

# KAJIAN ALTERNATIF TEKNOLOGI DESALINASI DALAM PRODUKSI AIR TAWAR UNTUK DESA LABUAN BAJO, NTT

## ALTERNATIVE STUDY OF DESALINATION TECHNOLOGY FOR FRESHWATER PRODUCTION IN LABUAN BAJO VILLAGE, NTT

Ghina Rizqina Ersa\*<sup>1)</sup> dan Harmin Sulistyaning Titah<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

<sup>\*)</sup>E-mail: ghina.ersa11@gmail.com

### Abstrak

Peningkatan jumlah penduduk menuntut terhadap penyediaan air bersih yang lebih besar. Namun, pencemaran air terus terjadi akibat manusia itu sendiri sehingga menurunkan kualitas air permukaan. Selain itu, intrusi air laut menyebabkan air tanah terkontaminasi oleh air laut sehingga rasanya menjadi asin. Kajian literatur ini bertujuan memberikan suatu inovasi tepat guna untuk mengatasi permasalahan krisis air bersih di Indonesia. Berbagai macam teknologi seperti *Multi-Effect Distillation* (MED), *Multi-Stage Flash Distillation* (MFD), *Vapor Compression* (VC), *Reverse Osmosis* (RO), dan Elektrodialisis. Selain teknologi tersebut, adapula yang menggunakan proses biodesalinasi dengan menggunakan mangrove, bakteri, maupun kombinasi keduanya. Desa Labuan Bajo, merupakan salah satu destinasi wisata nusantara, memiliki sistem penyediaan air bersih yang buruk. Berdasarkan pembahasan dalam studi kasus maka dapat disimpulkan bahwa Desa Labuan Bajo dapat menggunakan teknologi RO sebagai teknologi desalinasi dalam penyediaan air bersih untuk kegiatan domestik dan non domestik. Desa Labuan Bajo dapat menggunakan Pantai Batu Gosok sebagai sumber air baku. Debit produksi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan domestik dan non-domestik Desa Labuan Bajo yaitu sebanyak 720 m<sup>3</sup>/hari. Berdasarkan kajian teknologi desalinasi yang sesuai adalah menggunakan teknologi *reverse osmosis*.

**Kata kunci:** air payau, biodesalinasi, desalinasi membran, desalinasi termal, *reverse osmosis*

### Abstract

The increase in population number resulting in a higher clean water demand. Meanwhile water pollution from human activities continue to occur decreasing the quality of surface water sources. Another problem is seawater intrusion that contaminating the ground water. This study aims to suggesting the right innovation to resolve clean water crisis in Indonesia. Various technology such as Multi-Effect Distillation (MED), Multi-Stage Flash Distillation (MFD), Vapor Compression (VC), Reverse Osmosis (RO), and Electrodialysis have been developed. Another alternative is biodesalination process using mangrove, bacteria, and the combination of both mangrove and bacteria. Labuan Bajo village as one of the nation's tourism destination, has a poor clean water supply system. From the discussion of this case study can be conclude that RO can be used as desalination technology for domestic and non-domestic clean water supply in Labuan Bajo village. The village can utilize Batu Gosok beach as the raw water resource. Desa Labuan Bajo dapat menggunakan Pantai Batu

Gosok sebagai sumber air baku. The production debit that is needed to supply domestic and non-domestic clean water is 720 m<sup>3</sup>/day. Based on the study result the suitable desalination to be implemented in Labuan Bajo village in reverse osmosis.

**Keywords:** biodesalination, brackish water, desalination membrane, reverse osmosis, thermal desalination

## 1. PENDAHULUAN

Pengembangan kualitas dan kuantitas air bersih merupakan salah satu pengembangan infrastruktur lingkungan yang perlu mendapat perhatian. Selain sebagai salah satu sumber daya yang vital, air juga merupakan penyebab utama masalah-masalah lingkungan yang dialami oleh penduduk, terutama yang tinggal di daerah perkotaan. Bahkan ketersediaan air, terutama air bersih, menjadi salah satu penentu kualitas hidup suatu masyarakat (Utami dan Handayani). Air merupakan faktor penting dalam pemenuhan kebutuhan vital bagi makhluk hidup. Air yang digunakan untuk keperluan konsumsi sehari-hari diharapkan mampu memenuhi standar kualitas air bersih, yang tidak selamanya tersedia di alam. Pengolahan air bersih dapat dilakukan, baik secara sederhana maupun modern. Jika air yang digunakan belum memenuhi standar kualitas air bersih, akan menimbulkan masalah lain yang dapat merugikan penggunaannya (Awaluddin, 2007).

Sumber air bersih dapat diperoleh dari air tawar dan air laut, namun hanya sedikit penggunaan air langsung dari laut, selain karena tidak bisa menghilangkan rasa asinnya, jika air laut digunakan untuk mandi maka akan merusak kulit. Pengolahan air laut dapat dilakukan dengan cara distilasi, pertukaran ion, elektrodialisis dan osmosis balik. Masing-masing pengolahan tersebut mempunyai keunggulan dan kelemahan. Pemanfaatan pengolahan air laut harus disesuaikan dengan kondisi air baku, biaya yang tersedia, kapasitas, dan kualitas yang diinginkan oleh pemakai air (Caroline, Putra,

dan Tavares, 2017). Pada waktu tertentu beberapa daerah mengalami kekurangan air dan terjadinya penurunan kualitas air seperti halnya masyarakat yang tinggal di daerah pesisir pantai. Kelangkaan atau kesulitan mendapatkan air bersih menjadi suatu permasalahan di masyarakat (Asmara dan Hassanuddin, 2012). Untuk kuantitas, air laut memiliki debit yang tak hingga dan diperkirakan mampu memasok dalam jangka panjang yaitu untuk 15-20 tahun (Persada dan Purnomo, 2018).

Teknologi desalinasi seperti teknologi distilasi, teknologi membran, dan teknologi pertukaran ion merupakan teknologi yang canggih dalam menghasilkan air tawar. Namun, keberadaan mangrove juga dapat menjadi salah satu teknologi dalam menghasilkan air tawar. Hal ini disebut dengan konsep fitoteknologi yaitu dengan memusatkan tumbuhan sebagai teknologi lingkungan hidup yang mampu menyelesaikan masalah lingkungan. Sedangkan proses tumbuhan untuk menyerap, mengambil, mengubah, dan melepaskan kontaminan dari satu medium ke medium lain digunakan istilah fitoremediasi (Widowati, 2010). Dalam tinjauan teknologi dan proses-proses yang terjadi dalam fitoremediasi, memperjelas fitoteknologi sebagai cara pendekatan berbasis alam dalam penyelesaian masalah lingkungan. Teknologi ini sangat mungkin diterapkan di Indonesia mengingat Indonesia memiliki sumber air yang banyak. Penggunaan mangrove sebagai desalinasi air asin menjadi air tawar lebih konservatif dibandingkan dengan menggunakan *Reverse Osmosis* (RO). Hal ini dikarenakan tanaman mangrove

memiliki adaptasi yang baik terhadap salinitas air laut yang tinggi sehingga mempunyai kemampuan desalinasi secara alami (Aprilia, Ramdhani, dan Sari, 2010). Keberadaan ekosistem mangrove pada area atau kawasan tambak dapat mengatasi fluktuasi suhu air dan salinitas, karena daun mangrove selain sebagai penghasil oksigen dan penyerap karbondioksida, juga berfungsi penguapan atau desalinasi (Sambu, Sribianti, dan Chadijah, 2018).

Namun, penggunaan teknologi-teknologi desalinasi tersebut dalam mengolah air asin menjadi air tawar masih jarang digunakan untuk skala non-pabrik. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai teknologi desalinasi dalam menghasilkan air tawar sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi kelangkaan air bersih untuk masyarakat Indonesia khususnya daerah wisata dengan kondisi krisis air bersih. Tujuan dari kajian ini adalah untuk memberikan alternatif teknologi desalinasi air laut untuk memenuhi kebutuhan air bersih di Desa Labuan Bajo.

## 2. METODA

### A. Lokasi Studi

Kajian ini dibutuhkan sesuai dengan kondisi eksisting yaitu terjadinya pencemaran badan air dan air tanah menyebabkan sulit ditemukan air tawar khususnya di daerah pesisir atau di pulau-pulau kecil sebagai air baku untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu diperlukan sebuah solusi yang tepat untuk permasalahan tersebut.

Di Indonesia, masalah krisis air bersih masih sering diberitakan. Salah satunya di Desa Labuan Bajo, Kecamatan Komodo, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pasalnya, daerah ini begitu terkenal dengan pesona alamnya yang indah. Tak jarang turis lokal maupun mancanegara berkunjung ke tempat ini. Sehingga krisis air

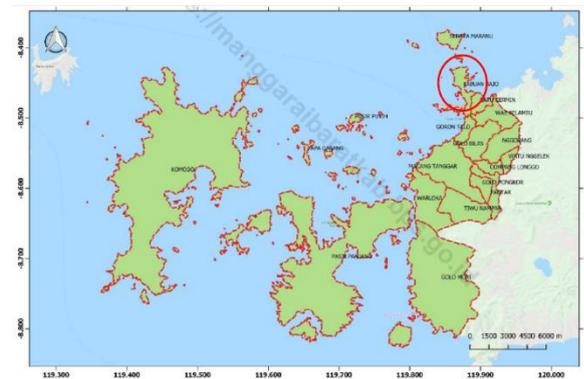
bersih akan menjadi permasalahan yang besar untuk daerah pariwisata. Lokasi Desa Labuan Bajo dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1 berikut.

### B. Pengumpulan Data

Data yang didapatkan berupa data sekunder meliputi kualitas sumber air laut sebagai bahan baku, jumlah penduduk di lokasi studi, dan kondisi eksisting penggunaan air bersih di lokasi studi. Data ini dikumpulkan untuk menunjang kajian ini sehingga menghasilkan solusi yang tepat guna untuk lokasi studi yaitu Desa Labuan Bajo. Data yang digunakan berasal dari pemerintahan dan jurnal terkait. Kajian dilakukan dengan menelaah berbagai referensi yang telah dikumpulkan sehingga menciptakan suatu solusi dalam menyelesaikan permasalahan di daerah studi.

### C. Tahapan Kajian Alternatif Penentuan Teknologi Desalinasi

Tahap yang dilakukan meliputi perhitungan debit air kebutuhan lokasi studi. Kemudian melakukan penentuan alternatif teknologi desalinasi yang digunakan di daerah studi. Selanjutnya menguraikan rangkaian alternatif yang akan digunakan.



**Gambar 1.** Peta Wilayah Kecamatan Komodo

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Labuan Bajo merupakan salah satu desa di

Kecamatan Komodo, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur yang menjadi salah satu wilayah pariwisata di provinsi ini. Desa Labuan Bajo memiliki luas wilayah sebesar 1.388 Ha dengan jumlah penduduk sebanyak 6.848 jiwa (BPS Kabupaten Manggarai Barat, 2019). Krisis air bersih sudah menjadi permasalahan menahun di Labuan Bajo. Sejumlah proyek pengadaan air bersih selama beberapa tahun terakhir masih belum bisa memenuhi kebutuhan warga. Air dari keran milik Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) hanya bisa dinikmati dua atau tiga kali seminggu. Sejumlah hotel, restoran, dan warga di kota pariwisata itu, sampai saat ini masih terus membeli air bersih untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

Warga sekitar hanya dapat memanfaatkan bocoran pipa PDAM untuk menampung air dengan mengantre berjam-jam lamanya. Dan, air yang diperoleh dari pipa yang bocor itu hanya untuk air minum dan masak. Sementara untuk MCK (mandi, cuci dan kakus) warga harus membeli air dari mobil tangki seharga Rp70.000–Rp100.000 untuk satu fiber ukuran 1.000 liter. Selain mengandalkan titik bocor pipa PDAM, warga terpaksa mengambil air di kali yang juga menjadi kubangan kerbau. Untuk mandi dan cuci, warga berebutan dengan kerbau dan ternak peliharaan lainnya yang juga minum di kubangan yang sama. Selain mengandalkan pasokan dari PDAM. Hal ini belum termasuk faktor air tanah di Kupang yang mengandung zat kapur yang cukup tinggi dan seringkali menimbulkan masalah kesehatan seperti terbentuknya endapan/batu di ginjal dan kandung kemih (Sasongko dkk., 2019). Sumber air lain yang dimiliki Labuan Bajo yang merupakan daerah pesisir pantai yang melimpah dan tidak terbatas adalah air laut, namun air laut juga memiliki kualitas air yang buruk karena memiliki kadar garam terlarut atau TDS tinggi

sehingga tidak layak untuk diminum. Salah satu cara untuk mengatasi masalah kualitas air yang buruk sehingga dapat memenuhi kebutuhan air minum di Labuan Bajo adalah dengan penerapan teknologi pengolahan air yang sesuai dengan kualitas air tersebut.

Alternatif penggunaan teknologi desalinasi di Labuan Bajo menggunakan sumber air laut yang dekat dengan lokasi studi yaitu Pantai Batu Gosok. Pantai Batu Gosok di tepi barat kabupaten Manggarai Barat dan berjarak sekitar 10 kilometer arah utara Labuan Bajo. Garis pantai itu langsung menghadap Taman Nasional Komodo (TNK) yang terdiri dari pulau komodo, Pulau rinca, dan sejumlah pulau lainnya. Batu Gosok, dan daerah sekitarnya termasuk kawasan wisata komersial sebagaimana diatur dalam Peraturan Daerah Manggarai Barat Nomor 30 Tahun 2005. Parameter Lingkungan di Batu Gosok dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Lingkungan Di Perairan Batu Gosok, NTT (Rasjid, 2017)

Parameter	Lokasi I	Lokasi II	Lokasi III	Rata-rata
Suhu (°C)	28,6	30	28,5	29,03
Kecepatan arus (cm/detik)	26	30	5	20,33
Salinitas (%)	31	32,5	30	31,17
pH	7,2	7,5	7	7,23
Oksigen (ppm)	4,4	4,7	6	5,03
Kedalaman	90	120	40	83,33
Kecerahan (cm)	90	120	40	83,33

Salinitas perairan menggambarkan kandungan garam dalam suatu perairan dan besarnya dinyatakan dalam permil (Effendi, 2003). Air laut berada di ujung penerima untuk melarutkan semua sedimen yang berasal dari daratan. Sungai membawa banyak zat organik

dan anorganik terlarut menuju laut. Beban ini meningkatkan kandungan garam lautan setiap tahun. Berdasarkan kandungan kloridanya, maka air dibedakan atas (Soedjono, 2002):

- 1) Air tawar (< 1.000 mg/L)
- 2) Air payau (brackish = 1.000 – 35.000 mg/L)
- 3) Air asin (saline = ± 35.000 mg/L)
- 4) Brine (berkadar garam tinggi = Laut Mati)

Desalinasi merupakan proses pengolahan air untuk memisahkan garam dari larutan garam untuk menghasilkan air minum atau air yang rendah TDS-nya. Desalinasi air laut dan air payau dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan sumber air bersih [14].

Terdapat dua kategori teknologi desalinasi yang telah teruji dan tersedia secara komersial, yaitu proses distilasi dan proses yang menggunakan membran. Proses distilasi tersebut meliputi proses *Multi-Stage Flash Distillation* (MSF) dan *Multi-Effect Distillation* (MED), sedangkan proses yang menggunakan membran adalah *Reverse Osmosis* (RO) [15]. Desalinasi juga dapat dilakukan dengan menggunakan tumbuhan sebagai media perantara untuk mereduksi salinitas air laut seperti tumbuhan mangrove [16].

Metode desalinasi termal meniru siklus hidrologi dalam air asin (air laut) yang dipanaskan menghasilkan uap air yang pada gilirannya terkondensasi untuk membentuk air tawar bebas dari garam. Air tawar ini termineralisasi agar sesuai untuk konsumsi manusia. Faktor-faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk metode desalinasi ini adalah suhu yang tepat relatif terhadap tekanan sekitar dan energi yang cukup untuk

penguapan untuk meminimalisasi energi dan kontrol pembentukan skala [17].

Berbeda dengan proses termal, proses membran terdiri atas proses *reverse osmosis* dan elektrodialisis dengan menggunakan permeabilitas selektif untuk memisahkan garam dan air (Abdulloh, 2015). Penemu proses membran adalah McBain dan Kistler (1931) yang menggambarkan penggunaan membran selofan untuk menahan molekul dan ion besar, seperti sukrosa dan natrium atau kalium klorida, sementara masih memungkinkan molekul yang lebih kecil untuk melewati (Birkett, 1984).

Biodesalinasi yaitu menggunakan proses biologis dan integrasi nanomaterial dalam proses desalinasi untuk peningkatan bahan dan sistem telah diakui untuk mengatasi hambatan dan keterbatasan yang saat ini dihadapi oleh teknologi desalinasi dan dapat menjadi pilihan alternatif untuk keberlanjutan masa depan (Shahzad dkk., 2019). Istilah biodesalinasi ditawarkan untuk hal yang mencakup semua teknik terkait biologi dalam menghasilkan air tawar dari larutan garam. Selain untuk meninjau dan mengklasifikasikan proses biodesalinasi, tinjauan tentang penelitian di bidang biodesalinasi yang berpotensi untuk pengolahan air belum dijelajahi (Taheri dkk., 2016).

Berdasarkan berbagai teknologi desalinasi dapat diambil informasi berupa aspek kelebihan dan kekurangan dari masing-masing teknologi tersebut. Kelebihan dan kekurangan teknologi desalinasi akan ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Teknologi Desalinasi (Saadat dkk., 2018; Tan dkk., 2012; Karaghoulis dan Kazmerski, 2013; Prapta, 2017; Chimayati dan Titah, 2019; Puspaningrum dan Titah, 2020; Hanna dan Hadi, 2016; Saeni dan Tanasale 1999)

Teknologi Desalinasi	Kelebihan	Kekurangan	Biaya dan Energi
<i>Multi-Effect Distillation (MED)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memerlukan pre-treatment air umpan yang minimal</li> <li>- Persyaratan minimal untuk staf operasional</li> <li>- Tolerir terhadap zat tersuspensi dan biologis</li> <li>- Energi panas dapat diperoleh dengan menggabungkan dengan pembangkit listrik</li> <li>- Air produk berkualitas sangat baik</li> <li>- Teknologi yang andal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konsumsi energi tinggi</li> <li>- Biaya investasi dan operasional tinggi</li> <li>- Memerlukan bahan berkualitas tinggi karena prosesnya rentan terhadap korosi</li> <li>- Air produk memerlukan pendinginan dan treatment lanjutan sebelum digunakan untuk kebutuhan air minum</li> </ul>	<p>Biaya produksi rata-rata:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk kapasitas produksi 91.000-320.000 m<sup>3</sup>/hari yaitu 0,52–1,01 US\$/m<sup>3</sup></li> <li>- Untuk kapasitas produksi 12.000-55.000 m<sup>3</sup>/hari yaitu 0,95-1,5 US\$/m<sup>3</sup></li> <li>- Untuk kapasitas produksi &lt;100 m<sup>3</sup>/hari yaitu 2-8 US\$/m<sup>3</sup></li> </ul> <p>Konsumsi listrik sekitar 6-65 Kwh/m<sup>3</sup></p>
<i>Multi-Stage Flash Distillation (MFD)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memerlukan pre-treatment air umpan yang minimal</li> <li>- Cocok untuk desain kapasitas besar</li> <li>- Energi panas dapat diperoleh dengan menggabungkan dengan pembangkit listrik</li> <li>- Teknologi andal dengan masa operasi yang lama</li> <li>- Air produk berkualitas tinggi</li> <li>- Proses dan biaya instalasi tidak tergantung pada tingkat salinitas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan operator dengan pengetahuan teknis tingkat tinggi</li> <li>- Memerlukan lahan yang luas</li> <li>- Memerlukan biaya investasi yang besar</li> <li>- Memerlukan energi secara intensif</li> <li>- Menyebabkan korosi jika menggunakan bahan-bahan dengan kualitas lebih rendah</li> <li>- Laju <i>start-up</i> lambat</li> <li>- Saat pemeliharaan harus mematikan seluruh instalasi</li> <li>- Rasio pemulihan rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya kapital sebesar Rp 1,1 triliun</li> <li>- Biaya produk sebesar Rp 7.690,70/m<sup>3</sup></li> <li>- Konsumsi listrik sekitar 4 Kwh/m<sup>3</sup> dan 285 MW/m<sup>3</sup> untuk energi panas</li> </ul>
<i>Vapor Compression (VC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desain kapasitas lebih kecil (hingga 10.000 m<sup>3</sup>/hari)</li> <li>- Ekonomis dengan salinitas tinggi (&gt;50.000 mg/L)</li> <li>- Permintaan energi yang relatif rendah dibanding dengan teknologi termal lainnya</li> <li>- Biaya investasi dan biaya operasional lebih rendah dibandingkan dengan teknologi termal lainnya</li> <li>- Proses tidak memerlukan bahan kimia dalam jumlah besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Start-up</i> membutuhkan sumber pemanas tambahan untuk menghasilkan uap</li> <li>- Terbatas untuk pabrik berukuran lebih kecil</li> <li>- Kompresor membutuhkan tingkat pemeliharaan yang tinggi</li> </ul>	<p>Biaya produksi rata-rata:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk kapasitas produksi 30.000 m<sup>3</sup>/hari yaitu 0,87–0,95 US\$/m<sup>3</sup></li> <li>- Untuk kapasitas produksi 1.000 m<sup>3</sup>/hari 2,0–2,6 US\$/m<sup>3</sup></li> </ul>

Teknologi Desalinasi	Kelebihan	Kekurangan	Biaya dan Energi
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Persyaratan suhu yang lebih rendah mengurangi potensi pengendapan dan korosi</li> </ul>		
<i>Reverse Osmosis (RO)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya investasi yang relatif lebih rendah</li> <li>- Kapasitas produksi tinggi</li> <li>- Konsumsi energi yang sangat rendah</li> <li>- Tidak perlu aliran air pendingin</li> <li>- Pengoperasian sederhana dan <i>start-up</i> cepat</li> <li>- Dioperasikan pada suhu kamar</li> <li>- Dapat menghilangkan kontaminan selain garam</li> <li>- Pemeliharaan tidak memerlukan pemadaman seluruh pabrik</li> <li>- Desain modular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan <i>pre-treatment</i> yang memadai</li> <li>- Merekomendasikan personil yang terlatih dengan tepat</li> <li>- Biaya tinggi untuk bahan kimia dan penggantian membran</li> <li>- Rentan terhadap perubahan kualitas air umpan</li> <li>- Membran rentan terhadap biofouling</li> <li>- Kegagalan mekanis karena tekanan tinggi</li> <li>- Umur pakai membran sekitar 5-7 tahun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kapasitas 6 mgd (1136.9 m<sup>3</sup>/jam) memerlukan biaya kapital dan produksi sebesar Rp 540 miliar dan Rp 7.242,95/m<sup>3</sup></li> <li>- Membutuhkan listrik sekitar 3-10 Kwh/m<sup>3</sup></li> </ul>
Elektrodialisis (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penggunaan energi sebanding dengan salinitas yang dihilangkan bukan volume yang digunakan</li> <li>- Umur membran lebih tinggi dari 7-10 tahun.</li> <li>- Operasional pada tekanan rendah hingga sedang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kebocoran dapat terjadi di tumpukan membran</li> <li>- Kontaminan bakteri tidak dapat dihilangkan oleh sistem ini</li> <li>- Memerlukan pengolahan lanjutan bila diperuntukkan untuk air minum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya produksi dengan air baku adalah air payau sebesar 6-1,05 US\$/m<sup>3</sup></li> <li>- Membutuhkan listrik sekitar 3-6 Kwh/m<sup>3</sup></li> </ul>
Mangrove	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak dibutuhkan persyaratan khusus untuk operator</li> <li>- Biaya investasi cenderung murah</li> <li>- Secara tidak langsung mereboisasi hutan mangrove</li> <li>- Tidak menggunakan energi listrik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan lahan yang luas</li> <li>- Efisiensi rendah</li> <li>- Penyisihan salinitas dipengaruhi oleh jenis mangrove</li> <li>- Membutuhkan perawatan yang intensif (untuk tanaman mangrove)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya investasi dan produksi belum diketahui karena teknologi yang digunakan masih dalam skala pilot. Biaya yang digunakan bergantung pada skalabilitas dan performa dari teknologi</li> </ul>
<i>Microbial desalination cells (MDCs)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak membutuhkan tekanan eksternal</li> <li>- Tidak membutuhkan sumber listrik eksternal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi yang rendah</li> <li>- Membutuhkan sumber karbon</li> <li>- Hanya dilaksanakan dalam skala pilot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya investasi dan produksi belum diketahui karena teknologi yang digunakan masih dalam skala pilot. Biaya yang digunakan bergantung pada skalabilitas dan</li> </ul>

Teknologi Desalinasi	Kelebihan	Kekurangan	Biaya dan Energi
			performa dari teknologi dengan sumber air umpan nyata
<i>Reed Bed</i> Secara Batch	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya operasional murah</li> <li>- Membutuhkan perawatan yang intensif (bagi tanaman mangrove)</li> <li>- Secara tidak langsung mereboisasi hutan mangrove</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi ditentukan oleh jenis mangrove yang digunakan</li> <li>- Memerlukan pengolahan lanjutan khususnya menghilangkan mikroorganisme</li> <li>- Membutuhkan lahan yang luas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya investasi dan produksi belum diketahui karena teknologi yang digunakan masih dalam skala pilot. Biaya yang digunakan bergantung pada skalabilitas dan performa dari teknologi</li> </ul>
<i>Reed Bed</i> Secara Kontinyu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi lebih tinggi daripada reaktor secara batch</li> <li>- Biaya operasional murah</li> <li>- Membutuhkan perawatan yang intensif (bagi tanaman mangrove)</li> <li>- Mereboisasi hutan mangrove</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi ditentukan oleh jenis mangrove yang digunakan</li> <li>- Memerlukan pengolahan lanjutan khususnya menghilangkan mikroorganisme</li> <li>- Membutuhkan lahan yang luas</li> <li>- Laju <i>start-up</i> lambat (aklimatisasi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya investasi dan produksi belum diketahui karena teknologi yang digunakan masih dalam skala pilot. Biaya yang digunakan bergantung pada skalabilitas dan performa dari teknologi</li> </ul>

A. Perhitungan Debit

Desa Labuan Bajo dengan jumlah penduduk sebanyak 6.848 jiwa (BPS Kabupaten Manggarai Barat, 2019), sehingga berdasarkan jumlah penduduknya Desa Labuan Bajo dapat dikategorikan kedalam kategori desa sesuai dengan Tabel 3. Maka dapat ditentukan konsumsi air domestik untuk penduduk Desa Labuan Bajo sebesar 80 Liter/Orang/Hari dan kebutuhan air non-domestik sebesar 20-30% dari kebutuhan domestik. Perhitungan kebutuhan air di Desa Labuan Bajo dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air domestik} &= 80 \text{ L/orang/hari} \\
 \text{Jumlah penduduk} &= 6.848 \text{ orang} \\
 \text{Kebutuhan air domestik} &= 80 \text{ L/orang/hari} \times 6.848 \\
 &\text{orang} \\
 &= 547.840 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air non-domestik} &= 30\% \times \text{Kebutuhan air domestik} \\
 &= 30\% \times 547.840 \text{ L/hari} \\
 &= 164.352 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air total} &= \text{Kebutuhan air domestik} + \text{non-domestik} \\
 &= 547.840 \text{ L/hari} + 164.352 \text{ L/hari} \\
 &= 712.192 \text{ L/hari} \approx 720 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Kategori Kebutuhan Air Berdasarkan Jumlah Penduduk (Kementrian Pekerjaan Umum, 2000)

NO	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		>1.000.000	500.000	100.000	20.000	<20.000

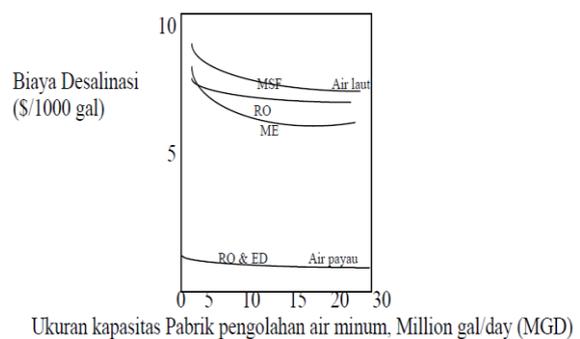
			S/D 1.000.000	S/D 500.000	S/D 100.000	
		METRO	BESAR	SEDANG	KECIL	DESA
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR) l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non-domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Faktor jam puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan	*) 90	90	90	90	**) 70

Dengan perhitungan di atas, maka dibutuhkan instalasi SWRO dengan debit pengolahan sebesar 720 m<sup>3</sup>/hari atau 30

m<sup>3</sup>/jam untuk memenuhi kebutuhan air bersih kegiatan domestik dan non-domestik di Desa Labuan Bajo.

**B. Perhitungan Debit**

Desalinasi yang memproses air laut dengan tingkat kadar garam yang tinggi sehingga tidak layak konsumsi menjadi air tawar yang dapat dikonsumsi merupakan salah satu alternatif mengatasi krisis ketersediaan air bersih yang sering kali terjadi di Indonesia. Dengan memanfaatkan air laut dan mengolahnya sebagai air minum berarti juga mengurangi pemakaian air bawah tanah yang diyakini sebagai penyebab utama penurunan tanah di berbagai tempat. Perbandingan perkiraan biaya operasi desalinasi berdasarkan ukuran kapasitas pabrik dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



**Gambar 2.** Perbandingan Perkiraan Biaya Operasi Desalinasi berdasarkan Kapasitas Pabrik (Redjeki, 2011)

Untuk umpan air laut, RO memberikan biaya terendah pada kapasitas di bawah 3 MGD (Million gal/day). Di atas 3 MGD teknologi lain seperti ME

(*Multiple effect evaporation*) dan MSF (*Multistage Flash*) masih kompetitif. Sementara itu untuk pengolahan air payau, RO dan ED mempunyai biaya pengolahan cukup rendah. Perlu dicatat juga bahwa, saat ini ada kecenderungan menurunnya harga membran dari tahun ke tahun sehingga biaya desalinasi dengan membran menjadi ekonomis.

Berdasarkan perhitungan debit sesuai kebutuhan di atas, maka dapat dibandingkan dengan dalam grafik pada Gambar 2. Maka dapat dipastikan kembali bahwa penggunaan teknologi RO sudah tepat karena dengan debit 720 m<sup>3</sup>/hari (0,19 MGD) akan memberikan biaya terendah. Penggunaan teknologi membran lainnya yaitu elektrodialisis tidak dapat digunakan untuk teknologi desalinasi air laut karena teknologi tersebut hanya mampu mendesalinasi air payau dan tidak cocok untuk pengolahan air laut yang memiliki salinitas tinggi (Robiatun, 2003).

Penggunaan teknologi termal kurang sesuai dengan peruntukan di desa dengan kebutuhan air sebesar 720 m<sup>3</sup>/hari. Hal ini disebabkan biaya investasi dan biaya produksi untuk kapasitas <1000 m<sup>3</sup>/hari sangat tinggi dibandingkan dengan teknologi membran karena kebutuhan untuk listrik yang tinggi yaitu mencapai 4-65 Kwh/m<sup>3</sup> dan 285 MW/m<sup>3</sup> untuk energi panas. Sedangkan untuk biodesalinasi yang sangat memungkinkan untuk diterapkan yaitu dengan menggunakan interaksi tumbuhan mangrove dengan bakteri karena memiliki efisiensi paling tinggi diantara teknologi biodesalinasi lainnya. Namun dibutuhkan perhitungan kebutuhan lahan mangrove dilapangan yang mampu menghasilkan air tawar sebesar 720 m<sup>3</sup>/hari. Dalam *pilot scale*, untuk debit 18 mL/menit membutuhkan lahan 0,7 m × 0,5 m atau 0,35 m<sup>2</sup>

(Pupsaningrum dan Titah, 2020). Maka perhitungan kebutuhan lahan secara teoritis dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit kebutuhan dilapangan} &= 720 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Debit penelitian (pilot scale)} &= 18 \text{ mL/menit} \\ &= 0,02592 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala untuk lahan di lapangan} &= 7200 : 02592 \\ &= 27.777,8 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan lahan di lapangan sebesar} &= 0,35 \text{ m}^2 \times 27.777,8 \\ &= 9.722.23 \text{ m}^2 \\ &= 0,97 \text{ ha} \approx 1 \text{ ha} \end{aligned}$$

Dikarenakan kebutuhan lahan yang sangat luas, maka penggunaan teknologi biodesalinasi diabaikan. Hal ini karena dibutuhkan pembebasan lahan yang cukup luas. Harga tanah di Labuan Bajo dengan luas 1 ha berkisar seharga ±15 milyar (Lamudi, 2020). Dari sisi kebutuhan sumber daya manusia sebagai operator, teknologi termal dan membran membutuhkan operator yang memiliki keterampilan tinggi, maka kedua teknologi ini membutuhkan pelatihan instrumen dan operasi untuk tiap teknologinya. Sedangkan untuk teknologi biodesalinasi tidak membutuhkan operator dengan persyaratan tertentu.

Di dalam praktiknya, proses pengolahan air minum dengan sistem *reverse osmosis* terdiri dari dua bagian yakni unit pengolahan pendahuluan dan unit RO. Oleh karena air baku yakni air laut, terutama yang dekat dengan pantai masih mengandung partikel padatan tersuspensi, mineral, plankton dan lainnya, maka air baku tersebut perlu dilakukan pengolahan pendahuluan sebelum diproses di dalam unit RO.

Unit pengolahan pendahuluan tersebut terdiri dari beberapa peralatan utama yakni pompa air baku, bak koagulasi-flokulasi, tangki reaktor (kontaktor), saringan pasir, filter mangan zeolit, dan filter untuk penghilangan warna (*color removal*), dan filter cartridge ukuran 0,5 µm. Sedangkan unit RO terdiri dari pompa tekanan tinggi dan membran RO, serta pompa dosing untuk anti scalant, dan anti biofouling dan sterilisator ultra violet (UV).

Air baku diambil melalui *horizontal beach-well*. Sehingga air yang dihasilkan lebih jernih daripada air permukaan. Air tersebut dikumpulkan pada *collection well* kemudian dipompa ke bak koagulasi-flokulasi untuk mengendapkan zat padat tersuspensi.

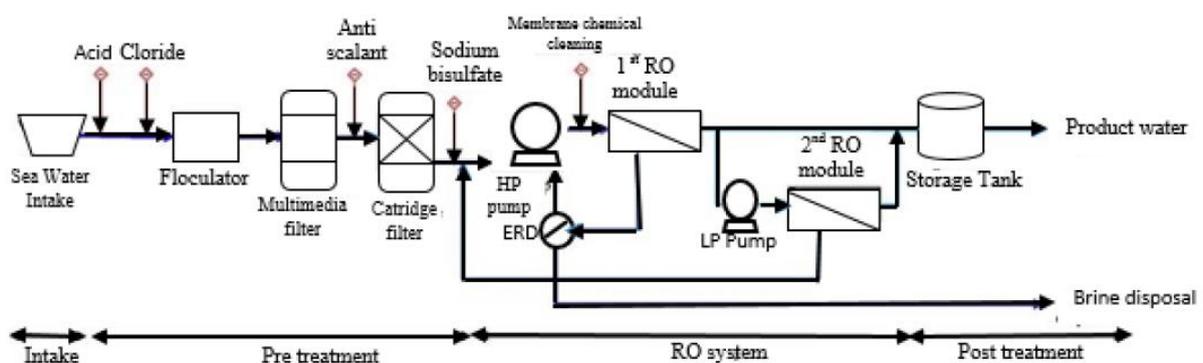
Selanjutnya di alirkan ke *rapid sand filter* untuk mengurangi kekeruhan dan kandungan zat organik dan ditampung di dalam bak penampung. Dari bak penampung air laut dipompa ke *pressure filter* sambil diinjeksi dengan larutan kalium permanganat agar zat besi atau mangan yang larut dalam air baku dapat dioksidasi menjadi bentuk senyawa oksida besi atau mangan yang tak larut dalam air. Selain itu diinjeksikan larutan anti scalant, anti biofouling yang dapat berfungsi untuk mencegah pengkerakan serta membunuh mikroorganisme yang dapat menyebabkan biofouling di dalam membrane RO.

Dari *pressure filter*, air dialirkan ke saringan filter multi media agar senyawa besi atau mangan yang telah teroksidasi dan juga padatan tersuspensi (SS) yang berupa partikel halus, plankton dan lainnya dapat disaring. Dengan adanya filter multi media ini, zat besi atau mangan yang belum teroksidasi dapat dihilangkan sampai konsentrasi  $<0,1$  mg/l. Zat besi dan mangan

ini harus dihilangkan terlebih dahulu karena zat-zat tersebut dapat menimbulkan kerak (scale) di dalam membran RO.

Dari filter multimedia, air dialirkan ke filter penghilangan warna. Filter ini mempunyai fungsi untuk menghilangkan warna senyawa warna dalam air baku yang dapat mempercepat penyumbatan membran RO. Setelah melalui filter penghilangan warna, air dialirkan ke filter cartridge yang dapat menyaring partikel dengan ukuran  $0,5 \mu\text{m}$ . Setelah melalui filter cartridge, air dialirkan ke unit RO dengan menggunakan pompa tekanan tinggi sambil diinjeksi dengan zat anti kerak dan zat anti biofouling. *Antiscalant* (anti kerak) dapat mencegah terbentuknya kerak dan dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu fosfat, fosfonat dan polikarboksilat.

Air yang keluar dari modul membran RO ada dua yakni air tawar dan air buangan garam yang telah dipadatkan (*reject water*). Air tawarnya dipompa ke tangki penampung sambil dibubuhi dengan khlorine dengan konsentrasi tertentu agar tidak terkontaminasi kembali oleh mikroba, sedangkan air garamnya dapat dilakukan pengolahan brine salah satunya yaitu dengan membuat kolam dangkal sebagai tempat penguapan reject water menggunakan penyinaran matahari. Rangkaian proses pengolahan ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Diagram Proses Perancangan Sistem Desalinasi Air Laut Dengan Metode RO (Fadhila, 2015)

Desalinasi air laut berbasis RO merupakan teknologi yang tepat untuk mengatasi kekurangan air saat ini. Banyak negara telah menerapkan teknologi ini untuk memenuhi kebutuhan air penduduk dan industri. Teknologi ini telah terbukti mampu memproses air laut menjadi *pure water* dengan kapasitas hingga ratusan juta liter per hari [32]. Semua perpipaian tekanan rendah (75 psig atau kurang) harus terbuat dari PVC Sch 80. Tubing produk RO dari masing-masing housing membran harus terbuat dari PVC. Semua kontrol dan tubing pressure gauge harus terbuat dari polyethylene. Semua pipa tekanan tinggi (75 psig atau lebih tinggi) harus dibuat dari stainless steel 304.

Perancangan sistem desalinasi berbasis RO harus dirancang secara efektif dan efisien untuk dapat memproduksi air tawar secara ekonomis. Area pengambilan air laut, *pre-treatment*, RO konfigurasi, *post-treatment*, dan *brine disposal* merupakan inti dari perancangan SWRO *plant* yang harus diperhatikan secara mendalam untuk dapat merancang sistem yang efektif.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, maka kasus krisis air tawar di Desa Labuan Bajo dapat diatasi dengan menggunakan teknologi desalinasi yaitu dengan *reverse osmosis* (RO) dengan kapasitas produksi sebesar 720 m<sup>3</sup>/hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Haris Sambu, Irma Sribianti, dan Andi Chadijah, *Model Pengelolaan Mangrove Berbasis Ekologi dan Ekonomi*. Makassar: INTI MEDIATAMA (2018).
- AHM. Saadat, M.S. Islam, Parvin Fahmida, dan Ayesha Sultana, "Desalination Technologies for Developing Countries: A Review". *Journal of Scientific Research Publication* (10) 1 (2018) h.77-97.
- Ali Al-Karaghoul, dan Laurence. L. Kazmerski, "Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24 (2013), h.343–356.
- Awaluddin, "Teknologi Pengolahan Air Tanah Sebagai Sumber Air Minum pada Skala Rumah Tangga". Yogyakarta: (IEM) FTSP-UII (2007).
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Barat "Kecamatan Komodo Dalam Angka 2019". ISSN: 2623-0984 (2019).
- Bambang Panji Asmara dan Hasanuddin, "Pelatihan Pembuatan Desalinasi Air Laut Menjadi Air Tawar Menggunakan Metode Sarang Laba-Laba untuk Masyarakat di Pesisir Pantai Desa Olele Kecamatan Kabila Bone Kabupaten Bone Balango" *Jurnal SIBERMAS: Sinergi Pemberdayaan Masyarakat*, Vol.6 No.2 (2012) h.82-86.
- Chien H. Tan, Olivier Lefebvre, Junyou Zhang, How Y. Ng, dan Say L. Ong, "Membrane Processes for Desalination: Overview". *ResearchGate* Chapter.10 (2012).
- Direktorat Jendral Cipta Karya Kementrian Pekerjaan Umum, "Kriteria Penyediaan Air Bersih" (2000).
- Eddy Soedjono, "Diktat Kuliah: Pengelolaan Penyediaan Air Bersih". Program Sarjana dan Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Lingkungan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November (2002).

- Hapriza Aprilia, Nurlailati Ramdhani, dan Anggun Puspita Sari, *"The Magic Of Mangrove"* PKM Gagasan Tertulis. Bogor: Institut Pertanian Bogor (2011).
- Hefni Effendi, Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius (2003).
- Hening Widowati, "Aplikasi Konsep Fitoteknologi Dalam Pembelajaran Biologi Pada Sekolah Hijau" *Bioedukasi Jurnal Pendidikan Biologi*, Vol. 1 No 1 (2010).
- I Wayan Eka Prapta, 2017. *Perkembangan Teknologi Desalinasi*. Available: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1134217>
- J.D. Birkett, "A brief illustrated history of desalination - from the bible to 1940." *Desalination*, 50 (1984), 17–52.
- Jenny Caroline, Kurnia Hadi Putra, dan Maria Elfia Da Costa Tavares, "Pengolahan Air Laut Menjadi Air Tawar dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Akar Mangrove" Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V. Surabaya: ITATS, ISBN 978-602-98569-1-0 (2017) h.9-12.
- Lamudi.co.id. "Dijual lahan Labuan Bajo Nusa Tenggara Timur". Diakses pada 7 Agustus 2020 dari <https://www.lamudi.co.id/east-nusa-tenggara/manggarai-barat/labuan-bajo/land/buy/>
- M.S. Saeni dan Matheis FJDP Tanasale. "Desalinasi Air Laut dengan Tanaman Mangrove". Ambon: Universitas Pattimura (1999).
- Muhammad Wakil Shahzad, Muhammad Burhan, Doskhan Ybyraiymkul, dan Kim Choon Ng, "Desalination Processes' Efficiency and Future Roadmap" *Entropy* Vol.21 No. 84 (2019).
- Nurul Latifa Hanna dan Wahyono Hadi, "Kelayakan Teknologi Desalinasi Sebagai Alternatif Penyediaan Air Minum Kota Surabaya (Studi Kasus: 50 Liter per detik)". *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539.
- R. Cipta Anugerah Persada dan Alfian Purnomo, "Analisis Air Baku Prioritas Skala Kota (Studi Kasus: PDAM Surya Sembada Surabaya)" *Jurnal Teknik ITS*, Vol.7 No.1 (2018) h.224-227.
- Rachmi Layina Chimayati dan Harmin S. Titah, "Removal of Salinity using Interaction Mangrove Plants and Bacteria in Batch Reed Bed System Reactor" *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 20 No. 4 (2019) h.84-93.
- Reza Taheri, Amir Razmjou, Gyorgy Szekely, Jingwei Hou, dan Reza Ghezlbash. "Biodesalination—On harnessing the potential of nature's desalination processes" *Bioinspiration & Biomimetics*, 11(4) (2016).
- Ridho Naufal Fadhila, "Perancangan Sistem Pengolahan Air Laut Menggunakan SWRO". Institut Teknologi Bandung (2015).
- Robiatun, "Membran Reverse Osmosa Dalam Proses Desalinasi Air Laut". *Bulletin Penelitian* Vol. XXV No.3 (2003).
- Sasongko, Nugroho Adi, Amarulla Octavian, Marsetio, Rudy Laksmono, Abimanyu Hilmawan, dan Isna Royana. "Pemanfaatan Teknologi Energi Surya Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Di Markas Tni Perbatasan Maritim: Studi Di Pos Tni Al, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur". *Jurnal Pertahanan & Bela Negara*, Vol. 9 No. 1 (2019).
- Siti Alimah, Erlan Dewita, Heni Susianti, dan Teguh Aryanto, "Review Teknologi Desalinasi Yang Dikopling Reaktor Daya Eksperimental" *M.I.P.I.* Vol.13 No.2 (2019) h.141-148.
- Sri Redjeki, "Proses Desalinasi dengan Membran". Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) (2011).
- Sri Utami dan Sri Kurniati Handayani, "Ketersediaan Air Bersih untuk Kesehatan: Kasus Dalam Pencegahan Diare pada Anak"

dalam Optimalisasi Peran Sains dan Teknologi untuk Mewujudkan Smart City, ISBN 978-602-392-158-4 (2017) h.221-236.

Sudrajat Haris Abdullah, “Desalinasi Air dengan Memanfaatkan Energi Terbarukan”. *ResearchGate* 1-8 (2015).

Tri Cahyo Puspaningrum dan Harmin Sulistiyaning Titah, “Effect of Salinity On Biomass of *Avicennia marina* and *hizophora mucronata* That Grown At Reed Bed System Reactor With Continuous Flow”, *EasyChair Publication* No. 2381 (2020).

Yusniar Rasjid, “Analisis Keanekaragaman Plankton Sebagai Indikator Kualitas Perairan Pantai Batu Gosok Kecamatan Komodo Kabupaten Manggarai Barat Nusa Tenggara Timur”. *Jurnal Bionature*, Volume 18, Nomor 1 (2017).