³, sementara teknologi

termal membutuhkan energi sebesar 7,4-12 kWh/m³ (Ghaffour et al., 2015). Selain itu karena berbentuk modular, konstruksi RO jauh lebih sederhana serta lebih mudah pengoperasian maupun perawatannya dibandingkan *thermal process*.

Membran adalah lembaran, film atau lapisan tipis yang berfungsi sebagai penghalang selektif antara dua fase berupa cairan, gas atau uap yang terdiri dari beberapa jenis (Lestari, 2020). Perbedaan jenis membran terutama ditentukan oleh ukuran porinya, yakni *Microfiltration* (MF), *Ultrafiltration* (UF), *Nanofiltration* (NF), dan *Reverse Osmosis* (RO).

1) *Microfiltration* (MF)

MF merupakan membran berpori yang dapat menyaring partikel tersuspensi dan memiliki ukuran pori antara 0,05 – 10 µm (Wenten et al., 2010). Membran ini dapat memisahkan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur di dalam air. MF juga dapat menurunkan turbidity yang disebabkan oleh partikel terlarut dan melayang, namun, garam-garam yang terlarut di dalam air tidak dapat disaring oleh membran MF (Lusiana et al., 2020).

2) *Ultrafiltration* (UF)

UF adalah membran yang dapat memisahkan partikel berukuran 0,001 – 0,100 µm (Lusiana et al., 2020). Padatan tersuspensi dan zat terlarut dari berat molekul tinggi tidak dapat melewati membran UF, sedangkan air dan zat terlarut berat molekul rendah dapat melewati membran yang disebut *permeate* (Ferry, 2016). Karena kemampuannya, UF cocok diaplikasikan sebagai pretreatment air laut sebelum diolah di dalam RO.

3) *Nanofiltration* (NF)

Kemampuan filtrasi NF berada di antara membran UF dan RO, dan memisahkan partikel berukuran 0,0005 – 0,005 µm (Lusiana et al., 2020). UF dapat diaplikasikan pada air yang memiliki jumlah total padatan terlarut (TDS) yang relatif rendah seperti air tanah dan air permukaan dengan tujuan *softening* atau penyisihan kation polivalen, maupun penghilangan produk samping desinfektan seperti zat organik alam dan sintetis (Ferry, 2016).

4) *Reverse Osmosis* (RO)

RO merupakan membran semipermeabel yang mampu memisahkan air tawar dari komponen terlarut berukuran 0,001 sampai 0,0001 µm serta larutan garam dengan bantuan tekanan yang tinggi. RO merupakan teknologi yang berkembang pesat dan banyak digunakan untuk mengolah air laut menjadi air tawar atau air minum. Teknologi ini bekerja dengan prinsip tekanan tinggi untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya (Safentry et al., 2020). Hasilnya adalah air dengan kualitas yang sangat baik dan aman untuk dikonsumsi (Regetisvara et al., 2021).

Selain keunggulan yang telah dijelaskan sebelumnya, suhu operasi RO adalah pada suhu lingkungan tanpa melalui proses perubahan fase dari fase cair menjadi uap

dan kemudian dikondensasikan menjadi fase cair kembali seperti di dalam *thermal process*. Sehingga air minum yang melewati RO memiliki suhu yang sama dengan suhu air laut dan langsung dapat digunakan tanpa pendinginan. Selain itu, RO dapat menghilangkan zat terlarut tanpa memerlukan bahan kimia tambahan dan kebutuhan ruang dan peralatan operasi yang lebih kecil, menghasilkan air dengan kualitas tinggi serta minimnya permasalahan korosi alat (Wulansari et al., 2021). Kemudahan dalam menambah kapasitas juga menjadi keunggulan dari RO (Regetisvara et al., 2021). Karena sudah tidak mengandung garam dan telah bebas dari bakteri, RO menghasilkan air yang siap diminum (Sefentry et al., 2020). Permeate yang dihasilkan dari sekitar 30-40% dari air laut yang jadi umpan masuk (intake).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Pulau Buaya, Kecamatan Alor Barat Laut, Kabupaten Alor, di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Lokasi penelitian dipilih dengan mempertimbangkan berbagai faktor penting yang berkaitan dengan kondisi geografis dan kebutuhan air masyarakat setempat. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Juli 2024. Opsi site plant unit desalinasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rencana Site Plant

Proyeksi jumlah penduduk Pulau Buaya selama 5 tahun ke depan menggunakan persamaan aritmatika (Persamaan 1), sedangkan perhitungan kebutuhan air penduduk, sekaligus kapasitas unit desalinasi yang didesain menggunakan Persamaan (2)

$$P_t = P_0 (1 + r.t) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada tahun t ;

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar;

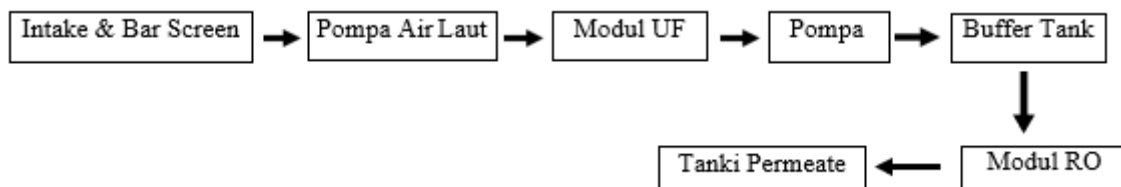
r = Laju pertumbuhan penduduk;

t = Periode yang ditentukan antara tahun awal dan tahun t (dalam tahun).

Kebutuhan Air = Jumlah kebutuhan air per orang per hari $\times$ Jumlah penduduk.....(2)

Alat utama yang digunakan dalam proses desalinasi air laut adalah membran UF sebagai bagian dari proses *pre-treatment* dan membran RO sebagai tahap utama pengolahan. Membran UF berfungsi sebagai tahap awal penyaringan untuk menghilangkan bakteri, virus, koloid dan makro molekul dari air laut (Regetisvara et al., 2021). Proses ini penting untuk meningkatkan efisiensi dan umur pemakaian membran RO sebagai tahapan proses selanjutnya, khususnya agar risiko penyumbatan dan kerusakan pada RO dapat diminimalisir, sehingga proses desalinasi dapat berjalan efektif dan efisien.

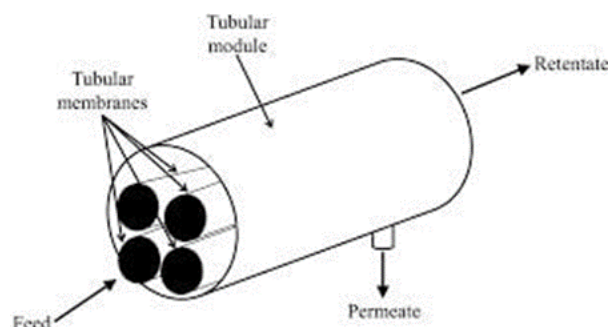
Peralatan-peralatan lain sebagai penunjuang desain instalasi desalinasi adalah : 1) sistem hisapan air laut/air baku, termasuk pompa dan pipa air laut, 2) saringan (*screen*), 3) jaringan pipa air produk desalinasi, 4) tangki penampungan (*buffer tank*), 5) membran *ultrafiltration*, 6) pompa tekanan tinggi, 7) pembangkit listrik (*genset*), 8) tangki air hasil pengolahan. Gambar 2 menunjukkan *block diagram* proses desalinasi.



Gambar 2. Block Diagram Proses Desalinasi

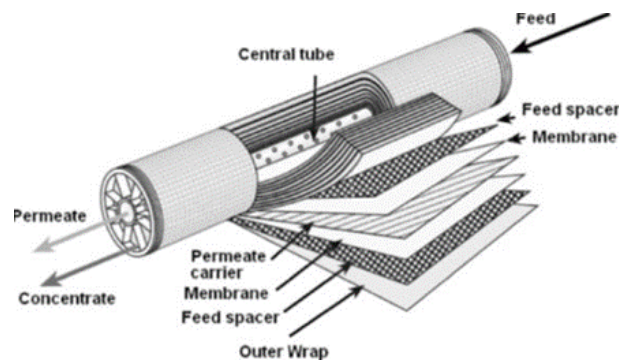
Modul membran adalah bentuk dan bagaimana konfigurasi membran yang dipasang sebagai sebuah industrial unit. Modul membran terdiri dari material membran, struktur penahan tekanan, saluran *inlet*, *outlet permeate*, dan *outlet retentate*. Tipe modul membran adalah sebagai berikut (Redjeki, 2011):

1. **Modul Tubular:** Merupakan membran yang permukaannya dilapisi dengan lapisan pendukung berpori (*porous sublayer*) dan *tube* penyangga dimana diameter dalam *tube* ini berkisar antara 6 – 40 mm. Umpan masuk mengalir melalui bagian dalam *tube*, dimana *permeate* akan mengalir melewati membran menuju ke dalam lapisan pendukung berpori (*porous support tube*) dan lubang-lubang yang terdapat pada *porous support tube*. Modul *tubular* diilustrasikan pada Gambar 3.



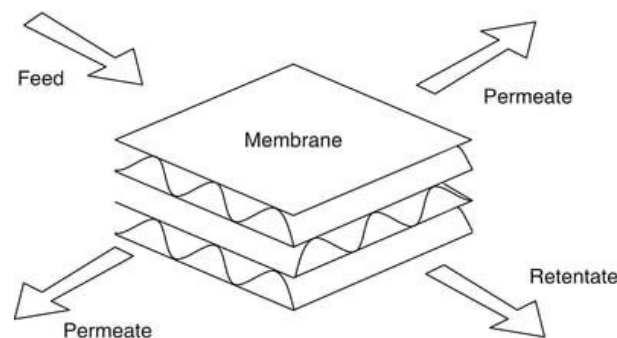
Gambar 3. *Module Tubular*

2. ***Spiral Wound***: adalah modul yang bentuknya menyerupai *sandwich* yang terdiri dari beberapa lembaran membran (*flat sheet*), *spacer*, dan material berpori yang dililitkan pada suatu saluran pengumpul permeate (*permeate collecting tube*). Air umpan akan mengalir secara aksial di dalam celah yang terbentuk antara spacer dan membran di sepanjang modul. Membran diikat pada ketiga tepinya sehingga membentuk kantong (*pocket*) dengan menggunakan bahan epoxy atau polyurethane. Pada ujung satunya lagi (*open end*) disambungkan pada bagian tengah tube (*tube central*) yang berlubang. Ilustrasi modul *spiral wound* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Spiral Wound*

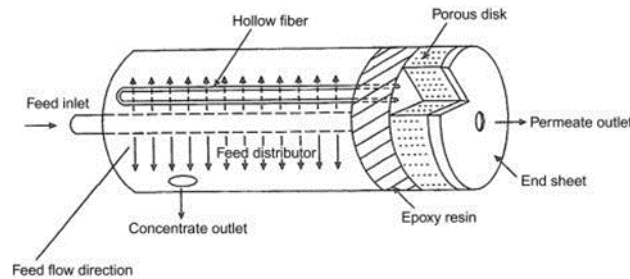
3. ***Plate And Frame***: Modul *Plate and Frame* terdiri dari lembaran membran dan plat penyangga (*support plate*). Lembaran membran dan plat dihubungkan menggunakan gasket atau direkatkan langsung dengan *heating seal* atau perekat tertentu. Beberapa elmen plat selanjutnya disusun menjadi suatu tumpukan menjadi suatu modul. Jarak antar plat diatur sekitar 0,5 - 3 m. Ilustrasi *plate and frame* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Plate dan Frame*

4. ***Hollow Fiber***: Modul *hollow fiber* adalah modul yang memiliki *packing density* paling besar yakni sekitar 1000 – 10000 m²/m³. Modul ini tersusun dari serat halus menjadi suatu bundel dalam suatu *shell* yang berbentuk silindris yang terdiri dari 5 – 10.000

serat. Ukuran diameter serat berkisar pada ukuran 80 - 200 μm , dimana ketebalan dinding sekitar 20 μm . Ilustrasi *modul hollow fiber* yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Hollow Fiber*

Dalam perencanaan ini modul RO yang digunakan adalah *spiral wound*, karena modul ini memiliki keunggulan utama, salah satunya adalah luas permukaan membran yang besar. Modul ini menawarkan *packing density* yang sangat tinggi, yang dapat mencapai hingga 1000 m^2/m^3 , memungkinkan sistem untuk menangani volume air yang besar dalam ruang yang relatif kecil. Keunggulan lainnya adalah *permeabilitas* tinggi dari modul *spiral wound*, yang memfasilitasi aliran air yang lebih cepat dan efisien melalui membran. Selain itu, modul ini juga dirancang dengan kemampuan kontrol *fouling* yang baik, mengurangi risiko penyumbatan dan meningkatkan umur pakai membran. Kemudahan operasional yang ditawarkan oleh modul *spiral wound* menjadikannya pilihan yang sangat efisien dan praktis untuk instalasi desalinasi, sehingga banyak digunakan dalam industri untuk memastikan proses pemurnian air yang optimal dan berkelanjutan (Wenten et al., 2014).

Disain kapasitas unit desalinasi didasarkan pada 2 (dua) faktor, yakni jumlah penduduk dan kebutuhan air penduduk setiap hari. Jumlah penduduk Pulau Buaya pada tahun 2022 adalah 1.835 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,5% dan standar kebutuhan air domestik skala desa menurut Departemen Cipta Karya diambil sebesar 70 liter/org/hari.

Komponen utama dalam perhitungan Capex meliputi biaya pengadaan dan pemasangan alat-alat utama yakni: *bar screen*, *feed pump*, *buffer tank*, *ultrafiltration*, *booster pump*, RO, tangki *permeate*, *genset*, pipa Stainless Steel SUS 304. Sedangkan data lain seperti biaya struktur dan pekerjaan sipil berdasarkan Permen PUPR nomor 1 tahun 2022 tentang Analisis Harga Satuan Banguna dan Peraturan Gubernur NTT Nomor 11 Tahun 2022. Opex merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional Unit Desalinasi, yang utamanya meliputi bahan bakar (BBM), biaya tenaga kerja serta pemeliharaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Air Laut Kabupaten Alor

Siburian et al. (2017) telah melaksanakan pengujian terhadap kualitas air laut di Kabupaten Alor. Sampel diambil di 3 (tiga) lokasi yakni di sekitar Dermaga PELNI, area reklamasi pantai, dan di pelabuhan perikanan. Hasil pengujian ditampilkan di dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Kimia-Fisika Air Laut Kabupaten Alor

Parameter	Satuan	Sampel		
		1	2	3
Fisik				
Suhu	°C	29,8	30,5	30,1
Kekeruhan	NTU	4,06	4,27	4,81
Kebauan		Alami	Alami	Alami
Padatan Tersuspensi	mg/L	67,94	78,68	74,48
Padatan Terlarut	mg/L	13.530	18.572	18.091
Kimia				
pH		8,14	8,25	8,28
BOD	mg/L	2,29	2,5	1,46
Kesadahan total	mg/L	2.890	2.790	2.850
Oksigen Terlarut	mg/L	13,14	9,83	9,48
Nitrat-N	mg/L	0,013	0,010	0,012
Minyak danLemak	mg/L	138,14	136,62	164,95
Salinitas	‰	32,7	34,4	34,7
Fe	mg/L	1,15	1,13	1,12
Pb	mg/L	1,50	0,73	0,86
PCB (Poliklorbifenil)	µg/L	0,0054	0,0061	0,0057

Sumber: Siburian et al., 2017

Secara keseluruhan, ada beberapa parameter yang memerlukan perhatian khusus seperti salinitas yang tinggi (32,7 hingga 34,7‰) dapat menyebabkan stres osmotik, kesadahan total yang relatif tinggi (sekitar 2.800-2.900 mg/L) yang menunjukkan kandungan mineral seperti kalsium dan magnesium yang tinggi, yang dapat menyebabkan terjadinya deposit kerak (*scaling*) jaringan perpipaan, kandungan timbal yang tinggi (1,5 mg/L pada Sampel 1) sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan kehidupan akuatik, serta kandungan PCB (sekitar 0,0054 hingga 0,0061 µg/L). Kandungan minyak dan lemak yang tinggi pada Sampel 3 (164,95 mg/L) juga merupakan pencemaran yang cukup serius bagi unit desalinasi yang akan didesain. Sample ini diambil di titik yang berdekatan dengan pelabuhan, sehingga terdapat tumpahan bahan bakar serta minyak pelumas yang relatif tinggi dibandingkan di daerah pesisir lain.

2. Lokasi Desalinasi Kapasitas Unit Desalinasi

Selain memastikan kondisi air laut yang lebih bersih di lokasi perencanaan, lokasi yang jauh dari sumber pencemaran air laut, yang tidak mengandung minyak dan lemak tentu akan lebih mudah diolah menjadi air tawar yang memenuhi baku mutu, sekaligus meningkatkan efisiensi proses desalinasi serta menurunkan biaya perawatan untuk pembersihan membran karena kontaminan minyak dan lemak dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan meningkatkan frekuensi perawatan. Lokasi yang direncanakan bagi unit desalinasi di Pulau Buaya berjarak kurang lebih 30 km dari lokasi pengambilan sampel dan berada di daerah yang jauh dari aktivitas pelabuhan untuk memastikan air laut di daerah perencanaan berada dalam kondisi yang bebas dari kontaminan minyak dan lemak.

Gambar 1 menunjukkan salah satu opsi *site plan* unit desalinasi di Pulau Buaya. Lokasi tersebut merupakan daerah pantai yang berpasir dan tidak ditumbuhi hutan bakau. Ketiadaan hutan bakau ini berkontribusi pada kejernihan air di sekitar pantai, karena tidak ada akar-akar tanaman yang dapat mengikat lumpur dan partikel lain yang mengotori air, sehingga kondisi perairan di sekitarnya cenderung lebih bersih. Air laut yang relatif jernih dan bebas dari lumpur tidak akan mengganggu proses filtrasi.

3. Kapasitas Unit Desalinasi

Kebutuhan air tawar desa Pulau Buaya dihitung menggunakan data jumlah penduduk yang diambil dari buku profil wilayah desa Pulau Buaya tahun 2022 dan data standar kebutuhan air domestik menurut Departemen Cipta Karya. Jumlah penduduk Pulau Buaya tahun 2022 sebesar 1.835 jiwa dan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,5%. Dengan menggunakan metode aritmatika sesuai Persamaan (1), maka jumlah penduduk 5 tahun mendatang, 2027, diprediksi akan sebesar 1.973 orang yang dirangkum di dalam Tabel 2. Dengan jumlah penduduk kurang dari 20.000 jiwa, maka standar kebutuhan air domestik ditentukan sebesar 70 liter/org/hari dan diperoleh sebesar 140 m³/hari.

Tabel 2. Prediksi Jumlah Penduduk 5 Tahun Sampai Tahun 2027

Tahun	P ₀	r	t	P _t
2022	1.835	0,015	0	1.835
2023		0,015	1	1.863
2024		0,015	2	1.890
2025		0,015	3	1.918
2026		0,015	4	1.945
2027		0,015	5	1.973

Selanjutnya, dengan volume air bersih yang dibutuhkan untuk Pulau Buaya sebesar 140m³/jam, dan jam operasional unit desalinasi direncanakan selama 10 jam/hari, maka kapasitas produksi air bersih yang ditentukan adalah sebesar 14 m³/jam. Berdasarkan data manufaktur, volume air bersih (*permeate*) yang

dihasilkan dari umpan air laut sebesar 30%, sehingga volume air laut yang akan dipompa atau diproses di unit desalinasi adalah sebanyak 47 m³/jam atau 470 m³/hari guna menghasilkan *permeate* sebanyak 14 m³/jam atau 140 m³/hari. 70% air laut yang tidak lolos sebagai *retentate (concentrate)* akan dikembalikan ke laut.

4. Desain Unit Desalinasi

Desain pengolahan air laut didasarkan pada kualitas air baku yang akan diolah dan membutuhkan proses *pretreatment*. Pipa *intake* air laut ditempatkan sedikitnya 6 (enam) meter di bawah permukaan untuk mencegah terikutnya kotoran maupun sampah yang terdapat di permukaan dan berjarak sekitar 60 dari instalasi utama. Air laut selanjutnya disaring menggunakan *bar screen* untuk menghilangkan partikel-partikel yang melayang sebelum dipompa menuju *pretreatment (ultrafiltration)*.

Bar screen terdiri dari batang baja yang dilas pada kedua ujungnya terhadap dua batang baja horizontal dan yang dipasang adalah *bar screen* halus (*fine screen*) dengan jarak antar batang 1,5 – 13 mm dengan spesifikasi seperti yang tertera Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Bar Screen

Model	<i>Fine Screen</i>				
Celah Kisi	1 mm – 15 mm				
Grid gap	1mm	3mm	5mm	10mm	15mm
	0,12	0,27	0,36	0,48	0,54
Lebar Peralatan	300 mm				
Lebar Saluran	400 mm				
Panjang	1,5 – 5 m				

Sumber: Manufaktur, 2024

Air laut yang sudah diolah di dalam *ultrafiltration* ditampung di dalam *buffer tank* sebelum dipompa ke unit RO dengan tekanan tinggi. *Permeate* yang keluar dari unit RO selanjutnya ditampung di dalam tanki penampungan untuk distribusi, sedangkan air laut yang tidak lolos dengan kadar garam lebih tinggi (*retentate*) dikembalikan ke laut.

5. Pompa Air Laut

Air laut dipompa dari *intake* yang dialirkan menuju unit *ultrafiltration* yang memiliki tekanan kerja 3,5 Bar dan selanjutnya ditampung ke dalam *buffer tank*. Bahan pipa yang dipilih adalah Stainless Steel SUS 304, Schedule Number 40 dan diameter 5 inchi. Berdasarkan perhitungan, besarnya daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan air sebanyak 0,013 m³/det dengan *total head* 90,43 m adalah 12 kW. Tabel 4 menunjukkan spesifikasi pompa yang dipilih. Daya pompa terpasang yang dipilih sebesar 15 kW, sesuai dengan daya yang paling dekat dengan hasil perhitungan.

Tabel 4. Spesifikasi Pompa

Model	<i>Multistage Pump</i>
-------	------------------------

Temperature Range	-40°C – 120°C
Speed	3.528 rpm
Rated Flow	54 m ³ /h
Rated Head	57,2 m
Pump Orientasi	<i>Vertical</i>
Max. Operating Pressure	16 Bar
Rated Power	15 kW

Sumber: Manufaktur, 2024

6. Modul UF

Air laut dipompa dan dialirkan ke unit UF. Membran UF efektif dalam memisahkan partikel sangat halus dan mikroorganisme dari air (Moslehyani et al., 2019). Pemilihan spesifikasi membran didasarkan pada beberapa pertimbangan, yakni: jumlah *permeate* yang didesain, serta kualitas air minum yang sesuai baku mutu.

Modul UF yang digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe *hollow fiber* yang memiliki keunggulan antara lain efisiensi penyaringan yang tinggi serta pemeliharaan yang relatif mudah. Desain *hollow fiber* memungkinkan area membran yang luas dalam ruang yang lebih kompak, sehingga meningkatkan kapasitas penyaringan tanpa memerlukan banyak ruang fisik. Selain itu, tipe ini juga dikenal memiliki ketahanan yang baik terhadap *fouling*, yang berarti penurunan efisiensi akibat penumpukan partikel pada permukaan dapat diminimalkan (Wenten, 2016). Gambar 6 menunjukkan ilustrasi dari modul *hollow fiber* dan Tabel 5 menunjukkan spesifikasi teknis modul membran UF.

Tabel 5. Spesifikasi Membran Ultrafiltration

<i>Type</i>	<i>Hollow Fiber</i>
<i>Membrane chemistry</i>	<i>Polyvinylidene Difluoride (PVDF)</i>
<i>Feed Spacer</i>	46 mil
<i>Active Membrane Area</i>	26,9 m ²
<i>Max. Flux</i>	100 L/m ² /h
<i>Typical Operating Pressure</i>	30 - 120 psi (2.1 - 8.3 bar)
<i>Operating Temperatur</i>	41 - 130°F (5 – 54°C)
<i>Allowable pH</i>	2,0 – 4,0
<i>Nominal Dimensions</i>	A: 965 mm
	B: 211 mm
	C: 28,9 mm

Sumber: Manufaktur, 2024

Pola aliran yang digunakan pada modul UF adalah *cross-flow*, dimana air laut umpan mengalir sejajar dengan permukaan membran, sementara konsentrat bergerak dengan kecepatan tinggi untuk menciptakan turbulensi. Metode ini akan memperlambat pembentukan lapisan *cake* di permukaan membran, yang tersapu oleh

gaya geser dari aliran *cross-flow*. Kecepatan aliran umpan sangat berperan penting dalam menentukan kecepatan perpindahan massa dalam modul UF.

Pada awal operasi, laju aliran air melalui membran mungkin akan mengalami penurunan karena terbentuknya lapisan *fouling* awal. Namun, seiring waktu, fluks akan stabil karena lapisan *fouling* tidak terus bertambah, berkat efek pembersihan oleh aliran *cross-flow* yang konstan.

Dengan debit sebanyak 47.000 L/jam, fluks sebesar 100 L/m².jam, serta luas area penyaringan 26,9 m²/modul, maka jumlah modul UF yang diperlukan sebanyak 18 modul. Guna memastikan proses pembersihan dan pemeliharaan modul dapat dilakukan tanpa mengganggu operasi, maka jumlah modul yang diperlukan adalah 36, dimana 18 modul masing-masing akan digunakan sebagai *service module* (operasional) dan sebagai cadangan (*cleaning and stand by*).

7. Pompa Booster

Air laut yang telah melalui proses pre-treatment di modul UF akan ditampung di Buffer Tank yang berkapasita 47 m³ sebelum dipompa menggunakan booster pump menuju modul RO. Berdasarkan spesifikasi RO, tekanan kerja modul RO sebesar 42 Bar. Berdasarkan perhitungan, besarnya daya pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan air laut sebanyak 0,013 m³/detik, dengan total head 430,15 m adalah 56,5 KW. Spesifikasi pompa disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi Booster Pump

Type	Booster Pump
Max. outlet pressure	80 bar (1160 Psi)
Max. suction pressure	60 bar (870 Psi)
Max. head	470 m (1542 ft)
Max. flow	160 m ³ /h
Rated Power	75 kW

Sumber: Manufaktur, 2024

8. Modul RO

Modul RO yang dipilih adalah tipe *spiral wound* yang terdiri dari lembaran membran yang digulung menjadi bentuk *spiral* yang memungkinkan area permukaan yang besar dalam volume yang kompak, sehingga meningkatkan efektivitas penyaringan dengan pola aliran *cross flow*. Tabulasi spesifikasi modul RO ditampilkan di dalam Tabel 7. *Flux* yang dihasilkan sebanyak 300 L/m².jam, serta luas membran 7,9 m²/modul; maka jumlah modul yang dibutuhkan sebanyak 6, dan yang akan dipasang sebanyak 12 modul RO.

Tabel 7. Spesifikasi Membran *Reverse Osmosis*

<i>Model</i>	<i>Spiral Wound</i>
<i>Membran Polymer</i>	<i>Composite Polyamide</i>
<i>Permeate Flow</i>	1.900 gpd (7,2 m ³ /d)
<i>Salt Rejection</i>	99,7 % (99,5% minimum)
<i>Active Membrane Area</i>	85 ft ² (7,9 m ²)
<i>Feed Spacer</i>	31 mil (0,8 mm)
<i>Max. Operating Pressure</i>	1.200 Psi (82,7 Mpa)
<i>Max Operating Temperatur</i>	113°F (45°C)
<i>pH Range</i>	2 - 11
<i>Max Feed Turbidity</i>	1 NTU
<i>Nominal Dimensions</i>	A : 1.016 mm
	B : 1.00,3 mm
	C : 19,1 mm

Sumber: Manufaktur, 2024

9. Tanki Permeate

Air minum (*permeate*) yang dihasilkan dari unit RO selanjutnya ditampung di dalam 2 (dua) tanki penampungan air bersih yang masing-masing berkapasitas 50 m³ dan terbuat dari beton.

KESIMPULAN

Kapasitas unit desalinasi untuk memenuhi kebutuhan air minum penduduk Pulau Buaya 140 m³/hari, dengan waktu operasi 10 jam/hari. Peralatan utama unit desalinasi yang didesain meliputi pipa *intake*, *bar screen*, *feed pump*, *buffer tank*, modul UF, modul RO, *high pressure pump*, dan tanki air minum (*permeate*).

DAFTAR PUSTAKA

- Ferry, V. (2016). *Aplikasi Teknologi Membran untuk Pengolahan Air Terproduksi*.
- Ghaffour, N., Bundschuh, J., Mahmoudi, H., & Goosen, M. F. (2015). Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems. *In Desalination*, 356, 94-114. doi:10.1016
- Hapsari, L. P., Pranoto, A. K., Rinjani, W. A., Anasri, A., Anjani, I., & Rahman, A. (2022). Penggunaan Teknologi Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Proses Desalinasi Air Laut. 3, 153-164.
- I G. Wenten, Khoiruddin, & A.N. Hakim. (2014). *Osmosis Balik*.
- Indriatmoko, H., Setiadi, I., & Yudo, S. (2020). Peningkatan Kualitas Air Baku Menjadi Air Minum dengan Menerapkan Arsinum di Pesantren Syubanol Yaum Tenajar Kertasemaya Indramayu Jawa Barat. *Jurnal Air Indonesia*, 12, 1-8.

- Kutananda, A. M., & Titah, H. S. (2022). Kajian Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Reverse Osmosis sebagai Pemenuhan Kebutuhan Air Tawar Kampung Wisata Apung, Malahing, Kota Bontang dan SDGs Poin 6. *Jurnal Teknik ITS*, 11, 107-112. Diambil kembali dari [file:///C:/Users/admin/Downloads/93112-196852-1-PB%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/93112-196852-1-PB%20(4).pdf)
- Lestari, K. R. (2020). *Teori Dasar Membran*.
- Lusiana, D. A., & Prasetya, D. B. (2020). *Membran dan Aplikasinya*.
- Moslehyani, A., Ismail, A. F., Matsuura, T., Rahman, M., & Goh, P. S. (2019). Progresses of Ultrafiltration (UF) Membranes and Processes in Water Treatment. *Membrane Separation Principles and Applications*, 85-110.
- Redjeki, S. (2011). *Proses Desalinasi Dengan Membrane*. Diambil kembali dari <https://core.ac.uk/download/pdf/19892258.pdf>
- Regetisvara, A. A., & Titah, H. S. (2021). Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Kapal Pesiar. *Jurnal Teknik ITS*, 10, 68-75.
- Safentry, A., & Masriatini, R. (2020). Pemanfaatan Teknologi Membran Reverse Osmosis (RO) pada Proses Pengolahan Air Laut Menjadi Air Bersih. *Jurnal Redoks*, 5, 58-64.
- Siburian, R., Simatupang, L., & Bukit, M. (2017). Analisis Kualitas Perairan Laut Terhadap Aktivitas Di Lingkungan Pelabuhan Waingapu-Alor Sumba Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 23, 225-232.
- Wenten, I., Khoiruddin, Aryanti, P., & Hakim, A. (2010). *Pengantar Teknologi Membran*.
- Wenten, I. (2016). Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air dan Limbah Industri. *Departemen Teknik Kimia ITB*, 1-22.
- Wulansari, W., Hidayah, D. S., Johanda, R., Parulian, M. H., ButarButar, B., Widodo, A. L., Gusti, D. R. (2021). Pengolahan Air Asin Menjadi Air Tawar Menggunakan Metode Reverse Osmosis di Kelurahan Mendahara Ilir. 2, 54-61. doi: <https://doi.org/10.22437/jpm.v2i2.15331>