

PERHITUNGAN NERACA AIR TAWAR DI PULAU PRAMUKA, JAKARTA

MEASUREMENT OF FRESHWATER BALANCE IN PRAMUKA ISLAND, JAKARTA

R Achmad Dzulfikar H¹ dan Asep Sofyan²

Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132

E-mail: zulfikarhermawan@gmail.com dan asepsofyan@gmail.com

Abstrak: Pulau Pramuka merupakan salah satu pulau kecil yang terletak di Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Pulau Pramuka merupakan salah satu pulau yang mengalami kekurangan air tawar saat musim kering. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah surplus/defisit lensa air tawar pada Pulau Pramuka berdasarkan neraca air alami, menentukan kekurangan ketersediaan air tawar, dan menentukan jumlah air yang harus di produksi oleh instalasi reverse osmosis yang akan dibuat. Penelitian ini dilaksanakan pada periode Juni – Desember 2017. Perhitungan neraca air alami dihitung per-tahun dari tahun 2012 sampai 2016 berdasarkan data karakteristik tanah dan data cuaca. Data cuaca yang digunakan adalah data curah hujan dan temperatur yang diambil dari stasiun terdekat, yaitu stasiun Tanjung Priok, Jakarta Utara. Berdasarkan perhitungan neraca air, pada tahun 2016 Pulau Pramuka memiliki nilai surplus sebesar 369 mm dan defisit sebesar 669 mm. Kemudian, berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa nilai sustainable yields dari lensa air tawar lebih kecil dari kebutuhan air total. Pada tahun 2016 Pulau Pramuka mengalami defisit air rata-rata sejumlah 164 m³ per hari. Kapasitas produksi instalasi reverse osmosis yang harus dibangun adalah sebesar 226 m³/hari

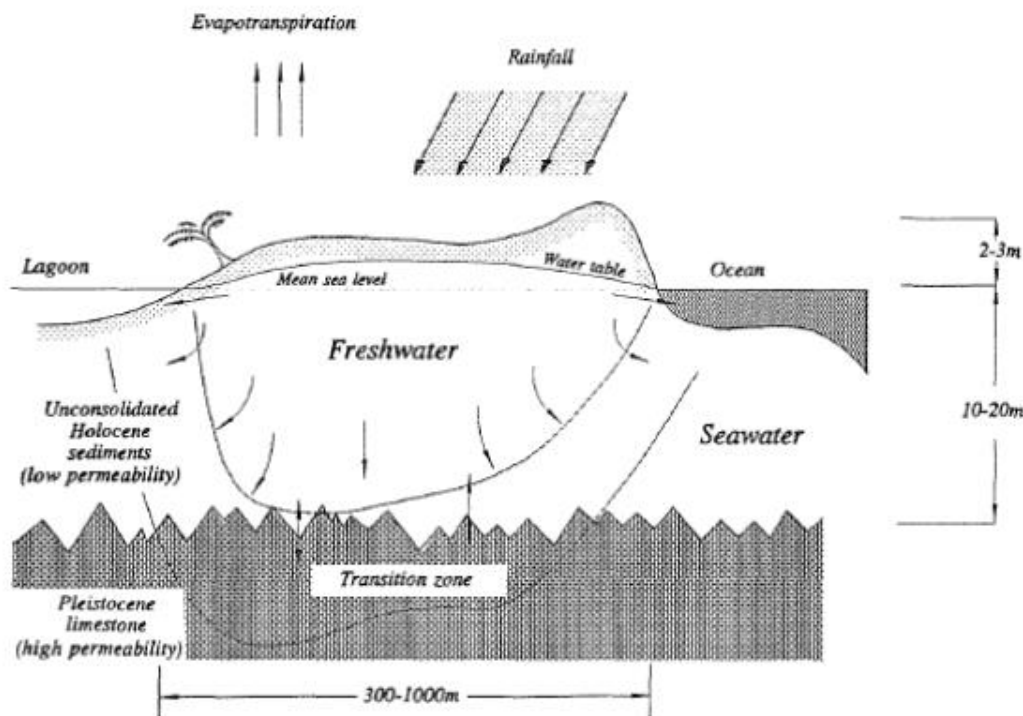
kata kunci: Pulau Pramuka, pulau kecil, air tanah, neraca air, Thornthwaite-Mather, *sustainable yield*.

Abstract: *Pramuka island is one of the small islands which located in Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Pramuka island is one of the islands that encounter water scarcity when dry season. The objective of the research are to determine the amount of freshwater lens surplus/deficit on Pramuka island based on natural water balance, to determine amount of freshwater deficit based on water consumption and to determine amount of freshwater that has to be provided by new reverse osmosis installation. The research was held in June - December 2017 period. Water balance measurement is counted per year from 2012 to 2016 based on rainfall and temperature data from the nearest station, which is Tanjung Priok station, Jakarta Utara. The calculation of water balance measured by using the Thornthwaite Mather method. Based on water balance measurement, in 2016 Pramuka Island has 369 mm surplus and 669 mm deficit. Later, it discovered from the calculation that the value of sustainable yields is lower than total water need each year. In 2016 Pramuka island experienced water deficit that equal to 164m³ per day. The rate of freshwater production that needed from new reverse osmosis instalation is 226 m³ per day*

Keywords: *Pramuka island, small island, groundwater, water balance, Thornthwaite-Mather, sustainable yield.*

PENDAHULUAN

Daerah pantai merupakan daerah dengan sumber daya air tawar yang sangat langka terutama akibat intrusi air laut ataupun secara alami merupakan akuifer air asin. Hal ini menyebabkan ketersediaan air bersih di perkotaan dan berbagai sumber air bersih yang ada di perkotaan tidak dapat disamakan dengan daerah-daerah pesisir pantai (Rahmayanti dan Soewondo, 2015). Pulau Pramuka merupakan salah satu pulau di Kepulauan Seribu yang menjadi tujuan wisata masyarakat Jakarta. Banyaknya wisatawan yang datang ke pulau tersebut membuat cadangan air tawar yang tersimpan dalam tanah Pulau Pramuka menjadi cepat habis. Gejala habisnya cadangan air tanah tawar pada pulau Pramuka terlihat pada saat musim kemarau, masyarakat Pulau Pramuka merasa air tanah yang diambil menjadi sangat asin, berbeda dengan musim hujan, pada musim hujan air tanah cenderung tawar. Hal ini terjadi pada pulau kecil seperti Pulau Pramuka akibat karakteristik hidrologi yang sangat berbeda daripada pulau besar seperti Pulau Jawa (Falkland, 1991).



Gambar 1. Lensa air tanah (Falkland, 1993)

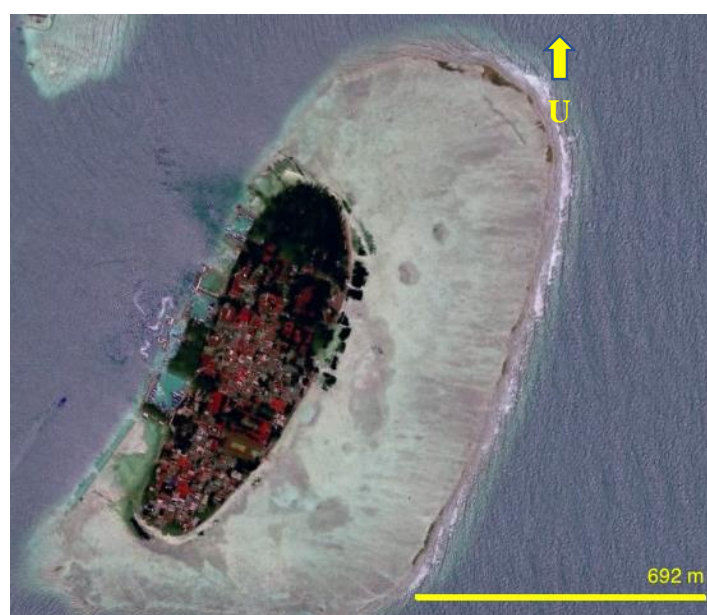
Menurut Falkland (1991), pulau kecil yang memiliki luas kurang dari 2.000 km² memiliki jumlah tangkapan hujan yang sedikit. Selain itu pulau kecil umumnya memiliki ketinggian daratan yang rendah sehingga tidak dapat mengumpulkan awan yang memicu hujan, dengan demikian curah hujan di daerah pulau-pulau kecil juga menjadi relatif rendah

dibandingkan kawasan pulau utama yang memiliki gunung berapi. Cadangan air tanah tawar pada pulau kecil umumnya terdapat dalam bentuk lensa air tanah. Lensa air tanah ini sendiri sangat dipengaruhi oleh faktor intrusi air laut. Kondisi yang mempengaruhi besaran lensa air tanah ini antara lain adalah: Material penyusun, Luas pulau, topografi, curah hujan dan kondisi perairan sekitar pulau kecil. Interaksi lensa air tanah dengan air laut dapat dilihat pada Gambar 1

Asinnya air tanah Pulau Pramuka pada saat musim kemarau diduga disebabkan oleh pada musim kemarau laju pengisian air tawar menjadi sangat lambat akibat rendahnya curah hujan. Namun laju pengambilan tanah untuk keperluan masyarakat dan wisatawan tidak berkurang. Hal tersebut menyebabkan air tanah pada lensa air tawar habis dan diisi oleh air asin hasil dari intrusi air laut (Holding dan Allen, 2016).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian di lakukan di Pulau Pramuka, salah satu pulau yang berada pada gugusan Kepulauan Seribu (Gambar 3). Secara geografis pulau ini terletak pada $5^{\circ}44'44''\text{LS}$ $106^{\circ}36'49''\text{BT}$. Secara administratif pulau ini merupakan pusat administrasi dan pemerintahan Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu. Pulau Pramuka termasuk ke dalam Kelurahan Pulau Panggang. Pulau ini memiliki luasan sekitar 16 hektar. Pulau Pramuka di pilih sebagai lokasi studi karena pulau ini merupakan salah satu pulau dengan populasi terpadat dan salah satu pulau tujuan utama wisata bahari di kawasan Kepulauan Seribu.



Gambar 3. Pulau Pramuka (Google earth, 2017).

Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data cuaca Kepulauan Seribu. Data sekunder di dapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Dikarenakan data cuaca di Kepulauan Seribu tidak tersedia, maka digunakan data dari stasiun cuaca terdekat, yaitu stasiun Tanjung Priuk, Jakarta Utara. Selain itu, digunakan data curah hujan dari stasiun Soekarno Hatta dan stasiun Kemayoran untuk melengkapi data hujan stasiun Tanjung Priuk yang hilang. Data rancangan instalasi *reverse osmosis* didapat dari Dinas Tata Air Kepulauan Seribu

Melengkapi Data Curah Hujan

Untuk menghitung neraca air tanah dengan akurat, dibutuhkan data curah hujan harian yang lengkap. Untuk itu diperlukan pendekatan untuk menghitung data curah hujan yang hilang, salah satunya dengan pendekatan perbandingan normal. Persamaan Perbandingan normal untuk mencari data curah hujan yang hilang sebagai berikut (Wei and McGuinness, 1973) dalam Prawaka, et al., 2016:

$$\frac{Px}{Nx} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{p1}{N1} + \frac{p2}{N2} + \dots + \frac{pn}{Nn} \right\}$$

keterangan:

px = Curah hujan yang dicari

$p1$ = Curah hujan stasiun pembanding ke 1

$p2$ = Curah hujan stasiun pembanding ke 2

pn = Curah hujan stasiun pembanding ke n

n = Jumlah stasiun pembanding

$N1$ = Curah hujan tahunan pada stasiun pembanding ke 1

$N2$ = Curah hujan tahunan pada stasiun pembanding ke 2

Nn = Curah hujan tahunan pada stasiun pembanding ke n

Penghitungan Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial (PE) adalah potensi untuk terjadinya proses evaporasi dan transpirasi pada area tertentu. Nilai evapotranspirasi ini diukur dari volume kehilangan air per satuan luasan, sehingga memiliki satuan satu dimensi seperti curah hujan. Umumnya satuan

evapotranspirasi adalah mm. Nilai PE dapat dihitung melalui pendekatan indeks panas yang dikemukakan oleh Thornthwaite, formula untuk menghitung PE adalah (Tatas, et al, 2015):

$$PE = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

keterangan:

T = temperatur rata-rata bulanan

I = merupakan indeks panas selama setahun

a = merupakan nilai tetapan berdasarkan nilai I

Perhitungan nilai I dan a dapat diformulasikan dengan dua persamaan berikut:

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 77 \times 10^{-6} \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_i}{5} \right]^{1,5}$$

keterangan:

T_i = suhu rata-rata satu bulan

Akumulasi Potensi Kehilangan Air (APWL)

Nilai akumulasi potensi kehilangan air tanah adalah nilai akumulasi bulanan dari selisih presipitasi dan evapotranspirasi potensial (P – PE) atau ΔS. Pada bulan-bulan kering atau (P<PE) dilakukan dengan cara menjumlahkan nilai selisih ΔS setiap bulan dengan nilai bulan sebelumnya. Sedangkan pada bulan-bulan basah (P>PE), maka nilai APWL sama dengan nol (Steenhuis dan Van Der Molen, 1986).

Kelengasan Tanah (ST)

Kelengasan tanah (ST) sangat di pengaruhi oleh nilai presipitasi bulanan. Pada bulan-bulan basah (P>PE), maka nilai ST untuk tiap bulannya sama dengan ST₀ atau jumlah air di di zona perakaran. Sedangkan pada bulan-bulan kering (P<PE), maka nilai ST untuk tiap bulannya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$ST = ST_0 - (APWL / ST_0)$$

keterangan:

ST = kelengasan tanah (mm)

Sto = tebal air maksimum yang dapat tersimpan pada setiap kedalaman lapisan tanah (mm)

APWL = akumulasi potensial kehilangan air tanah (mm/bulan)

Evapotranspirasi Aktual (AE)

Nilai Evapotranspirasi aktual didapat dengan cara menentukan bulan basah dan bulan kering terlebih dahulu. Pada bulan-bulan basah ($P > PE$), maka nilai $AE = PE$. Pada bulan-bulan kering ($P < PE$), maka nilai Evapotranspirasi aktual dapat dihitung dengan formula:

$$AE = P + \Delta ST$$

keterangan:

$$\Delta ST = ST \text{ bulan ke } i - ST \text{ bulan ke } (i - 1)$$

Surplus (Perkolasi) dan Defisit

Perhitungan surplus hanya dilakukan pada bulan-bulan basah. Saat nilai surplus negatif, maka pada bulan tersebut dianggap tidak terjadi surplus atau perkolasi. Nilai surplus (S) atau kelebihan lengas tanah yang terjadi dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Steenhuis dan Molen, 1986):

$$S = (P - PE) - \Delta ST$$

Defisit atau kekurangan lengas tanah yang terjadi didapat dengan menghitung selisih antara PE dengan AE . Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan di bawah ini :

$$D = PE - AE$$

Analisis Indeks Lengas Tanah

Indeks lengas tanah menurut Thornthwaite (1948) merupakan selisih antara nilai indeks kelembapan dengan indeks kekeringan. Dimana nilai indeks kelembapan adalah perbandingan surplus dengan evapotranspirasi potensial (EP), sedangkan indeks kekeringan adalah perbandingan defisit dengan EP . Perhitungan Indeks Lengas dapat dilakukan dengan persamaan di bawah ini:

$$Ia = (D/PE) \times 100$$

$$Ih = (S/PE) \times 100$$

$$Im = Ih - 0,6 Ia$$

keterangan:

Ia = indeks kekeringan bulanan (%)

Ih = indeks kelembapan (%)

Im = indeks lengas tanah (%)

D = defisit (mm/bulan)

S = Surplus

PE = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

Tebal Lensa Air Tanah dan *Sustainable Yield*

Tebal lensa air tanah rata-rata dihitung dengan model aljabar yang dibuat spesifik untuk pulau-pulau kecil, yang menghitung ketebalan lensa sebagai fungsi dari recharge tahunan R (m/tahun), Konstanta holocene quifer K (m/hari), lebar pulau (m) dan kedalaman kontak lapisan holocene-pleistocene, yang berperan sebagai faktor pembatas dari ketebalan lensa air. Bailey et al (2009) membuat model aljabar untuk memodelkan tebal lapisan lensa air tanah dengan persamaan dibawah ini:

$$Z_{max} = Z_{lim} (1 - e^{-br}) SC$$

keterangan:

Z_{max} = Tebal maksimal akifer (m)

b = Model fitting berdasarkan lebar pulau

r = recharge

S = Parameter konduktivitas akifer

C = Parameter lapisan Karang

Nilai Z_{lim} merupakan nilai maksimal dari nilai Z_{max} yang dipengaruhi oleh lebar pulau dan kedalaman lapisan Holocene-Pleistocene yang dapat di formulasikan menjadi:

$$Z_{lim} = Y_0 + (Z_{HP} - Y_0) (1 - e^{-dw})$$

keterangan:

w = Lebar pulau

Y_0 = Konstanta sebesar -16,07

d = Konstanta sebesar 0,0075

Perhitungan *sustainable yield* dihitung dari nilai *recharge* (surplus) dari hasil perhitungan neraca air. Volume air tanah yang dapat di ekstraksi secara berkelanjutan (*sustainable yields*) adalah sekitar 30% dari total volume recharge. Untuk penghitungan volume *recharge* dihitung dengan mengalikan nilai surplus yang didapat dari perhitungan neraca air tanah

dengan luasan pulau yang memungkinkan terjadinya infiltrasi (Bailey et al., 2014).
Persamaan untuk mendapatkan nilai debit *recharge* diformulasikan dengan:

$$Q \text{ recharge} = (S \times A) - SR$$

$$SR = S \times A \times C$$

Keterangan:

$Q \text{ recharge}$ = Debit *recharge* dari lensa air tanah (m^3)

S = Surplus (m)

A = Luas area tangkapan (m^2)

SR = *runoff* permukaan

C = Koefisien runoff

HASIL DAN PEMBAHASAN

Neraca air alami

Nilai Surplus dalam neraca air alami dapat dihitung dengan menghitung selisih nilai presipitasi dengan evapotranspirasi aktual. Berdasarkan hasil perhitungan neraca air tanah (gambar 4), terlihat bahwa surplus air tanah dalam jumlah besar terjadi saat curah hujan bulan tertentu jauh melebihi nilai evapotranspirasinya. Ini terlihat pada tahun 2016 dan tahun 2015, kedua tahun tersebut memiliki curah hujan tahunan yang tidak berbeda signifikan. Curah hujan tahun 2016 adalah 2.167 mm dan curah hujan tahun 2015 adalah 2.173 mm Namun nilai surplus tahun 2015 lebih besar 2,4 kali lipat daripada tahun 2016. Hal ini disebabkan oleh curah hujan tahun 2015 terkonsentrasi pada bulan januari dan februari, sedangkan pada tahun 2016 curah hujan tersebar merata. Hal ini disebabkan oleh tahun yang memiliki curah hujan tersebar merata sepanjang tahun akan memiliki nilai evapotranspirasi aktual yang lebih besar.

Berdasarkan perhitungan nilai defisit, tahun yang memiliki defisit akumulatif terbesar adalah tahun 2015 dan 2012, dengan nilai masing-masing adalah 1.197 dan 1.125 mm. Nilai defisit yang besar pada kedua tahun tersebut diprediksi terjadi akibat adanya anomali iklim yang terjadi pada kedua tahun tersebut. pada tahun 2012 juga merupakan tahun dimana terjadi anomali panas ekstrim di belahan bumi bagian utara. Tahun 2012, tercatat merupakan tahun la nina terpanas yang tercatat oleh NOAA (NOAA, 2012). Panasnya belahan bumi utara ini diprediksikan menjadi penyebab rendahnya curah hujan di Indonesia pada tahun

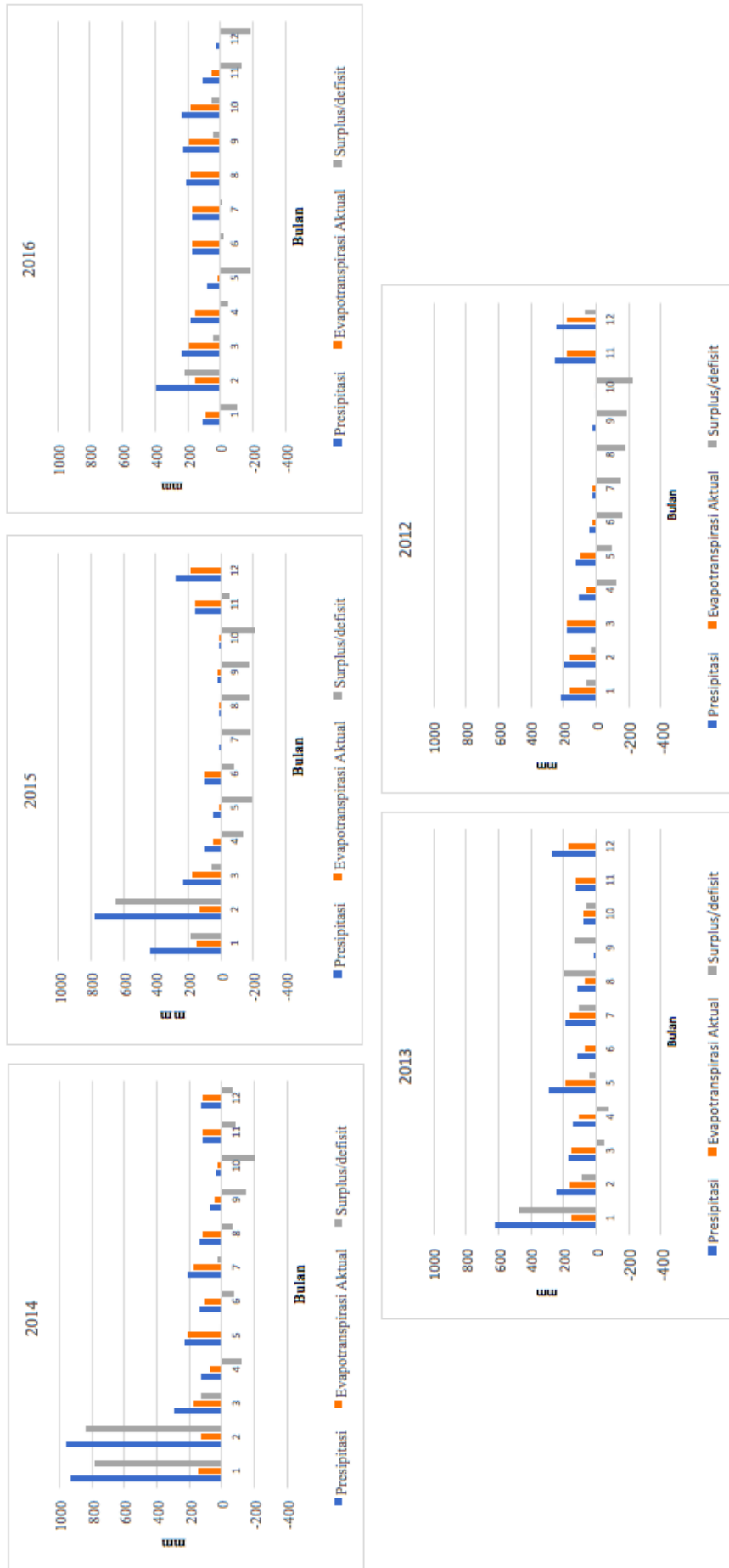
2012. Sedangkan pada tahun 2015 terjadi siklus el nino sangat kuat yang membuat daerah indo-pasifik menjadi lebih kering daripada tahun-tahun lainnya (Ggwheather, 2018).

Berdasarkan hasil perhitungan indeks lengas pada tahun 2012-2016 (Tabel 1.), Pulau Pramuka umumnya berada dalam kategori *Subhumid* (C1 dan C2). Berdasarkan indeks lengas ini juga terlihat bahwa pada kondisi alami, Pulau Pramuka sudah memiliki sumberdaya air tanah yang terbatas. Hanya pada tahun 2014 yang memiliki kategori indeks lengas yang masuk kategori *Humid*. Pada tahun 2012, bahkan Pulau Pramuka memiliki kategori *semiarid*.

Tabel 1. Indeks Lengas

Tahun	Indeks Kelembapan	Indeks kekeringan	Indeks Lengas	Kategori Indeks Lengas
2016	16,41	29,75	-1,44	C2 Dry Subhumid
				C1 Moist
2015	40,67	54,64	7,89	Subhumid
2014	80,50	34,82	59,61	B2 Humid
				C1 Moist
2013	28,25	34,48	7,56	Subhumid
2012	7,34	51,32	-23,45	D Semiarid

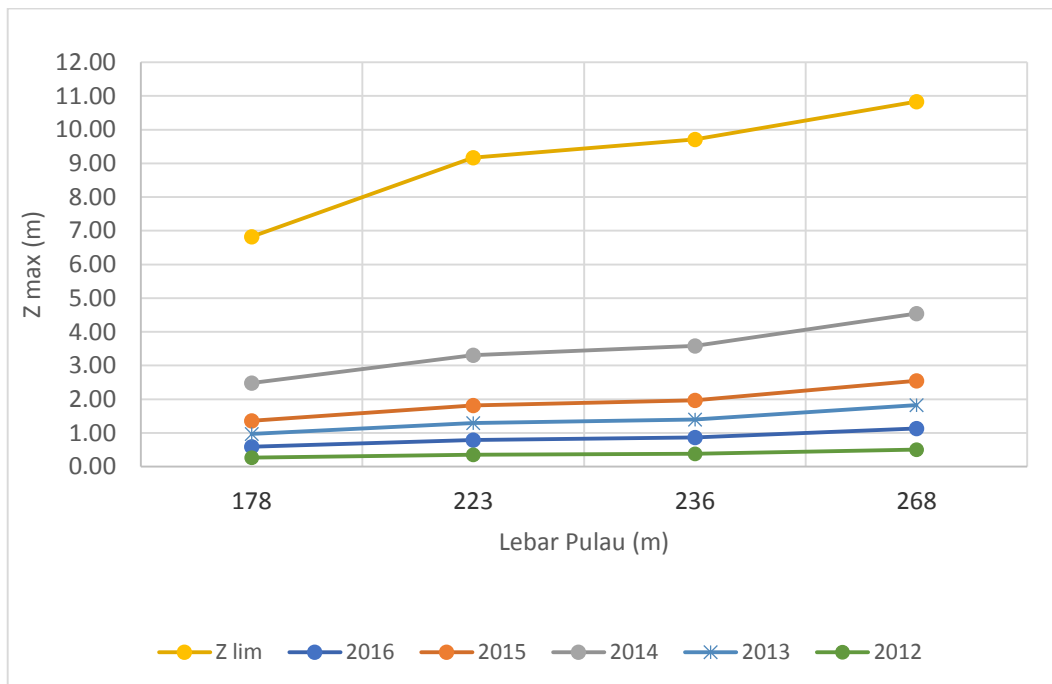
Hasil indeks lengas tahun 2012 yang berada dalam kategori *semiarid* kemungkinan disebabkan oleh anomali iklim global yang terjadi pada tahun 2012. Pada tahun 2013, 2015 dan 2015 kategori *subhumid* mengindikasikan bahwa Pulau Pramuka memiliki sumberdaya air alami yang terbatas. Untuk itu perlu adanya upaya untuk menambahkan pasokan air tawar untuk memenuhi kebutuhan masyarakat asli dan wisatawan Pulau Pramuka.



Gambar 4. Neraca Air Pulau Pramuka

Ketebalan Lensa Air Tanah dan Sustainable Yields

Analisis ketebalan lensa air tanah dilakukan untuk memprediksi kuantitas air tawar pada lensa air tanah yang berada di Pulau Pramuka. Ketebalan lensa air tanah dilakukan menggunakan model aljabar yang di formulasikan oleh Bailey et al., 2009. Analisis ketebalan lensa air tanah ini berguna untuk melihat potensi jumlah air tawar yang dapat ditampung lensa air tanah di Pulau Pramuka dan bagaimana ketebalan lensa air tanah tersebut dalam lima tahun terakhir. Hasil analisis ketebalan lensa air tanah dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Ketebalan Lensa Air Tanah

Berdasarkan perhitungan ketebalan lensa air, berdasarkan karakteristiknya, Pulau Pramuka berpotensi dapat menyimpan air tawar dalam bentuk lensa air dengan ketebalan maksimal (Z_{lim}) diantara 7 sampai 11 meter. Nilai ketebalan maksimal tersebut masih jauh lebih tinggi daripada nilai ketebalan air tanah maksimal pada jangka waktu tahun 2012-2016. Tahun 2014 yang merupakan tahun dengan nilai *recharge* tertinggi dengan demikian, tahun 2014 memiliki ketebalan maksimal (Z_{max}) yang paling tinggi daripada tahun lainnya, meskipun demikian ketebalan pada pada tahun 2014 tidak sampai setengah dari nilai kedalaman maksimal

Berdasarkan hasil perhitungan ketebalan lensa air tanah, terlihat bahwa ketebalan lensa air di Pulau Pramuka dalam 5 tahun terakhir jauh dari kapasitas maksimum. Nilai sustainable yields menurut Bailey et al., (2014) adalah 30% dari volume *recharge* air tanah. Ketebalan

lensa air tanah yang masih jauh dari kapasitas maksimal, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa seluruh surplus air tanah dapat masuk mengisi lensa air tanah.

Berdasarkan hasil penghitungan dengan bantuan google earth, didapat luas area hijau sebesar 30% dari luas total. Nilai 30% kawasan hijau ini sudah sesuai PERMEN Kelautan dan Perikanan no 17 tahun 2008 tentang kawasan konservasi di daerah pesisir dan pulau kecil. Yang menyatakan bahwa pada setiap pulau kecil, harus terdapat minimal 30% area hijau yang berfungsi sebagai area resapan. Nilai *run-off* pada area padat penduduk diasumsikan sebesar 0,6 sedangkan pada area hijau sebesar 0,1 (Waterboard, 2011). Nilai *run-off* cenderung rendah karena karakteristik Pulau Pramuka memiliki tanah berupa pasir dan memiliki kontur yang datar. Pasir yang memiliki nilai porositas yang tinggi membuat air mudah untuk infiltrasi kedalam tanah. Nilai volume surplus berguna untuk menghitung nilai *sustainable yields* yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Sustainable Yields

Tahun	Curah Hujan (mm)	Surplus (mm)	Volume surplus (m ³)	Sustainable Yield (m ³)	<i>sustainable yield</i> harian (m ³)
2016	2.167	369	32.505	9.751	26
2015	2.173	891	78.442	23.532	64
2014	3.371	1.776	156.350	46.905	128
2013	2.392	616	54.225	16.267	44
2012	1.420	160	14.161	4.248	11

Perhitungan Defisit Air Tanah

Perhitungan proyeksi kebutuhan air tawar Pulau Pramuka dilakukan untuk menentukan kekurangan jumlah air tawar alami yang tersedia di Pulau Pramuka. Kebutuhan air tawar di Pulau Pramuka secara umum dapat dibagi menjadi dua, yaitu kebutuhan air bagi warga asli Pulau Pramuka dan kebutuhan air untuk wisatawan. Proyeksi penambahan warga mengikuti laju pertumbuhan penduduk Kepulauan Seribu yaitu 2% pertahun (Pulau Seribu Dalam Angka, 2016). Kebutuhan air warga lokal dihitung berdasarkan standar minimal kebutuhan air dari kementerian pekerjaan umum, yaitu sebesar 90L/Kapita/ hari untuk kota kecil (Permen PU, 2010). Nilai Tersebut di gunakan karena meskipun Pulau Seribu termasuk kedalam Ibukota Jakarta yang merupakan kota metropolitan, namun sebagai daerah kepulauan,

konsumsi air umumnya lebih rendah dari daerah pulau utama. Kebutuhan air wisatawan diasumsikan lebih kecil dari warga lokal yaitu sebesar 60L/kapita/hari.

Proyeksi kebutuhan air tawar Pulau Pramuka dihitung dengan mengalikan proyeksi jumlah warga dan wisatawan dengan kebutuhan air perkapita. Jumlah rata-rata wisatawan harian dihitung dengan menjumlahkan total wisatawan yang datang pada satu tahun, kemudian dibagi dengan jumlah hari tahun tersebut. Jumlah wisatawan di prediksi tumbuh sebanyak 10% pertahun. Pertumbuhan jumlah wisatawan diasumsikan berhenti saat jumlah wisatawan mencapai lebih dari 900 orang/hari, karena keterbatasan lahan Pulau Pramuka untuk menampung wisatawan.

Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan air dan hasil perhitungan *sustainable yield*, terlihat bahwa air dari lensa air tanah tidak akan mencukupi kebutuhan air total Pulau Pramuka. Sebagai contoh pada tahun 2016, terdapat defisit air sebanyak 182 m³ per hari. Untuk itu, perlu adanya sumber air lain yang dapat memenuhi kebutuhan air warga dan wisatawan secara berkelanjutan. Nilai Defisit Air Tanah Pulau Pramuka dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Defisit Air Tanah Pulau Pramuka

Tahun	<i>sustainable yield</i> harian (m³/hari)	Kebutuhan air masyarakat (m³/hari)	Kebutuhan air wisatawan (m³/hari)	Kebutuhan air total (m³/hari)	Defisit air tanah (m³/hari)
2016	26	155	40	195	169
2015	64	152	36	188	124
2014	128	149	33	182	64

Perencanaan Instalasi *Reverse Osmosis* Pulau Pramuka

Dalam menentukan kapasitas instalasi *reverse osmosis* (RO) yang akan dibuat, digunakan data proyeksi kebutuhan air masyarakat dan wisatawan dalam dua puluh tahun kedepan. Proyeksi kebutuhan air selama dua kedepan tahun dibutuhkan akar instalasi RO yang dibuat dapat memenuhi kebutuhan air minimal selama 15 tahun setelah instalasi selesai dibangun. Kapasitas produksi instalasi RO merupakan selisih antara kebutuhan air pada tahun 2027 dengan nilai *sustainable yield* pada tahun 2016. Nilai *sustainable yield* harian pada tahun 2016, digunakan karena dianggap sebagai kondisi saat kondisi air Pulau Pramuka

kurang melimpah. Kapasitas Produksi RO yang perlu dibangun untuk memenuhi kebutuhan air tawar Pulau Pramuka adalah 226 m³/hari

Evaluasi Rancangan Instalasi Reverse Osmosis

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang di lakukan di Pulau Pramuka, saat ini Pulau Pramuka telah memiliki instalasi RO skala kecil dengan kapasitas produksi sebesar 2,1m³/jam. Instalasi ini hanya beroperasi selama 10 jam per hari, sehingga jumlah air yang dihasilkan perhari adalah 21 m³. Nilai kapasitas produksi ini masih jauh dibawah nilai defisit pada tahun 2016, yaitu sebesar 169 m³ pada tahun 2016. Selain masalah kekurangan kapasitas produksi, harga jual air dari instalasi RO ini tergolong mahal, yaitu sebesar Rp 3.000,00 per kemasan 18 liter, atau sebesar Rp 167.000 per m³.

Pemerintah DKI Jakarta melalui dinas tata air Kepulauan Seribu telah berencana untuk membangun instalasi RO untuk melayani kebutuhan air di Pulau Pramuka. Instalasi RO direncanakan akan dibangun tepat di pinggir pantai di daerah utara Pulau Pramuka. Penempatan instalasi RO di pinggir pantai bertujuan untuk memudahkan akses terhadap sumber *feed water* yaitu air laut. Skema rancangan instalasi RO yang akan dibuat di Pulau Pramuka menggunakan rancangan RO satu tingkat. Instalasi RO ini menggunakan input *feed water* sebanyak 32 m³/jam untuk dapat memproduksi air tawar sebanyak 10 m³/jam atau 240 m³/hari. Dengan demikian instalasi ini memiliki efisiensi sekitar 31%. Desain instalasi RO tersebut dapat dilihat pada gambar 6.

Secara umum spesifikasi instalasi RO yang direncanakan akan dipasang di Pulau Pramuka didesain untuk dapat mengatasi salinitas ekstrim yaitu dengan kadar *total dissolved solid* (TDS) sebesar 48.000 ppm (Pure Aqua, 2016). Nilai input TDS sebesar 48.000 ppm merupakan nilai yang sangat besar, mengingat kandungan salinitas air laut berkisar pada angka 35.000 ppm. Instalasi ini dapat menurunkan TDS hingga hanya 0,5% TDS awal yang tersisa (Pure Aqua, 2016), dengan demikian kualitas output instalasi ini berkisar antara 350-480 ppm TDS. Nilai TDS tersebut merupakan nilai layak konsumsi menurut Peraturan Menteri Kesehatan Tahun 2010, yang menentukan standar TDS air layak minum adalah ≤ 500 ppm.

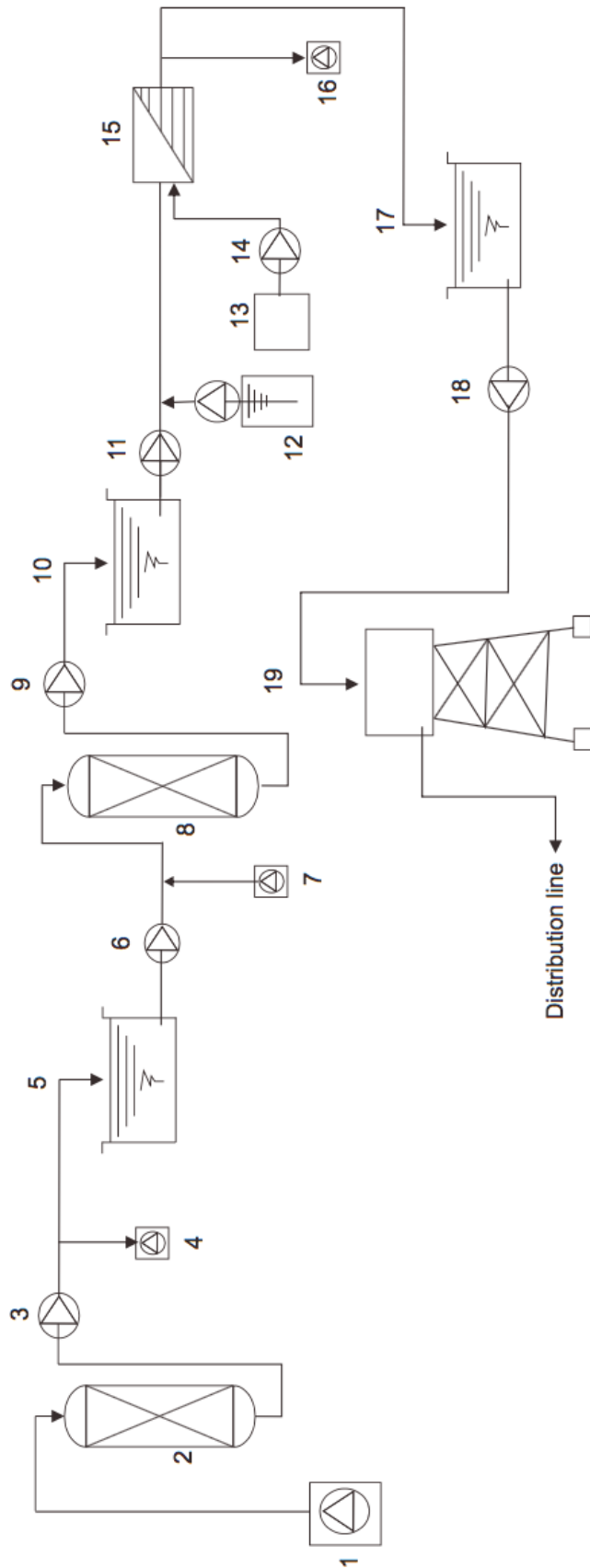
Dari segi kuantitas instalasi RO yang akan dibuat akan menggunakan input *feed water* sebanyak 32 m³/jam untuk dapat memproduksi air tawar sebanyak 10 m³/jam. Nilai produksi sebanyak 10 m³/jam atau 240 m³/hari ini cukup untuk melayani kebutuhan air Pulau Pramuka yang mencapai 226 m³/hari pada tahun 2027. Dengan demikian instalasi RO ini masih dapat

memenuhi kebutuhan masyarakat dan wisatawan bahkan beberapa tahun setelah tahun 2027, dengan asumsi masyarakat Pulau Pramuka masih menggunakan air tanah dalam jumlah yang terbatas untuk sebagian kecil kebutuhan konsumsi air mereka.

Konsumsi Energi dan Biaya Produksi Air *Reverse Osmosis*

Biaya investasi awal didapat dari dokumen Dinas Tata Air Kepulauan Seribu (Lampiran 3). Untuk biaya perawatan instalasi RO, digunakan nilai 10% dari biaya alat-alat RO, karena alat-alat seperti filter multimedia dan membran RO harus di ganti secara teratur. Untuk kebutuhan oprator instalasi RO, karena instalasi ini akan bekerja selama 24 jam dalam sehari, maka dibutuhkan enam orang pekerja, untuk mengoprasikan instalasi RO ini dengan system *shift*. Gaji pegawai dianggap sama dengan UMR DKI Jakarta yaitu sebesar Rp 3.650.000 dan digaji sebanyak 13 kali dalam setahun. Penggunaan energi reverse osmosis dilakukan dengan menjumlahkan konsumsi energi dari setiap unit pengolahan RO, mulai dari *feed pump* sampai dengan *transport pump*, tarif dasar listrik diasumsikan adalah Rp 1.500/kWh.

Dalam menghitung prediksi biaya air yang harus dibayar oleh masyarakat, perlu dilakukan perhitungan *Nett Present Value* dari nilai investasi awal yang dilakukan. Jika diasumsikan waktu kembalinya investasi atau *return of investment* (ROI) selama 15 tahun, dan diasumsikan suku bunga adalah 6% pertahun (Kontan, 2016), maka harga jual air per m³ adalah sebesar Rp 41.274 (Tabel 4), dengan kenaikan harga setiap tahunnya mengikuti nilai inflasi.



no	Deskripsi	no	Deskripsi
1	Intake Pump, 32 m ³ /jam	11	RO feed pump, 32 m ³ /jam
2	Multimedia filter	12	Antiscalant dosing system
3	Auto Backwash Pump set	13	Break tank, 8 m ³
4	Pre-chlorination dosing system	14	Membrane cleaning system
5	Ground tank, 32 m ³	15	SW RO system, max 42.000 ppm
6	Feed Pump, 32 m ³ /jam	16	Post-Chlorination Dosing System
7	De-Chlorination dosing system	17	Fresh water Ground tank, 250m ³
8	Multimedia filter	18	Transfer Pump 10 m ³ /jam
9	Auto Backwash Pump set	19	Distribution Tower, cap 25 m ³
10	Ground tank, 32 m ³		

Gambar 6. Skema Rancangan Instalasi RO (Dinas Tata Air Kepulauan Seribu, unpublished)

Tabel 4. Perhitungan Harga Jual Air dengan ROI 15 tahun

Item	Satuan	Jumlah
Investasi Setelah 15 Tahun	Rp	29.317.900.100
Total Biaya Operasional Selama 15 Tahun	Rp	24.916.306.988
Total Biaya	Rp	54.234.207.087
Total Air Diproduksi	m ³	1.314.000
Harga Jual Air	Rp/m ³	41.274

Harga jual air sebesar Rp 41.274/m³ meskipun jauh lebih murah daripada harga jual air dari instalasi RO eksisting, nilai ini masih tergolong sangat mahal jika dibandingkan harga air bersih standar PDAM. PDAM memiliki harga jual air bersih sebesar Rp 7.450 m³ untuk keluarga dengan penghasilan menengah dan Rp 9.800 untuk rumah tangga dengan penghasilan di atas menengah (Pamjaya, 2018). Jika air instalasi ini dijual dengan harga Rp 41.274/m³, diprediksi hanya sedikit masyarakat lokal yang dapat menggunakannya untuk kebutuhan sehari-hari.

Untuk menentukan harga jual air dengan subsidi, diasumsikan biaya investasi awal sepenuhnya merupakan subsidi pemerintah, dan biaya operasional dan perawatan ditanggung oleh masyarakat. Biaya operasional harus sepenuhnya ditanggung oleh masyarakat agar instalasi RO dapat berjalan secara berkelanjutan. Prediksi harga jual air dengan subsidi per m³ dapat dihitung dengan membagi jumlah dana operasional dalam setahun dengan jumlah air yang diproduksi dalam setahun (Tabel 4), didapat harga dengan pembulatan sebesar Rp 19.000/m³, dengan kenaikan harga mengikuti nilai inflasi pertahun. Angka ini jauh lebih rendah dibandingkan harga instalasi RO eksisting. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rancangan instalasi RO yang baru dapat menjadi solusi keterbatasan sumberdaya air tanah Pulau Pramuka jika biaya investasi awal sepenuhnya merupakan subsidi dari pemerintah.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan neraca air, pada tahun 2016 Pulau Pramuka memiliki nilai surplus sebesar 369 mm dan defisit sebesar 669 mm. Kemudian, berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa nilai sustainable yields dari lensa air tawar lebih kecil dari kebutuhan air total. Pada tahun 2016 Pulau Pramuka mengalami defisit air rata-rata sejumlah 164 m³ per hari. Kapasitas produksi instalasi *reverse osmosis* minimal yang dibutuhkan untuk dapat

menyediakan kebutuhan air tawar Pulau Pramuka sampai dengan tahun 2027 adalah 226 m³/hari. Rancangan instalasi RO yang baru dapat menjadi solusi keterbatasan sumberdaya air tanah Pulau Pramuka jika biaya investasi awal sepenuhnya merupakan subsidi dari pemerintah, dengan harga jual air sebesar Rp 19.000/m³

DAFTAR PUSTAKA

- Bailey, R. T., Abedalrazq Khalil, and Vansa Chatikavanij, 2014. *Estimating Current and Future Groundwater Resources of the Maldives*. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 1-11. DOI: 10.1111/jawr.12236
- Bailey, R.T., J.W. Jenson, and A.E. Olsen, 2009. *Numerical Modeling of Atoll Island Hydrogeology*. Ground Water 47:184-196.
- Falkland, C.A. 1991. *Hydrology and Water Resources of Small Island: Practical Guide*. Paris: UNESCO
- Ggweather. 2018. El Nino and La Nina Years and Intensity Based on Oceanic Nino Index (ONI). Diakses dari: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Hartanto P dan Saifudin. 2005. *Neraca Air Pulau Bandanaira Untuk Pengembangan Turisme*. Pusat Penelitian Geoteknologi. LIPI
- Holding Shanon, Allen Diana M. 2015. *Risk to Water Security for Small Islands: an Assessment Framework and Application*. Reg Environ Change. 16:827-839
- NOAA (National Centers for Environmental Information). 2013. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2012. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201213>.
- Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia no. 17 tahun 2008. Tentang Kawasan Konservasi di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Diakses dari: http://www.ppk-kp3k.kkp.go.id/ver3/media/download/RE_peraturan-menteri-kelautan-dan-perikanan-republik-indonesia-nomor-per-17-men-2008_20141008122744.pdf
- PERMEN Kesehatan no. 492 tahun 2010. Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Diakses dari: <http://jdih.pom.go.id/showpdf.php?u=R9vxhoRBxgsoPFkrhfxbkIzG%2FdAaVxpnuXLlTHo%2Fcg%3D>
- Prawaka Fanny, Zakaria Ahmad, dan Tugiono Subuh. 2016. *Analisis Data Curah Hujan yang Hilang Dengan Menggunakan Metode Normal Ratio, Inversed Square Distance, dan Rata-Rata Aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung)* JRSDD, Edisi September 2016, Vol. 4, No. 3, Hal:397 – 406 (ISSN:2303-0011)
- Pure Aqua. 2016. Industrial Sea Water RO Systems. Diakses dari: <https://www.pureaqua.com/content/pdf/industrial-seawater-reverse-osmosis-desalination-systems.pdf>
- Rahmayanti, A. E., & Soewondo, P. (2015). PENYEDIAAN AIR MINUM DI DAERAH PESISIR KOTA BANDAR LAMPUNG MELALUI RAINWATER HARVESTING. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 115-126.
- Steenhuis T.S., Molen W.H.Van Der. 1986 *The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge* *Journal of Hydrology*. Volume 84, Issues 3–4, 30 May 1986, Pages 221-229

- Tatas, Agung Budipriyanto, Mohamad Khoiria , Wien Lestari , Askur Rahman. 2015. Study on water balance in Poteran – a small island in East Java, Indonesia.
- Thornthwaite C. W.. 1948. *An Approach toward a Rational Classification of Climate*. Geographical Review, Vol. 38, No. 1. pp. 55-94.
- Todd, D.K. (1980). *Groundwater Hydrology, Second Edition*. Wiley. New York
- Waterboard. 2012. The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board. Diakses dari:
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs

