Reaktor

p-ISSN 0852 – 0798
e-ISSN 2407 – 5973

Terakreditasi: SK No.: 60/E/KPT/2016
Website : http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/

Reaktor, Vol. 16 No. 4, Desember Tahun 2016, Hal. 218-225

Studi Tekno Ekonomi Desalinasi Air Laut Skala Kecil dengan Sistem Reverse Osmosis

Linda Aliffia Yoshi dan I Nyoman Widiasa*)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang
*)Penulis korespondensi: widiasa@undip.ac.id

Abstract

TECHNO ECONOMY STUDY OF SMALL SCALE SEAWATER DESALINATION BY REVERSE OSMOSIS SYSTEM. *This study aims to get the design process and the economics of small-scale desalination of sea water in Indonesia which has interest in the range of 12-14%, electricity cost of IDR 1,300-1,800/kWh, and ground water tax regulation. The use of SWRO desalination system in Indonesia has been generally done at small scale. This study based on case study in Bali island with electricity cost at IDR 1,335.29/kWh and water tax at IDR 4,950/m^3. Techo economy evaluation was analysed for plant capacity of 150-1,000 m^3/day, recovery of 40% with sea water salinity of 32,000 ppm. Price of desalted water during first year a case study is IDR 24,300/m^3. It can be concluded that economic evaluation based on NPV and IRR shows that it is worthed.*

Keywords: *sea water; desalination; techno-economy*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain dan keekonomian desalinasi air laut di Indonesia yang mempunyai suku bunga bank 12-14%, tarif listrik Rp 1.300-1.800 per kWh, dan pajak air bawah tanah. Penggunaan sistem desalinasi SWRO di Indonesia pada umumnya dibuat skala kecil. Studi ini berdasarkan studi kasus di Pulau Bali dengan tarif listrik adalah Rp 1.335,29/kWh dan pajak air bawah tanah adalah Rp 4.950/m^3. Evaluasi tekno-ekonomi dianalisis untuk kapasitas 150-1000 m^3/hari, recovery sistem 40% dengan salinitas air laut 32.000 ppm, suku bunga 13%, dan jangka waktu pinjaman 10 tahun. Harga jual air desalinasi pada tahun pertama 24,300/m^3. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi yang meliputi NPV dan IRR dapat disimpulkan bahwa investasi layak dilakukan.

Kata kunci: *air laut; desalinasi; tekno-ekonomi*

How to Cite This Article: Yoshi, L.A. dan Widiasa, I N., (2016), Studi Tekno Ekonomi Desalinasi Air Laut Skala Kecil dengan Sistem Reverse Osmosis, Reaktor, 16(4), 218-225, http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.4.218-225

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan air bersih menjadikan air laut layak digunakan sebagai sumber alternatif. Konsentrasi salinitas (*Total Dissolved Solid*, TDS) yang tinggi memerlukan teknologi pengolahan yang mampu memisahkan bahan-bahan terlarut. Teknologi desalinasi menggunakan membran *Reverse Osmosis* (RO) telah mampu memisahkan kontaminan di dalam air laut seperti partikel padat, kekeruhan, *cyst*, bakteri, virus, warna, senyawa organik, dan padatan terlarut (Widiasa dan Susanto, 2016; Shenvi dkk., 2015).

Biaya desalinasi air laut dengan reverse osmosis (SWRO) sangat dipengaruhi oleh kapasitas dan lokasi instalasi (Atikol dan Aubar, 2005; Avlonitis dkk., 2003; Dore, 2005; Ettouney, 2002; Greenlee dkk., 2008; Loutatidou dkk., 2014; Mezher dkk., 2011). Semakin

besar kapasitas instalasi SWRO maka biaya desalinasi akan semakin turun sedangkan lokasi berhubungan dengan nilai parameter ekonomi. Nilai akan berbeda disetiap tempat seperti pajak air baku, biaya energi, biaya tenaga, dan suku bunga bank. Analisis ekonomi desalinasi lebih banyak ditemukan di daerah yang sudah lama menggunakan proses desalinasi seperti daerah Timur Tengah, Afrika, Amerika, Eropa dan Australia (Atikol dan Aubar, 2005; Dore, 2005, El-Zanati dan Sherif, 2004; Fritzmann dkk., 2007; Ghaffour dkk., 2013; Greenlee dkk., 2008; Mezher dkk., 2011; Reddy dan Ghaffour, 2007). Namun, aplikasi SWRO di Indonesia masih baru sehingga diperlukan gambaran tentang biaya desalinasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan sistem desain dan keekonomian desalinasi air laut skala kecil dengan sistem SWRO di Indonesia yang mempunyai perbedaan nilai suku bunga bank, biaya listrik, dan peraturan pajak air dibandingkan dengan negara-negara lain.

METODE PENELITIAN

Tahapan metode penelitian menggunakan studi kasus desalinasi RO di Pulau Bali sehingga karakteristik air umpan, desain proses, dan nilai parameter ekonomi disesuaikan dengan kondisi aktual di Bali. Penyesuaian perlu dilakukan jika aplikasi SWRO di daerah lain yang mungkin berbeda TDS air laut, ketentuan upah pekerja, dan parameter lainnya. Air laut yang digunakan adalah air *beach wells* dengan TDS 32.000 ppm. Proses dijalankan pada kapasitas kecil ≤ 1.000 m^3/hari menggunakan membran CSM tipe RE8040-SHN400 dan disimulasikan dengan software CSM PRO 5. Secara lebih terperinci, Tabel 1 menunjukkan parameter proses desalinasi dimana variabel kontrol simulasi adalah tekanan pompa (*High Pressure Pump*, HPP) yang digunakan untuk memompa air umpan ke membran RO.

Desain Proses

Gambar 1 menunjukkan desain proses SWRO yang digunakan di dalam penelitian ini. Proses desalinasi dijalankan pada recovery 40%. Desain sistem sebelum masuk ke membran RO dilakukan sistem *pretreatment* (*sand filter* dan *cartridge filter*) untuk menghilangkan kontaminan tersuspensi. Proses *posttreatment* penambahan larutan NaOH dan NaOCl dilakukan masing-masing untuk menaikkan pH dan disinfeksi.

Biaya Desalinasi

Biaya desalinasi dihitung sebagai biaya total (Rp/tahun) dan biaya air per meter kubik (Rp/m^3). Biaya total diperoleh dari penjumlahan komponen-komponen biaya desalinasi yang meliputi biaya pajak air, biaya kapital, biaya listrik, biaya *chemical* (bahan kimia), biaya tenaga, biaya membran, biaya cartridge, dan biaya perawatan (Ettoney dkk., 2002; Ghaffour dkk., 2013; Greenlee dkk., 2008; Lamei dkk., 2008; Rayan dan Khaled, 2002). Perhitungan biaya desalinasi menggunakan software Microsoft Excell 2010. Perhitungan ekonomi merujuk langsung kepada harga di lapangan yang ditunjukkan pada Tabel 2 agar diperoleh biaya yang lebih riil. Persamaan (1)-(11) adalah persamaan untuk menghitung biaya desalinasi dengan basis per tahun (Rp/tahun) (Al Wazzan dkk., 2002; Atikol dan Aubar, 2005; Avlonitis dkk., 2003; Ettoney dkk., 2002; Lamei dkk., 2008; Shahabi dkk., 2015):

$$A_{total} = A_{air} + A_{kapital} + A_{listrik} + A_{kimia} + A_{tenaga} + A_{membran} + A_{cartridge} + A_{perawatan} \quad (1)$$

$$A_{unit} = \frac{A_{total}}{m \times 365} \quad (2)$$

$$A_{air} = (t)(m)(365) \quad (3)$$

$$A_{kapital} = (a)(DC)\left(\frac{m}{f}\right) \quad (4)$$

$$A_{listrik} = (c)(w)(m)(365) \quad (5)$$

$$A_{kimia} = (k)(m)(365) \quad (6)$$

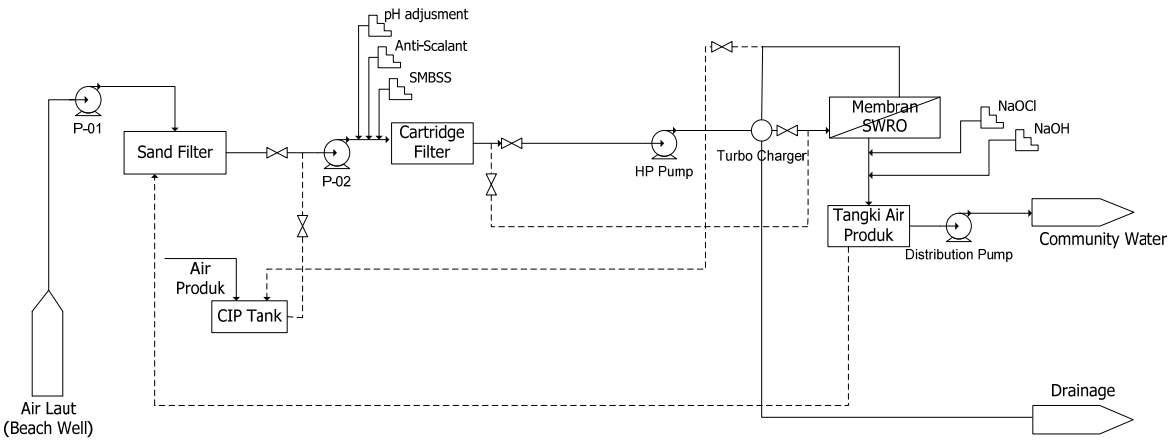
$$A_{tenaga} = (y)(p)(13) \quad (7)$$

$$A_{membran} = (x)(\text{jumlah membran})/3 \quad (8)$$

$$A_{cartridge} = (k)(m)(365) \quad (9)$$

$$A_{perawatan} = (2\%)(DC)\left(\frac{m}{f}\right) \quad (10)$$

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (11)$$



Gambar 1. Rangkaian proses desalinasi air laut

Tabel 1. Parameter proses desalinasi SWRO

Parameter	Satuan	SWRO
Kapasitas instalasi (m)	m^3/hari	150, 200, 300, 500, 750, 1000
Efisiensi Pompa	%	70
TDS	ppm	32.000
Jumlah Stage		1
Recovery	%	40
Listrik (w)	kWh/m^3	5
Tekanan Pompa	Bar	55
Umur membran	Tahun	3

Tabel 2. Nilai parameter ekonomi

Parameter		Nilai	Satuan
Umur instalasi	n	10	tahun
Plant avalaibility	f	90	%
Suku bunga	i	13	%
Listrik [a)]	c	1.355,29	Rp/kWh
Tenaga	y	3.000.000	Rp/orang/bulan
Jumlah tenaga	p	3	orang
Pajak air baku [b)]	t	4.950	Rp/m^3
Harga membran	x	12.000.000	Rp/membran
Harga cartridge	l	500	Rp/m^3
Biaya kapital	DC	12.015.000	Rp/m^3/hari
Biaya chemical	k	1.000	Rp/m^3

a) Tarif Listrik PLN

b) Perda Kabupaten Badung, 2011

Setelah diperoleh biaya desalinasi, selanjutnya dilakukan evaluasi ekonomi yang ditinjau dari prinsip ekonomi teknik dengan mempertimbangkan kenaikan biaya instalasi dan biaya operasional dan perawatan (O&M) setiap tahunnya. Parameter ekonomi sebagai penilaian kelayakan ekonomi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter penilaian kelayakan ekonomi

Uraian	Unit	Nilai
Harga jual air tahun pertama	Rp/m^3	24.300
Kenaikan harga jual air	Rp/2tahun	2.000
Kenaikan pajak air tanah	%/tahun	5
Kenaikan tarif listrik	%/tahun	3
Kenaikan harga bahan kimia	%/tahun	5
Kenaikan cartridge	%/tahun	5
Kenaikan harga spare part	%/tahun	5
Kenaikan gaji tenaga	%/tahun	8
Suku bunga	%	13

Evaluasi ekonomi berdasarkan *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate Return* (IRR). NPV adalah selisih uang yang diterima dan uang yang dikeluarkan dengan memperhatikan *time value of money*. *Time value of money* atau *Present Value* berfungsi untuk mengetahui nilai uang saat ini karena uang yang dihasilkan akan diterima pada masa mendatang. Apabila nilai NPV>0 maka investasi menguntungkan dan proyek dapat dijalankan. Perhitungan NPV menggunakaan rumus:

$$NPV = C_o + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{C_n}{(1+i)^n} \qquad (12)$$

dimana:

Co = jumlah uang yang diinvestasikan (negatif)

$C_{1,2,n}$ = uang yang dihasilkan pada tahun ke-1,2, sampai ke-n

i = suku bunga

IRR merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek sebagai investasi dapat diterima apabila laju pengembalian *(rate of return)* lebih besar dari pada laju pengembalian investasi bentuk lain seperti bunga deposito dan reksadana. IRR digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak dengan tingkat pengembalian yang menyebabkan nilai NPV=0 atau *Present Value inflow* sama dengan *Present Value outflow.* Untuk menghitung nilai IRR dibutuhkan nilai NPV positif dan negatif yang selanjutnya dilakukan interpolasi menggunakan persamaan 13.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_2 - NPV_1}(i_2 - i_1) \qquad (13)$$

dimana:

i_1 = suku bunga yang lebih rendah

i_2 = suku bunga yang lebih tinggi

NPV_1 = present value pada suku bunga i_1

NPV_2 = present value pada suku bunga i_2

Desain Sistem

Total Dissolved Solid (TDS) air laut yang tinggi menyebabkan sistem desain desalinasi air laut hanya dapat menggunakan konfigurasi secara *single stage* dan recovery rendah (<50%) (El-Zanati dan Sherif, 2004; Fritzmann dkk., 2007; Greenlee dkk., 2008; Vince dkk., 2008) yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil simulasi, kapasitas instalasi desalinasi (m^3/hari) akan mempengaruhi kebutuhan jumlah membran. Salah satu syarat desain sistem desalinasi adalah distribusi flux permeat di setiap membran kurang dari 39,05 lmh (Toray Chemical Korea Inc, 2009) sehingga kapasitas instalasi yang lebih besar akan membutuhkan jumlah membran yang lebih banyak seperti yang tersaji pada Tabel 4. Pemakaian jumlah membran sendiri akan mempengaruhi tekanan pompa (*High Pressure Pump*, HPP) yang digunakan untuk memompa air umpan ke membran RO.

Tabel 4. Hubungan kapasitas instalasi terhadap jumlah membran minimum dan kebutuhan energi

Kapasitas (m^3/hari)	Jumlah membran	Tekanan (bar)	Kebutuhan energi HPP (kWh/m^3)	Kebutuhan energi total (kWh/m^3)
150	8	53,7	2,2	5
200	12	52,6	2,1	5
300	16	53,7	2,1	5
500	28	52,8	2,1	5
750	40	54,7	2,2	5
1000	52	54,6	2,2	5

Pada Tabel 4 selain hubungan kapasitas instalasi terhadap jumlah membran minimum dan tekanan HPP,

tersaji kebutuhan energi HPP akibat tekanan HPP. Diketahui kebutuhan energi HPP sistem SWRO sebesar 2,1-2,2 kWh/m^3 dari total energi 5 kWh/m^3 (Avlonitis dkk., 2003; Ghobeity dan Mitsos, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

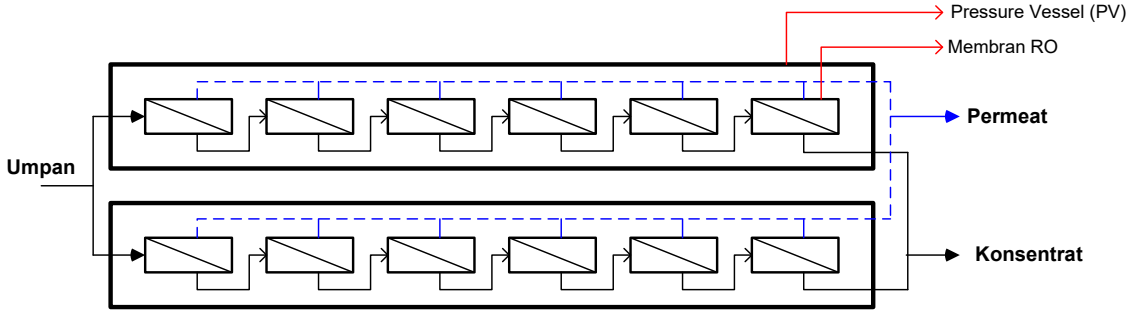
Sistem desain SWRO dapat disusun berdasarkan ruangan yang tersedia. Hasil simulasi dengan 12 membran tersusun atas 2 PV (*Pressure Vessel)* dan berisi 6 membran disetiap PV (2-6) secara *single stage* (Gambar 2). Karena keterbatasan panjang ruang maka membran dapat disusun secara *quasi single stage* dengan menggunakan 4 buah PV dan berisi 3 buah membran di setiap PVnya (4-3;4-3). *Quasi single stage* adalah susunan membran yang seakan-akan menyerupai *double stage* tetapi tetap *single stage* yang ditunjukan pada Gambar 3.

Biaya Desalinasi

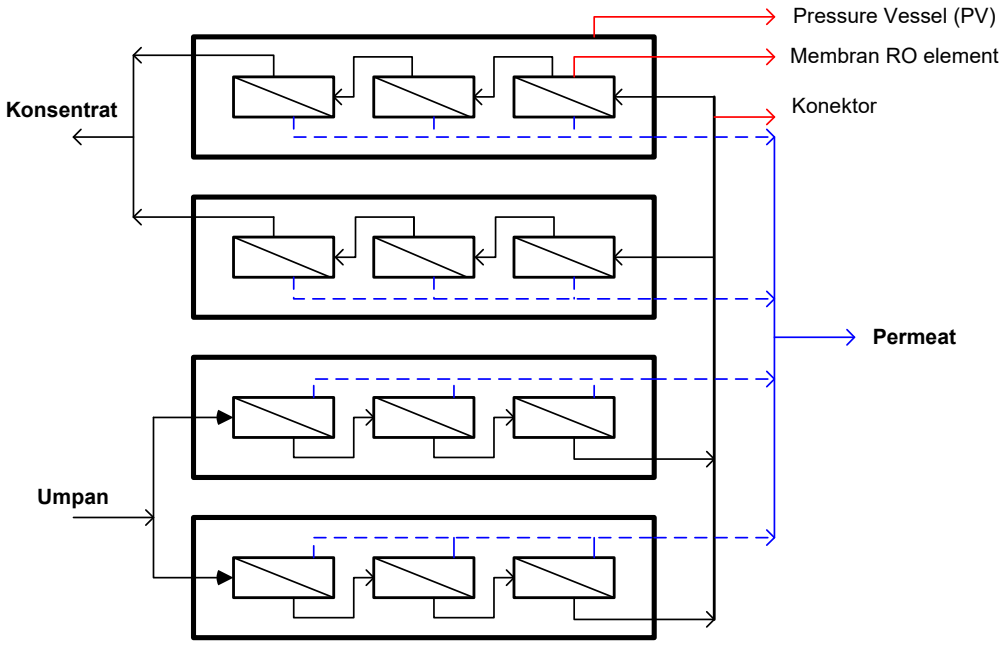
Biaya desalinasi diperoleh dari total biaya pembelian air baku, biaya kapital atau biaya investasi, biaya listrik, biaya bahan kimia (*pre* dan *post treatment*), biaya perawatan, biaya membran, biaya cartridge filter, dan biaya tenaga. Secara keseluruhan biaya desalinasi ditunjukkan pada Tabel 5. Pada Tabel tersebut diketahui bahwa kapasitas instalasi memberikan pengaruh terhadap biaya desalinasi dan biaya tenaga sebagai operator. (Avlonitis dkk., 2003; Greenlee dkk., 2008; Lapunte, 2012; Karagianis dan Soldatos, 2008; Lamei dkk., 2008; Hafez dan Samir, 2002; Mezher dkk., 2011; Rayan dan Khaled, 2002; Reddy dan Ghaffour, 2007. Kapasitas 1000 m^3/hari memberikan biaya desalinasi (Rp/m^3) yang jauh lebih kecil dibanding kapasitas 150 m^3/hari. Untuk mengurangi biaya tenaga terutama kapasitas kecil dapat dengan meminimalkan jumlah tenaga sebagai operator.

Pengambilan air baku sebagai air laut dapat diambil dari *beach well* atau *surface water*. Kapasitas instalasi yang kecil menyebabkan air baku diambil dari *beach well* sehingga air baku dihitung sebagai pajak air bawah tanah mencapai Rp 4.950/m^3 (Perda No.1 Tahun 2011 Kab. Badung). Pengambilan air baku dihitung sesuai dengan jumlah produk yang dihasilkan (kapasitas instalasi) sehingga besarnya recovery tidak akan mempengaruhi biaya air baku. Apabila kapasitas instalasi besar (≥ 20.000 m^3/hari) air baku dapat diambil langsung dari *surface water* dan bernilai nol sehingga biaya desalinasi akan lebih murah.

Pada Gambar 4 tersaji grafik pengaruh biaya pajak air baku terhadap biaya desalinasi.



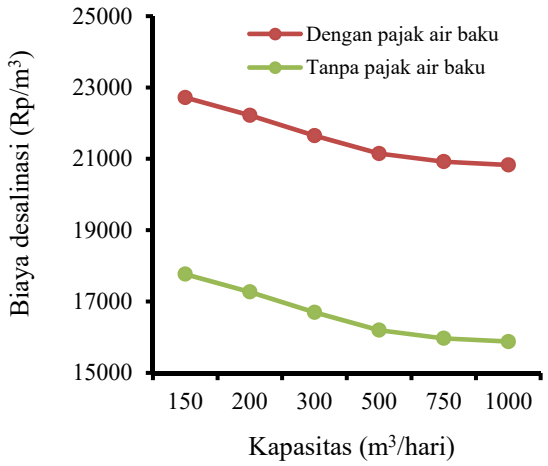
Gambar 2. Sistem desain *single stage*



Gambar 3. Sistem desain *quasi single stage*

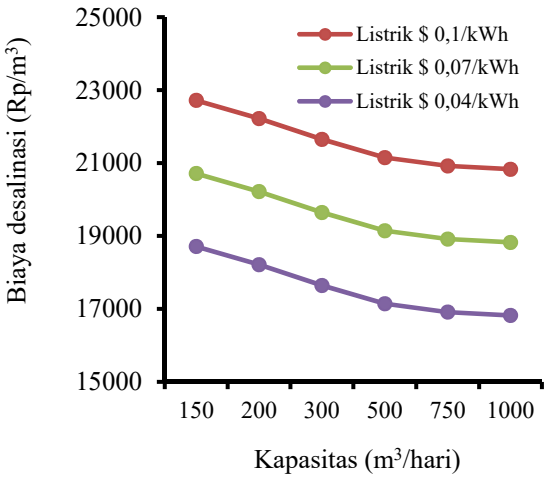
Tabel 5. Biaya desalinasi air laut

Tahun ke-	Kapasitas (m^3/hari)	Biaya kapital (Rp/m3)	Biaya maintenance (Rp/m3)	Biaya air (Rp/m3)	Biaya listrik (Rp/m3)	Biaya chemical (Rp/m3)	Biaya cartridge (Rp/m3)	Biaya membran (Rp/m3)	Biaya tenaga (Rp/m3)	Total biaya desalinasi (Rp/m3)
		(DC*a)/ (m*f*365)	(DC)/(m*f)	t+(3%*t)	(w*c)+ (3%*w*c)	k+(5%*k)	l+(5%*l)	(x*∑membran/3)+ (5%*x* ∑membran/3)	(p*y*13/m) + (8%*p*y*13/m)	
1	150	6.066	658	4.950	6.676	1.000	500	731	2.137	22.719
2	150	6.066	658	5.198	6.877	1.050	525	767	2.308	23.449
3	150	6.066	658	5.445	7.077	1.100	550	804	2.479	24.179
4	150	6.066	658	5.693	7.277	1.150	575	840	2.650	24.910
5	150	6.066	658	5.940	7.478	1.200	600	877	2.821	25.640
6	150	6.066	658	6.188	7.678	1.250	625	913	2.992	26.370
7	150	6.066	658	6.435	7.878	1.300	650	950	3.163	27.100
8	150	6.066	658	6.683	8.079	1.350	675	986	3.334	27.831
9	150	6.066	658	6.930	8.279	1.400	700	1.023	3.505	28.561
10	150	6.066	658	7.178	8.479	1.450	725	1.059	3.676	29.291
1	1.000	6.066	658	4.950	6.676	1.000	500	658	321	20.829
2	1.000	6.066	658	5.198	6.877	1.050	525	690	346	21.411
3	1.000	6.066	658	5.445	7.077	1.100	550	723	372	21.992
4	1.000	6.066	658	5.693	7.277	1.150	575	756	397	22.573
5	1.000	6.066	658	5.940	7.478	1.200	600	789	423	23.155
6	1.000	6.066	658	6.188	7.678	1.250	625	822	449	23.736
7	1.000	6.066	658	6.435	7.878	1.300	650	855	474	24.317
8	1.000	6.066	658	6.683	8.079	1.350	675	888	500	24.898
9	1.000	6.066	658	6.930	8.279	1.400	700	921	526	25.480
10	1.000	6.066	658	7.178	8.479	1.450	725	953	551	26.061



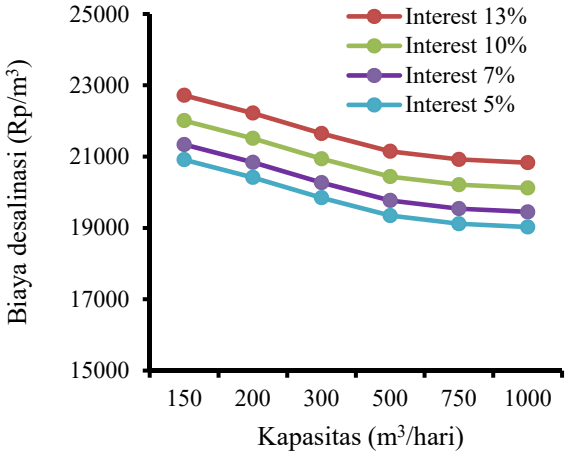
Gambar 4. Pengaruh pajak air baku terhadap biaya desalinasi pada interest 13% dan biaya listrik $0,1/kWh

Selain dipengaruhi oleh pajak air baku, biaya desalinasi juga dipengaruhi biaya listrik (Rp/kWh) dan suku bunga bank *(interest).* Pada Gambar 5 disajikan grafik pengaruh biaya listrik terhadap biaya desalinasi yang dihitung pada interest 13% dan menggunakan pajak air baku. Diketahui biaya listrik di Indonesia sebesar Rp 1.335,29/kWh atau setara dengan $0,1/kWh (Tarif Dasar Listrik, Maret 2016) berbeda halnya dengan negara lain yang hanya menetapkan biaya listrik sekitar $0,04-0,09/kWh (Ettouney, 2002; Fritzmann dkk., 2007).



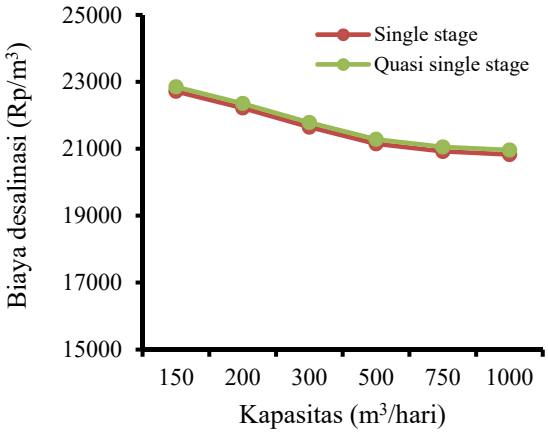
Gambar 5. Pengaruh biaya listrik terhadap biaya desalinasi pada interest 13% dengan pajak air baku

Rata-rata suku bunga bank di Indonesia antara 12-14% per tahunnya. Nilai ini akan mempengaruhi biaya desalinasi akibat pinjaman bank yang harus dikembalikan setiap tahun. Semakin tinggi suku bunga maka nilai pengembalian akan semakin besar. Pada Gambar 6 disajikan pengaruh suku bunga bank terhadap biaya desalinasi yang dibandingkan dengan suku bunga di negara lain yang berkisar antara 5-9% (Atikol dan Aubar, 2005; Ettouney dkk., 2002; Fritzmann dkk., 2007; Lamei dkk., 2008; Keseime, 2013; Zelji, 2004).



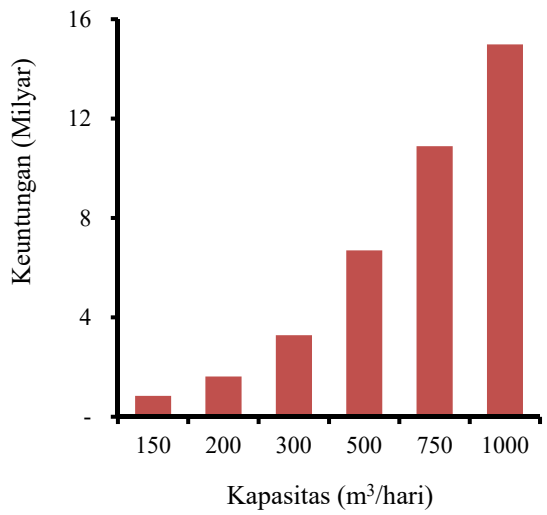
Gambar 6. Pengaruh suku bunga terhadap biaya desalinasi pada biaya listrik $0,1/kWh dengan pajak air baku

Pada Gambar 7 ditunjukkan biaya desalinasi akibat keterbatasan ruang yang mengharuskan sistem desain disusun secara *quasi single stage.* Berdasarkan grafik tersebut tidak terjadi perbedaan biaya yang signifikan. Kenaikan biaya sekitar 2% pada biaya kapital di sistem *quasi single stage* akibat penambahan konektor dan *Pressure Vessel* (PV). Sehingga dengan beberapa perbedaan terhadap biaya pajak air, biaya listrik, dan suku bunga maka biaya desalinasi di Indonesia akan lebih mahal dibanding negara lain yang biayanya sekitar $0,49-2/m^3 (Dore, 2005; Karagiannis dan Soldatos, 2008).



Gambar 7. Perbandingan biaya sistem desain *single stage* dan *quasi single stage* pada interest 13%, listrik $0,1/kWh dengan pajak air baku

Perhitungan biaya desalinasi yang didapatkan diasumsikan bahwa seluruh biaya kapital diperoleh dari pinjaman bank dengan suku bunga 13% selama 10 tahun. Proyeksi keuntungan yang diperoleh selama 10 tahun tersaji pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa dengan kapasitas yang lebih besar maka keuntungan yang diperoleh akan semakin banyak.



Gambar 8. Keuntungan desalinasi selama 10 tahun

Biaya desalinasi dievaluasi berdasarkan *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR) ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan tabel tersebut NPV menunjukkan nilai positif dan IRR lebih besar dari suku bunga pinjaman atau investasi bentuk lain seperti deposito dan reksadana sehingga investasi desalinasi SWRO layak untuk dibangun.

Tabel 6. Evaluasi ekonomi

Kapasitas (m^3/hari)	NPV (Rp)	IRR (%)	Deposito (%)	Reksa dana (%)
150	390.046.773	35	6,75	9,29
200	774.200.557	36	6,75	9,29
300	1.593.549.951	37	6,75	9,29
500	3.283.290.564	37	6,75	9,29
750	3.283.290.564	38	6,75	9,29
1000	7.380.037.535	38	6,75	9,29

KESIMPULAN

Kajian desain sistem *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) kapasitas kecil (150-1.000 m^3/hari) recovery 40% memberikan hasil bahwa sistem desain SWRO dapat disusun secara *single stage* atau *quasi single stage* yang disebabkan oleh faktor keterbatasan ruang yang tersedia. Komponen biaya produksi, yaitu tarif listrik, suku bunga bank, dan pajak air tanah, membuat biaya desalisasi di Indonesia lebih tinggi dibanding beberapa negara lain. Biaya penjualan air desalinasi SWRO pada tahun pertama sebesar Rp 24.300/m^3 dan akan naik Rp 2.000/m^3 setiap dua tahun sekali. Biaya desalinasi dievaluasi berdasarkan NPV dan IRR memberikan hasil bahwa instalasi tersebut layak untuk dibangun.

DAFTAR PUSTAKA

Atikol, U. and Aubar, H.S., (2005), Estimation of Water Production Cost in the Feasibility Analysis of RO Systems, *Desalination*, 184, pp. 253–258.

Avlonitis, S.A., Kourumbas, K., and Vlachakis, N., (2003), Energy Consumption and Membrane Replacement Cost for Seawater RO Desalination Plants, *Desalination*, 157, pp. 151–158.

CSM RO System Design and CSM PRO Program, (2009), Woongjin Chemical Co. Ltd Filter Design.

Dore, M.H.I., (2005), Forecasting the Economics Costs of Desalination Technology, *Desalination*, 172, pp. 207–214.

El-zanati, E. and Sherif, E., (2004), Development ofa Locally Designed and Manufactured Small-Scale Reverse Osmosis Desalination System, *Desalination*, 165, pp. 133–139.

Ettouney, H.M., El-Desseouky, H.T., Faibish, R.S., and Gowin, P.J., (2002), Evaluating the Economics of Desalination, *Heat Transfer*, pp. 32–39.

Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., and Melin, T., (2007), State-of-the-art of Reverse Osmosis Desalination, *Desalination*, 216, pp. 1–76.

Ghaffour, N., Missimer, T.M., and Amy, G.L., (2013), Technical Review and Evaluation of the Economics of Water Desalination: Current and Future Challenges For Better Water Supply Sustainability, *Desalination*, 309, pp. 197–207.

Ghobeity, A. and Mitsos, A., (2014), Optimal Design and Operation of Desalination Systems New Challenges and Recent Advances, *Chemical Engineering*, 6, pp. 61-68.

Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., and Moulin, P., (2009), Reverse Osmosis Desalination: Water Sources, Technology, and Today's Challenges, *Water Research*, 43, pp. 2317– 2348.

Hafez, A. and Samir, E.M., (2002), Economics of Seawater RO Desalination in the Red Sea Region, Egypt, Part 1, A Case Study, *Desalination*., 153, pp. 335–347.

Karagiannis, I.C. and Soldatos, P.G., (2008), Water Desalination Cost Literature: Review and Assessment, *Desalination*, 223, pp. 448–456.

Lamei, A., Zaag, P.V.D., and Münch, E.V., (2008), Basic Cost Equations to Estimate Unit Production Costs for RO Desalination and Long-Distance Piping to Supply Water to Tourism-Dominated Arid Coastal Regions of Egypt, *Desalination*, 225, pp. 1–12.

Lapunte, E., (2012), Full Cost in Desalination: A Case Study the Segura River Basin, *Desalination*, 300, pp. 40–45.

Loutatidou, S., Bushra, C., Prashanthi, R.M., and Hassan, A.A., (2014), Capital Cost Estimation of RO

Plants: GCC Countries versus Southern Europe, *Desalination*, 347, pp. 103–111.

Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., and Khaled, A., (2011), Techno Economic Assessment and Environmental Impacts of Desalination Technologies, *Desalination*, 266, pp. 263–273.

Peraturan Daerah Kabupaten Badung No. 1 Tahun 2011 Tentang Pajak Air Tanah.

Tarif Listrik PLN Maret 2016

Rayan, M.A. and Khaled, I., (2002), Sea Water Desalination by Reverse Osmosis (Case Study), *Desalination*, 153, pp. 245–251.

Reddy, K.V. and Ghaffour, N., (2007), Overview of the Cost of Desalinated Water and Costing Methodologies, *Desalination*, 205, pp. 340–353

Shenvi, S.S., Isloor, A.M., and Ismail, A.F., (2015), A Review on RO Membrane Technology: Developments Dan Challenges, *Desalination*, 368, pp. 10–26.

Toray Chemical Korea Inc, (2009), *Customer Satisfaction Membrane (CSM).*

Vince, F., Marechal, F., Aoustin, A., and Bréant, P., (2008), Multi-objective Optimization of RO Desalination Plants, *Desalination*, 222, pp. 96–118.

Widiasa, I N. dan Susanto, A.A., (2016), Tekno-Ekonomi Sistem Membran Terintegrasi untuk Pengolahan Air Baku Campuran Air Payau dan Efluen STP. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", ISSN 1693-439.