

Identifikasi Dampak Perubahan Iklim dan Pemodelan *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) Sebagai Upaya Adaptasi di Kabupaten Kepulauan Sangihe Provinsi Sulawesi Utara

Muh. Alifian Al Anshari. A¹, Hendra Riogilang¹, Herawaty Riogilang¹, O. B. A. Sompie¹

¹ Departemen Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia 95115

* Penulis koresponden: ansharialifian9@gmail.com

Abstrak: Perubahan iklim saat ini memberikan dampak global, upaya adaptasi dilakukan dalam meminimalisasi dampak yang ditimbulkan. Kabupaten Kepulauan Sangihe adalah salah satu daerah di Sulawesi Utara yang dalam proyeksi BMKG mengalami penurunan curah hujan dengan kategori penurunan tinggi, yang akan mempengaruhi ketersediaan air bersih bagi masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model adaptasi perubahan iklim dalam menghadapi potensi krisis air bersih di Kepulauan Sangihe pada masa mendatang. Metode yang digunakan adalah telaah literatur, identifikasi kondisi daerah dan pemodelan desalinasi air laut metode *sea water reverse osmosis* (SWRO) menggunakan *software* Toray Design System (DS) 2. Hasil penelitian menunjukkan Kabupaten Kepulauan Sangihe berisiko pengurangan ketersediaan air bersih ditinjau secara kondisi litologi, proyeksi iklim, dan kinerja jasa lingkungan penyedia air. Pemodelan SWRO yang menggunakan konfigurasi *single pass two stage* dimodelkan mampu memenuhi kebutuhan air bersih penduduk pada proyeksi tahun 2050 dengan debit air laut yang masuk 1,34 m³/detik dan air bersih dihasilkan 0,67 m³/detik.

Kata kunci: Perubahan iklim; krisis air bersih; *sea water reverse osmosis*; Kepulauan Sangihe.

Diterima: 31 Januari 2023

Disetujui: 13 April 2023

Sitasi:

Anshari, M.A.A.; Riogilang, H.; Riogilang, H.; Sompie, O.B.A. Identifikasi Dampak Perubahan Iklim dan Pemodelan *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) Sebagai Upaya Adaptasi di Kabupaten Kepulauan Sangihe Provinsi Sulawesi Utara. *J. Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2023; 8 (1): 19-28., <https://doi.org/10.29244/jsil.8.1.19-28>

1. Pendahuluan

Sejak dimulainya revolusi industri di abad ke-18, dimana pada saat itu juga, sekitar tahun 1750, konsentrasi gas rumah kaca (GRK) atmosfer dan rerata suhu global meningkat [1]. Dalam mewujudkan industrialisasi dan pembangunan umum, manusia memanfaatkan sumber energi seperti bahan bakar fosil dan biomassa yang menghasilkan GRK selama pembakaran [1]. Efek rumah kaca terjadi secara alami, tetapi telah meningkat signifikan sejak saat dimulainya revolusi industri akibat aktivitas manusia yang menyebabkan produksi karbon dioksida (CO₂) dengan konsentrasi tinggi di atmosfer, hal tersebut menarik perhatian global [1].

Peningkatan suhu tersebut menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang berdampak pada peningkatan intensitas dan frekuensi cuaca ekstrim seperti badai, kekeringan, gelombang panas dan banjir [2]. Perubahan iklim juga dapat berdampak pada produktivitas pertanian, dan kesehatan manusia [3]. Perubahan iklim yang terjadi memberikan dampak global, termasuk di Indonesia. Provinsi Sulawesi Utara adalah satu dari tiga provinsi hasil validasi lapangan yang termasuk lokasi prioritas ketahanan iklim [4].

Dampak perubahan iklim yang terjadi di Sulawesi Utara mengakibatkan beberapa kabupaten/kota mengalami peningkatan intensitas bencana dan merugikan aktivitas manusia dan perkembangan ekonomi daerah, salah satunya Kabupaten Kepulauan Sangihe. Kepulauan Sangihe adalah salah satu kabupaten yang berbentuk kepulauan yang terletak di bagian utara provinsi Sulawesi Utara. Dengan jumlah penduduk 139.262 jiwa pada tahun 2020.

Dampak perubahan iklim yang diangkat di Sangihe adalah proyeksi terjadinya krisis air di masa mendatang. Hasil proyeksi BMKG terhadap perubahan curah hujan musiman periode 2034-2040 terhadap periode 2006-2014 di Sulawesi Utara (Des – Jan – Feb). Pada peta tersebut terlihat bahwa Kabupaten Kepulauan Sangihe berpotensi mengalami perubahan curah hujan dengan berkurang <-40% (skala tinggi). Pada pembahasan ini difokuskan pada dampak perubahan iklim terhadap penurunan ketersediaan air bersih di masa mendatang dengan memanfaatkan potensi air laut.

Air di bumi 98% diantaranya adalah air asin (laut) dan hanya 2% adalah air tawar [5]. Beberapa metode untuk mengolah air laut menjadi air bersih diantaranya *multi-stage desalination*, *reverse osmosis* dan *membrane distillation* [6]. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain pengolahan air laut dengan metode *reverse osmosis* (SWRO) untuk memenuhi kebutuhan air bersih di Kabupaten Kepulauan Sangihe pada proyeksi penduduk tahun 2050.

2. Metode

Pengembangan pengolahan air laut dilakukan untuk mengurangi dampak kekurangan ketersediaan air bersih di Kepulauan Sangihe. Penelitian menggunakan metode desalinasi *sea water reverse osmosis* (SWRO). Penelitian dilakukan pada bulan Juni – Oktober 2022 menggunakan data sekunder untuk memproyeksikan jumlah penduduk dan ketersediaan air bersih pada tahun 2050 serta sebagai data masukan awal untuk pemodelan SWRO. Pemodelan ini merupakan simulasi dalam pengembangan SWRO. Oleh karena data digunakan bersumber dari data sekunder, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kimia air laut di Sangihe untuk meningkatkan akurasi data pemodelan.

2.1. Material

Referensi yang digunakan bersumber dari dokumen global seperti IPCC edisi ke 5, dokumen pemerintah, jurnal ilmiah nasional dan internasional, dan sumber-sumber ilmiah dan relevan lainnya. *Software* yang digunakan dalam analisis proyeksi pertumbuhan penduduk adalah Microsoft Excel, sedangkan untuk pemodelan SWRO digunakan *software* Toray DS 2.

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan merumuskan masalah serta tujuan dalam penelitian, pengumpulan data diantaranya data primer dan sekunder yang relevan dengan penelitian. Setelah data dikumpulkan, dilakukan analisis kondisi daerah, perhitungan proyeksi penduduk, perhitungan proyeksi kebutuhan air bersih, dan pemodelan SWRO berdasarkan kebutuhan air bersih.

2.2.1. Analisis Kondisi Daerah

Kondisi daerah ditinjau dari beberapa aspek diantaranya profil geologi dan hidrogeologi. Profil geologi daerah diperoleh dari Peta Geologi Lembar Sangihe dan Siau, Sulawesi [9] yang juga terdokumentasi oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dalam sebuah Peta Geologi Bersistem, Indonesia, Lembar Sangihe dan Siau berskala 1:250.000. Kemudian untuk profil hidrogeologi yang didasarkan pada jenis litologi daerah bersumber dari analisis oleh Balai Wilayah Sungai (BWS) [10]. Ketersediaan air tanah sebagai cadangan air bersih dipengaruhi oleh kondisi geologi dan hidrogeologi wilayah setempat [11].

2.2.2. Perhitungan Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk dilakukan untuk mengetahui proyeksi besaran penduduk di masa yang akan datang berdasarkan jumlah penduduk historik. Sebelum dilakukan proyeksi, terlebih dahulu dilakukan perhitungan pertumbuhan penduduk melalui **Persamaan (1)**.

$$P = \frac{P_x - P_{x-1}}{P_x} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

P = Persentasi pertumbuhan penduduk.

P_x = Jumlah penduduk tahun yg dihitung P-nya.

P_{x-1} = Jumlah penduduk tahun sebelum PX

Kemudian dilakukan perhitungan proyeksi pertumbuhan penduduk dilakukan menggunakan salah satu dari 3 (tiga) metode umum yaitu eksponensial, aritmatika, dan geometri. Adapun pemilihan metode berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) mendekati 1 dan nilai standar deviasi (sd) terkecil dari masing-masing metode berdasarkan data historik dengan **Persamaan (2) - (4)**.

Metode eksponensial

$$r = \frac{[n(\sum XY)] - [(\sum X)(\sum Y)]}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad Sd = \sqrt{\frac{(\sum Y - Y_n^2)}{n-2}} \quad (2)$$

Metode geometri

$$r = \frac{[n(\sum X \ln Y)] - [(\sum X)(\sum \ln Y)]}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum \ln Y^2) - (\sum \ln Y)^2]}} \quad Sd = \sqrt{\frac{(\sum Y - Y_n^2)}{n-2}} \quad (3)$$

Metode aritmatika

$$r = \frac{[n(\sum XY)] - [(\sum X)(\sum Y)]}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] * [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad Sd = \sqrt{\frac{(\sum Y - Y_n^2)}{n-2}} \quad (4)$$

2.2.3. Perhitungan Proyeksi Kebutuhan Air

Perhitungan standar kebutuhan air domestik dan non domestik berdasarkan **Persamaan (5) - (6)**.

Kebutuhan air domestik

$$K_b \text{ domestik} = \text{jumlah penduduk} * \text{tingkat pelayanan} * \text{rerata konsumsi air} \quad (5)$$

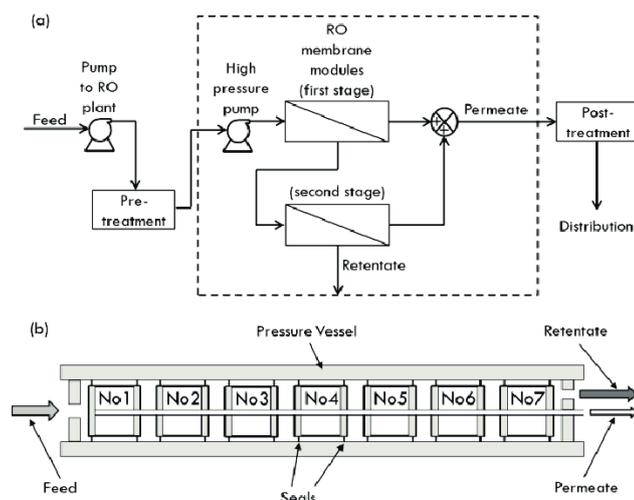
Kebutuhan air non domestik

$$K_b \text{ non domestik} = \text{jumlah fasilitas} * \text{rerata konsumsi air} \quad (6)$$

Adapun standar perhitungan berdasarkan kriteria perencanaan Direktorat Jenderal Cipta [12] dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum [13]

2.2.4 Pemodelan SWRO

Data hasil perhitungan kebutuhan air bersih kemudian dimasukkan kedalam model pengembangan SWRO menggunakan *software* Toray DS2. Jenis pengolahan yang dilakukan adalah *single pass* dan *two stage* [14] dengan skema pengolahan ditunjukkan pada **Gambar 1**..



Gambar 1. Proses Desalinasi. (a) Flow proses *two-stage* SWRO. (b) Skema RO vessel

3. Hasil dan Pembahasan

Kepulauan Sangihe merupakan salah satu kabupaten kepulauan di Provinsi Sulawesi Utara, berdasarkan proyeksi BMKG, Kepulauan Sangihe berpotensi mengalami penurunan curah hujan sebesar lebih dari 40% pada periode curah hujan 2032-2040. Hal ini salah satunya disebabkan oleh anomali iklim dan perubahan suhu permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim dan berdampak pada seluruh wilayah di dunia, termasuk Kepulauan Sangihe.

3.1. Kondisi Daerah

Berdasarkan peta geologi yang bersumber dari Peta Geologi Lembar Sangihe dan Siau [9] dan Peta Hidrogeologi Kepulauan Sangihe [10], Kabupaten Kepulauan Sangihe dominan memiliki karakteristik batuan yang tersusun dari batuan gunungapi sahendaruman (Qt_{sv}), batuan gunungapi awu (Qh_{av}), batuan terobosan andesit (QT_i [an]), dan formasi pintareng (Qpp). Dari sisi kondisi air tanah, Kepulauan Sangihe pada dataran sedang – tinggi didominasi oleh sistem akuifer celah/sarang dengan produktivitas kecil/langka dengan debit air yang dihasilkan rendah. Pada dataran rendah hingga menuju garis pantai didominasi oleh sistem akuifer celah/sarang dengan produktivitas akuifer produktif setempat, umumnya dengan sifat keterusan rendah sehingga debit air yang dihasilkan tergolong langka. Analisis tersebut menunjukkan bahwa Kepulauan Sangihe termasuk dalam daerah dataran dan pegunungan vulkanik dengan sifat akuifer celah/sarang dengan produktivitas langka sehingga kemampuan lahan dalam menyerap dan menyimpan air rendah dan meningkatkan risiko krisis air bersih, yang kemudian diperparah dengan adanya dampak perubahan iklim.

Jasa ekosistem memberikan manfaat kepada manusia dari berbagai sumberdaya dan proses alam [15] termasuk didalamnya kemampuan dalam menyimpan dan memelihara ketersediaan air pada siklus hidrologi [16]. Salah satu jasa ekosistem yang penting adalah jasa ekosistem penyediaan air, berfokus pada ketersediaan air permukaan untuk dimanfaatkan. **Tabel 1** di bawah ini adalah tabel luas dan persentase jasa lingkungan penyedia air [17] pada kabupaten Kepulauan Sangihe yang juga dihitung berdasarkan persentase pada kabupaten tersebut (%_{kab}) dan persentase perhitungan keseluruhan pada tingkat provinsi Sulawesi Utara (%_{prov}).

Tabel 1. Kinerja Jasa Ekosistem Penyedia Air Kepulauan Sangihe

Skala	Luas	% _{kab}	% _{prov}
Sangat Rendah	722.40	1.19%	0.05%
Rendah	19,846.51	32.63%	1.37%
Sedang	39,927.66	65.62%	2.75%
Tinggi	279.85	0.46%	0.02%
Sangat Tinggi	65.56	0.10%	0.00%
Total	60,841.98	100%	4.19%

Pada tabel menunjukkan Kepulauan Sangihe memiliki kinerja jasa ekosistem penyedia air yang didominasi oleh skala sedang dan rendah dengan persentase 65.62% dan 32.63%. Jasa ekosistem

penyediaan air dipengaruhi oleh kondisi curah hujan dan lapisan tanah atau batuan yang dapat menyimpan air (akuifer) serta faktor yang dapat mempengaruhi sistem penyimpanan air tanah seperti penutupan lahan [18]. Pada dasarnya, ketersediaan air dipengaruhi oleh faktor pemanfaatan lahan. Jika laju pertumbuhan meningkat tiap tahunnya, sedangkan luasan wilayah relatif tetap maka tekanan penduduk memicu terjadinya alih fungsi lahan. Dengan demikian, kondisi tersebut dapat mempengaruhi penurunan fungsi-fungsi lingkungan hidup salah satunya penyedia air [19].

3.2. Proyeksi Penduduk dan Kebutuhan Air Bersih

Data penduduk Sangihe dari tahun 2017 – 2020 berdasarkan BPS Kabupaten Sangihe dengan hasil perhitungan pertumbuhan penduduk ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rerata Pertumbuhan Penduduk Kepulauan Sangihe

No.	Tahun	Data Awal	Pertumbuhan
1	2016	130024	0
2	2017	126100	-3.02
3	2018	130439	3.44
4	2019	131163	0.56
5	2020	139262	6.17
Jumlah		656988	7.15
Rata-rata		131398	1.43

Berdasarkan **Tabel 2** dilihat bahwa rerata pertumbuhan penduduk selama 5 tahun terakhir adalah 1,43% pertahun, data tersebut menjadi dasar perhitungan pertumbuhan penduduk untuk menghitung proyeksi penduduk hingga tahun 2050. Adapun untuk nilai koefisien korelasi dan standar deviasinya pada perhitungan proyeksi penduduk ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi dan Standar Deviasi Proyeksi Penduduk

	Geometri	Artimatika	Eksponensial
r =	0.037220	r = 0.900608	r = 0.900608
Sd =	6815.557	Sd = 8278.178	Sd = 6799.369

Tabel 3 tersebut menunjukkan angka koefisien korelasi mendekati 1 adalah terdapat pada metode aritmatika dan eksponensial, adapun yang digunakan adalah dengan nilai standar deviasi terkecil yaitu pada metode eksponensial sehingga penelitian ini menggunakan metode proyeksi penduduk eksponensial dengan **Persamaan (7)**.

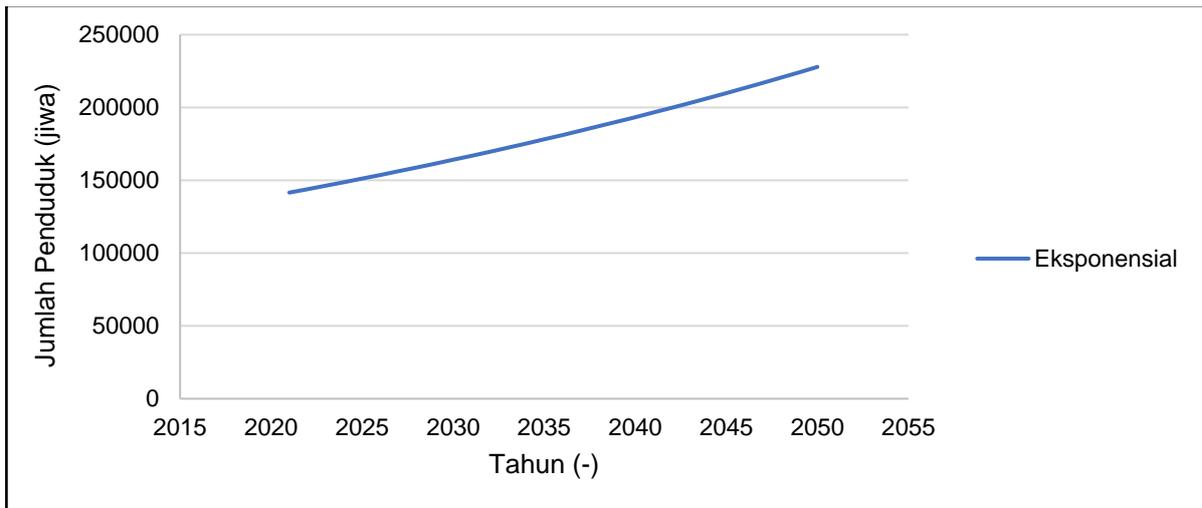
$$P_n = P_0 * e^{rn} \quad (7)$$

Keterangan:

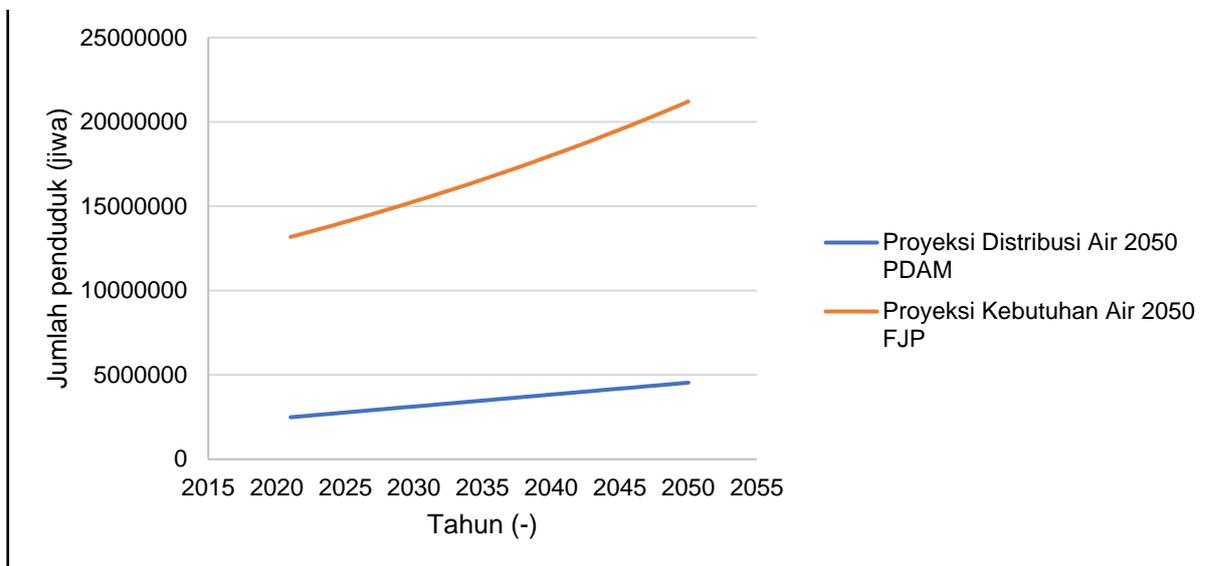
- P_n = Jumlah penduduk tahun yang akan dihitung.
- P_0 = Jumlah penduduk tahun terakhir dalam data.
- n = Jumlah waktu terhitung
- r = Angka pertumbuhan penduduk
- T_0 = Tahun terakhir dalam data
- e = Bilangan eksponensial (2.7182818).

Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode eksponensial pada tahun 2050 menunjukkan jumlah penduduk 227.846 jiwa dengan grafik pertumbuhan ditampilkan pada **Gambar 2**.

Berikutnya adalah perhitungan untuk mengetahui *gap* antara proyeksi distribusi air bersih oleh PDAM dan kebutuhan air bersih, ditampilkan pada **Gambar 3**. Menggunakan metode proyeksi perhitungan yang sama, ditambah dengan perhitungan air bersih dengan menjumlahkan kebutuhan air domestik, non domestik, hidran umum 10%, kehilangan air 15%, dan faktor jam puncak (FJP) 1.7 dengan hasil pada tabel berikut



Gambar 2. Grafik Pertumbuhan Penduduk Kepulauan Sangihe



Gambar 3. Grafik Perbandingan Proyeksi Distribusi Air PDAM dan Proyeksi Kebutuhan Air Bersih FJP di Kepulauan Sangihe Tahun 2050

Pada **Gambar 3** diatas diperoleh informasi bahwa hasil proyeksi distribusi air bersih oleh PDAM tidak mampu mencukupi kebutuhan air bersih penduduk, sejak awal produksi air bersih oleh PDAM belum mampu memenuhi kebutuhan air bersih, dan diproyeksikan mengalami kenaikan *gap* tiap tahun, seperti ditampilkan pada **Tabel 4**. **Tabel 4** diatas menunjukkan rekapitulasi perhitungan proyeksi penduduk, kebutuhan air, dan proyeksi distribusi air oleh PDAM dapat dilihat pada tabel berikut. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air bersih berdasarkan proyeksi penduduk pada tahun 2050 dengan jumlah penduduk proyeksi 227.846 jiwa adalah 0.67 m³/detik.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Kebutuhan Air Bersih

No.	Tahun	Proyeksi Penduduk 2050	Proyeksi Distribusi Air 2050 PDAM	Proyeksi Kebutuhan Air 2050 FJP
1	2021	141566	2489018	13178367
2	2022	143909	2559690	13396413
3	2023	146290	2630362	13618066
4	2024	148710	2701034	13839250
5	2025	151171	2771706	14072437
6	2026	153672	2842378	14305276
7	2027	156214	2913050	14541967
8	2028	158799	2983722	14782575
9	2029	161427	3054394	15027164
10	2030	164097	3125066	15275800
11	2031	166813	3195738	15528549
12	2032	169573	3266410	15785481
13	2033	172378	3337082	16046663
14	2034	175230	3407754	16312168
15	2035	178130	3478426	16582065
16	2036	181077	3549098	16856427
17	2037	184073	3619770	17135330
18	2038	187119	3690442	17418847
19	2039	190215	3761114	17707055
20	2040	193362	3831786	18000031
21	2041	196561	3902458	18297855
22	2042	199814	3973130	18600607
23	2043	203120	4043802	18908368
24	2044	206480	4114474	19221221
25	2045	209897	4185146	19539251
26	2046	213370	4255818	19862542
27	2047	216900	4326490	20191183
28	2048	220489	4397162	20525261
29	2049	224137	4467834	20864867
30	2050	227846	4538506	21210092

3.3. Pemodelan SWRO

Pemodelan SWRO menggunakan Software Toray DS2 untuk dapat memenuhi kebutuhan air bersih, data masukan yang diperlukan diantaranya jumlah air yang diolah (*feed*), persentase pengolahan (*recovery*), dan jumlah air yang akan diproduksi (*product*). Tabel 5 menyajikan rencana besaran pengolahan air laut.

Tabel 5. Rencana Pengolahan SWRO

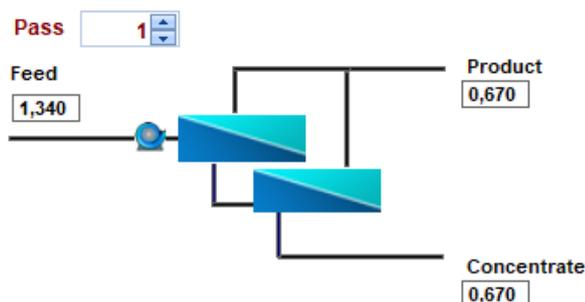
Hitungan	Hasil	Satuan
Debit proyeksi FJP	0.67	m ³ /det
System recovery 50%	0.67	m ³ /det
Total <i>feed</i>	1.34	m ³ /det
Total <i>product</i> 50%	0.67	m ³ /det

Berdasarkan **Tabel 5** diatas, untuk mendapatkan produksi air bersih 0,67 m³/detik diperlukan jumlah air laut yang masuk sebesar 1.34 m³/detik. Data masukan berikutnya adalah kimia air laut, pada penelitian ini tidak dilakukan pengambilan sampel di lapangan dan pengujian di laboratorium. Parameter yang digunakan dalam suhu, pH, dan *total dissolved solid* (TDS). Untuk mengetahui kimia air laut di Kepulauan Sangihe, diperoleh dari rata-rata data kimia air laut pada laut di area Sulawesi Utara sehingga diperoleh rencana masukan data kimia air laut seperti pada **Tabel 6**.

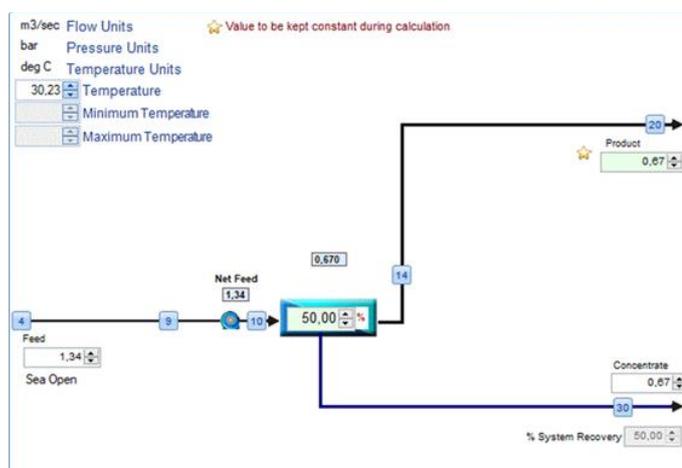
Tabel 6. Kimia Air Laut *Input* Sistem

Lokasi	Suhu (°C)	pH	Nilai TDS (mg/L)	Sumber
Barat Daya Pulau Siladen Kabupaten Minahasa Utara	31.99	7.09	34070	[20]
Teluk Totok Kabupaten Minahasa Tenggara	28.5	8.20	31538	[21]
Rata-rata	30.23	7.65	32804	

Berdasarkan **Tabel 6** diatas, diperoleh rerata suhu 30.23 °C, rerata nilai pH 7.65 dan rerata nilai TDS 32804 mg/L yang akan dijadikan data masukan pada pemodelan SWRO. Perhitungan dilakukan berdasarkan kadar TDS yang terkandung dengan menggunakan perhitungan otomatis pada sistem “*balance with NaCl*” sehingga diperoleh hasil data kation dan anion. Pemodelan SWRO ini hanya tidak melakukan pengujian pre-treatment dan post-treatment. Nilai pH yang sudah netral tidak perlu untuk dilakukan *treatment* penurunan kadar pH. Adapun untuk degasifikasi dan penakaran dosis pH tidak dilakukan dikarenakan keterbatasan data masukan kimia air sehingga untuk menentukan jumlah kadar gas dan pH yang akurat tidak dapat dipastikan. Oleh karena itu, pemodelan ini berfokus untuk menghasilkan data hasil pemodelan SWRO untuk mengetahui secara umum hasil simulasi SWRO. **Gambar 4** diatas adalah skema pemodelan two stage. Air laut yang berasal dari pengolahan pre-treatment dialirkan menggunakan *high pressure pump* (HPP) menuju rak-rak RO. Setiap *stage* memiliki jumlah *vessel* dan *module* yang berbeda-beda. Pemodelan SWRO Kepulauan Sangihe menggunakan konfigurasi *single-pass* dengan *two-stage* (**Gambar 5**). *Single-pass* digunakan dengan pertimbangan jumlah debit produksi tergolong kecil. Metode konfigurasi *two-stage* dipilih agar dapat meningkatkan efisiensi, menjaga produktivitas dan memperpanjang umur peralatan, dan produksi yang lebih besar [22].



Gambar 4. Proses Pengolahan SWRO Dengan Skema *Two Stage*



Gambar 5. Flow Diagram Pemodelan SWRO Kepulauan Sangihe

Pemodelan diatas menunjukkan hasil desain SWRO menggunakan *software* Toray DS2. Pada pemodelan tersebut terlihat suhu data adalah 30.23 °C, debit air laut yang masuk ke sistem adalah 1.34

m³/detik tanpa melalui proses *degassing* dan pH *stabilizer*, kemudian air laut diolah sebanyak 50% sehingga debit air diproduksi dan dibuang ke laut adalah 0.67 m³/detik, seperti ditampilkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Stream Details Pemodelan SWRO Kepulauan Sangihe

Stream Number	Flow	Pressure	TDS	Est uS	pH
20. Final Product	0.670	0	337.6	768.2	7.043
4. Feed Net	1.340	0	32804.15	55762.8	7.650
10. Feed to Pass 1	1.340	56.41	32804.15	55762.8	7.650
30. Conc to brine	0.670	55.63	65270.36	99933.3	7.770

Pada **Tabel 7** diatas dapat dilihat bahwa kadar pH dan TDS hasil pemodelan SWRO telah memenuhi baku mutu air minum oleh Kementerian Kesehatan RI [23]. Nilai TDS produk 337.6 mg/L memenuhi baku mutu sebesar 500 mg/L, nilai pH dari awal hingga akhir telah memenuhi baku mutu yaitu 6.5 – 8.5. **Tabel 8** dibawah ini menunjukkan bahwa detil konfigurasi yang digunakan dalam pemodelan SWRO. Terdapat jumlah elemen yang digunakan 4640 elemen yang terdapat dalam 928 *vessel*. Pada tiap-tiap *vessel* terdapat 5 elemen pada setiap *stage* nya. Jenis membran yang dapat digunakan dalam pemodelan penyediaan air bersih menggunakan SWRO di Kepulauan Sangihe adalah TM820M-400.

Tabel 8. Bank Data Pemodelan SWRO Kepulauan Sangihe

Stage/Bank Data	Pass1	Stage 1	Stage 2
Lead Element Type		TM820M-400	TM820M-400
Last Element Type		TM820M-400	TM820M-400
Total Elements	4640	2840	1800
Total Vessels	928	568	360
Elements per Vessel		5	5
Feed Flow	m ³ /detik	1,340	0,792
Product Flow	m ³ /detik	0,548	0,122
Recovery %	%	40,90 %	15,39 %
Feed Pressure	bar	56,41	56,05
Brine Pressure	bar	56,05	55,63
Feed TDS	mg/L	32.804	55.357
Perm TDS	mg/L	221,0	862,0

4. Kesimpulan

Perubahan iklim telah terjadi dan berdampak pada seluruh wilayah, termasuk di Kabupaten Kepulauan Sangihe di Provinsi Sulawesi Utara. Salah satu dampak yang dirasakan adalah penurunan ketersediaan air bersih. Pemodelan *sea water reverse osmosis* (SWRO) sederhana menggunakan *software* Toray DS2 didesain untuk memenuhi kebutuhan air bersih pada proyeksi penduduk tahun 2050. SWRO menggunakan konfigurasi *single pass two stage* dengan kebutuhan feed 1.34 m³/detik dan recovery 50% mampu memenuhi kebutuhan air proyeksi sebanyak 0.67 m³/detik. Untuk meningkatkan akurasi hasil pemodelan, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengukur kimia air laut dengan melakukan pengambilan sampel di lapangan dan pengujian di laboratorium sehingga dapat menghasilkan model SWRO yang lebih komprehensif dan menyeluruh.

Daftar Pustaka

- [1] Toebelmann D, Wendler T. The impact of environmental innovation on carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*. 2020 Jan 20;244:118787.
- [2] Penprase BE. The fourth industrial revolution and higher education. *Higher education in the era of the fourth industrial revolution*. 2018 Jun 21;10:978-81.
- [3] Yogica R. Kebijakan penanganan masalah perubahan iklim dengan strategi mitigasi dan adaptasi.
- [4] Bappenas. 2021. Ringkasan Eksekutif Kebijakan Pembangunan Berketahanan Iklim 2020 –

- 2045.
- [5] Lim YJ, Goh K, Kurihara M, Wang R. Seawater desalination by reverse osmosis: Current development and future challenges in membrane fabrication—A review. *Journal of Membrane Science*. 2021 Jul 1;629:119292.
 - [6] Thakur AK, Sathyamurthy R, Velraj R, Lynch I, Saidur R, Pandey AK, Sharshir SW, Ma Z, GaneshKumar P, Kabeel AE. Sea-water desalination using a desalting unit integrated with a parabolic trough collector and activated carbon pellets as energy storage medium. *Desalination*. 2021 Nov 15;516:115217.
 - [7] Krisdiarto AW, Ferhat A. Penyediaan Air Bagi Masyarakat Pesisir Terdampak Kekeringan dengan Teknologi Desalinasi Air Laut Sederhana. *DIKEMAS (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*. 2020;4(2).
 - [8] Mananoma T, Tanudjaja L, Jansen T. Desain sistem jaringan dan distribusi air bersih pedesaan (studi kasus desa warembungan). *Jurnal Sipil Statik*. 2016 Nov 15;4(11).
 - [9] Samodra. *Peta Geologi Lembar Sangihe dan Siau, Sulawesi Berskala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. 1994.
 - [10] Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1. *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Tondano-Sangihe-Talau-Miangas*. 2017
 - [11] Prastistho, B., Pratiknyo, P., Rodhi, A., Prasetyadi, C., Massora, M. R., & Munandar, Y. K. (2018). Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah.
 - [12] Ditjen Cipta Karya Dinas PU. *Kriteria Perencanaan Sektor Air Bersih*. 1996
 - [13] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 Tentang penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum
 - [14] Kim JS, Garcia HE. Nuclear-renewable hybrid energy system for reverse osmosis desalination process. *Transactions of the American Nuclear Society*. 2015 Jul;112:121-4.
 - [15] Reid WV, Mooney HA, Cropper A, Capistrano D, Carpenter SR, Chopra K, Dasgupta P, Dietz T, Duraipappah AK, Hassan R, Kasperson R. *Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press; 2005.
 - [16] Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. *Dokumen Daya Dukung Daya Tampung Berbasis Jasa Ekosistem Kota Surabaya*. 2019. Pemerintah Kota Surabaya.
 - [17] Dinas Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Sulawesi Utara. *Kinerja Jasa Ekosistem Daya Dukung Daya Tampung Lingkungan Hidup*. 2022. Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara
 - [18] Mulawarman A, Paddiyatu N, Sumarni B. Daya dukung ketersediaan air dan pangan di Kecamatan Sukamaju. *Jurnal Linears*. 2019;2(2):92-9.
 - [19] KLHK. *Infografis Daya Dukung & Daya Tampung Air Nasional*. 2019
 - [20] Patty W, Manu G, Reppie E, Dey LN. Komunitas Ikan Karang pada Terumbu Buatan Biorock di Perairan Pulau Siladen Kota Manado, Sulawesi Utara. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*. 2015;17(2):73-8.
 - [21] Hosea F, Mantiri DM, Paulus JJ, Rompas RM, Lumoindong F, Mudeng JD. Analisis Logam Timbal (Pb) pada *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Alga Merah yang di Budidaya di Teluk Totok Minahasa Tenggara, Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 2019;7(3):157-66.
 - [22] Kim J, Park K, Hong S. Application of two-stage reverse osmosis system for desalination of high-salinity and high-temperature seawater with improved stability and performance. *Desalination*. 2020 Oct 15;492:114645.
 - [23] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.