

# Analisis Perbandingan Pola Pasokan Air Bersih di Wilayah Kepulauan

Gede Wahyu Yoga Dana, S.T., I.G.N. Sumanta Buana, S.T., M.Eng.  
Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS  
E-mail : gwyd@na.its.ac.id

## ABSTRAK

Di Kepulauan Seribu kebutuhan air bersih tidak dapat sepenuhnya dipenuhi sendiri. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan air bersih di wilayah tersebut, Pemerintah Daerah DKI Jakarta mengoperasikan alat desalinasi air laut. Namun penggunaan peralatan desalinasi tersebut dianggap tidak optimal karena harus dibangun di tiap-tiap pulau sehingga diusulkan penggunaan kapal desalinasi air laut.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis model pasokan air bersih yang paling sesuai di wilayah Kepulauan Seribu, yaitu dengan menggunakan alat desalinasi darat (*shore plant*), menggunakan kapal desalinasi air laut (*floating plant*), atau kombinasi keduanya. Untuk perencanaan rute operasi kapal desalinasi air laut digunakan konsep *travelling salesman problem* (TSP). Selanjutnya, beberapa model operasi dikembangkan berdasarkan kombinasi jumlah *shore plant* dan *floating plant* serta pola operasinya. Pada Tahap akhir optimisasi, digunakan model optimisasi *binary integer programming* (BIP) untuk pemilihan model pasokan dengan biaya paling minimum.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi *shore plant* dan *floating plant* menghasilkan biaya minimum untuk memproduksi air minum sebesar Rp32.164. Biaya ini 26% lebih rendah bila dibandingkan dengan penggunaan *floating plant* seluruhnya dan 3% lebih rendah bila dibandingkan dengan menggunakan *shore plant* seluruhnya. Sedangkan *unit cost* untuk memproduksi air bersih adalah Rp28.709/m<sup>3</sup>. Biaya ini 11% lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi air minum.

**Kata kunci:** Desalinasi, Shore Plant, Floating Plant, TSP, BIP

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini, proses produksi air bersih yang dapat diminum telah menjadi perhatian dunia untuk memenuhi peningkatan populasi dan kebutuhan air bersih yang melebihi persediaan sumber air minum konvensional. Lebih dari 1 miliar orang hidup tanpa persediaan air bersih dan sekitar 2,3 miliar orang (41% penduduk dunia) hidup di daerah yang mengalami krisis air (Service, 2006). Sumber air tradisional seperti sungai, danau, dan air tanah digunakan secara berlebihan dan sebagai hasilnya, sumber ini mulai menurun jumlahnya atau menjadi air dengan kadar salinitas tertentu

Di Indonesia, pemenuhan kebutuhan air bersih pada tahun 2004 berdasarkan survei sosial ekonomi Nasional (SUSENAS) hanya sekitar 47% dari jumlah penduduk yang mencakup 51% di daerah perkotaan dan 42%

di daerah pedesaan. Dalam 8 tahun dari 1994 sampai 2002, peningkatan terhadap akses air bersih hanya 10% di daerah pedesaan dan 9% di daerah perkotaan. Dengan mengacu pada data tersebut, pada tahun 2015 diperkirakan hanya sekitar 56% populasi pedesaan yang mendapat akses air bersih, padahal target MDG (*Millenium Development Goals*) untuk semua Negara adalah 73% (Wikipedia, 2010).

Salah satu daerah di Indonesia yang mengalami krisis air bersih adalah Kepulauan Seribu. Di Kepulauan Seribu air bersih merupakan barang langka, apalagi saat musim kemarau tiba. Pasokan air bersih sangat kurang karena wilayah Kepulauan Seribu tidak terjangkau oleh jaringan pipa PDAM Jaya (bukan menjadi tanggungjawab PDAM Jaya) (Presentasi Bupati Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, 2011). Kondisi ini diperparah dengan tidak tersedianya sumber hidrologi permukaan seperti sungai dan mata air sedangkan air

tanah yang ada berasa payau karena telah terinfiltrasi oleh air laut sehingga perlu pengolahan yang lebih lanjut untuk dapat memanfaatkan air tanah tersebut. Saat ini air hujan menjadi alternatif dalam penyediaan air bersih (Marhadiyanto et al, 2009). Padahal, air hujan yang ditadah mengandung banyak zat berbahaya untuk kesehatan, seperti toksin, seng, dan bakteri *ecoli* yang tercampur saat ditadah melalui atap rumah (Berita Pulau Seribu, 2011).

Solusi untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk di wilayah kepulauan adalah menyediakan alat desalinasi di pulau yang berpenghuni. Alat desalinasi dipasang di masing-masing pulau untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk di pulau-pulau tersebut. Cara lain yang dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air adalah dengan mengaplikasikan teknologi desalinasi air laut yang berbasis di tengah laut. Teknologi ini berupa kapal yang dilengkapi dengan instalasi teknologi desalinasi di atas geladaknya. Dengan menggunakan kapal desalinasi air laut, alat desalinasi tidak perlu dibangun di masing-masing pulau karena kapal desalinasi air laut bisa melayani beberapa konsumen sekaligus.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap pola pasokan air bersih di wilayah kepulauan. Pada penelitian ini akan dibahas pola pasokan yang paling layak diterapkan di wilayah kepulauan, yaitu dengan menggunakan kapal desalinasi air laut untuk melayani beberapa konsumen, menggunakan alat desalinasi yang dipasang di masing-masing pulau, atau dengan mengkombinasikan kedua pola pasokan tersebut.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Teori Penunjang

Teori yang dipakai dalam penelitian ini adalah teori peramalan, teori distribusi, teori rute dan penjadwalan menggunakan metode nearest neighbor dan *vehicle routing problem* (VRP), biaya-biaya transportasi laut, *integer linear programming* (ILP), dan *net present value* (NPV). Teori pertama dipakai untuk memperkirakan jumlah kebutuhan air bersih suatu wilayah dalam kurun waktu

tertentu di masa yang akan datang, sedangkan teori yang kedua dipakai untuk menentukan strategi distribusi air bersih, teori ketiga dan kelima dipakai untuk merencanakan pola operasi instalasi desalinasi air laut. Teori keempat digunakan untuk menghitung besarnya biaya-biaya yang timbul akibat pengoperasian kapal desalinasi air laut, sedangkan teori terakhir dipakai untuk menguji kelayakan operasi kapal desalinasi air laut.

#### 2.1.1 Teori Peramalan

Peramalan harus dilakukan untuk memperkirakan jumlah kebutuhan air tawar/minum di wilayah penelitian. Beberapa metode peramalan dapat dipakai untuk maksud tersebut. Secara umum teknik peramalan dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu kuantitatif dan kualitatif. Teknik pertama dipakai bila data angka tersedia sedangkan metode yang kedua sebaliknya, bila tidak tersedia data angka.

Metode yang sesuai ditentukan berdasarkan kondisi data kebutuhan air bersih dalam jangka waktu yang relatif panjang. Kuantitas data dianggap cukup bila dapat menunjukkan perilaku pemakaian air minum dalam waktu yang cukup lama. 15 tahun dianggap dapat mewakili kondisi tersebut. Selain itu kecukupan data akan menentukan ketepatan nilai peramalan. Secara umum, semakin banyak data yang tersedia semakin akurat nilai peramalan yang diperoleh (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999).

#### 2.1.2 Traveling Salesman Problem

TSP pertama kali diperkenalkan oleh Rand pada tahun 1948, reputasi Rand membuat TSP dikenal dengan baik dan menjadi masalah yang populer. TSP merupakan persoalan yang mempunyai konsep sederhana dan mudah dipahami. Pada TSP, optimasi yang diinginkan agar ditemukan rute perjalanan terpendek untuk melewati sejumlah kota dengan jalur tertentu sehingga setiap kota hanya terlewati satu kali dan perjalanan diakhiri dengan kembali ke kota semula. Tujuan yang ingin dicapai dalam hal ini adalah meminimalkan total waktu/biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perjalanan dan memaksimalkan

destinasi yang bisa dikunjungi. Model matematis dari TSP bisa diformulasikan sebagai berikut:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ bila kota } j \text{ dikunjungi dari kota } i \\ 0, \text{ bila tidak} \end{cases} \quad (2.1)$$

Apabila  $d_{ij}$  adalah jarak dari kota  $i$  ke kota  $j$ , model matematika TSP adalah:

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, d_{ij} = \infty \text{ untuk semua } i = j$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.4)$$

$$x_{ij} = (1, 0) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

Pers. (2.2) sampai (2.5) tidak cukup untuk menyelesaikan permasalahan TSP. Xie dan Xue menambahkan batasan (*constraint*) tambahan untuk menghindari *subtours* dalam pers. (2.6).

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1, 2 \leq i \neq j \leq n \quad (2.6)$$

$$u_i \geq 0, i = 2, 3, \dots, n \quad (2.7)$$

$u_i$  adalah urutan tur dari kota  $i$ . Xie dan Xue membuktikan bahwa semua solusi termasuk *subtours* tidak memenuhi kendala dan suatu tur tunggal berkelanjutan dibatasi untuk memenuhi kendala. Sehingga permasalahan TSP diubah menjadi *mixed integer linear programming* (MIP) problem (Jiang, 2010).

### 2.1.3 Biaya-biaya Transportasi Laut

Pengoperasian kapal serta bangunan apung laut lainnya membutuhkan biaya yang biasa disebut dengan biaya berlayar kapal (*shipping cost*) (Stopford, 1997) (Wijnolst, 1997). Secara umum biaya tersebut meliputi biaya modal, biaya operasional, biaya pelayaran dan biaya bongkar muat. Biaya-biaya ini perlu diklasifikasikan dan dihitung agar dapat memperkirakan tingkat kebutuhan pembiayaan kapal untuk kurun waktu tertentu (umur ekonomis kapal tersebut).

### 2.1.4 Binary Integer Programming

Optimisasi pola operasi kapal desalinasi air laut perlu dilakukan dengan memperhatikan biaya pengoperasian (*shipping cost*) terkecil. Skenario pola operasi kapal akan dioptimalkan dengan metode *binary integer programming* (BIP). Variabel *binary* adalah variabel yang hanya mungkin bernilai 0 dan 1. Oleh karena itu, ketika menyatakan suatu keputusan ya atau tidak, variabel keputusan *binary* akan memberikan nilai 1 untuk menyatakan iya dan nilai 0 untuk menyatakan tidak (Hillier & Hillier, 2008). Persamaan matematis BIP adalah sebagai berikut:

$$x_j \begin{cases} 1, \text{ bila opsi } j \text{ dipilih} \\ 0, \text{ bila opsi } j \text{ tidak dipilih} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^n x_j c_j \quad (2.9)$$

Subject to:

$$x_j \text{ adalah } \textit{binary}, \text{ untuk } j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.10)$$

### 2.1.5 Net Present Value

Kegiatan investasi dalam jangka waktu tertentu seperti pengoperasian kapal pemasok air tawar ini perlu dievaluasi kelayakannya. Metode *net present value* (NPV) adalah metode yang biasa digunakan untuk mengevaluasi investasi jangka panjang (lebih dari 10 tahun). NPV adalah mencari nilai terkini (*present value*) kumulatif dari semua nilai yang diperkirakan terjadi di masa depan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besaran NPV tersebut adalah tingkat suku bunga diskonto (*discount interest rate*), lama investasi, serta perbandingan antara penerimaan (*revenue*) dengan pengeluaran (nilai investasi dan biaya-biaya yang terjadi). Kegiatan dapat diterima (dianggap layak) bila NPV bernilai positif (Pujawan I. N., 2009).

## 2.2 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

Teknologi desalinasi telah banyak digunakan di kawasan dimana sumber air tawar di darat sangat kurang. Akan tetapi teknologi ini banyak memiliki kekurangan terutama bila dihubungkan dengan masalah lingkungan dan biaya operasi yang ditimbulkan. Hal ini mengakibatkan selain

menimbulkan kerusakan lingkungan pesisir laut seperti membunuh biota laut juga akan mengakibatkan mahalnya harga jual air yang dihasilkan (Food & Water Watch, 2009). Selain itu, instalasi pengolahan air laut tersebut akan menimbulkan polusi suara bagi warga yang tinggal di sekitarnya (Sadhwania, 2005).

Cara lain yang dianggap lebih efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengaplikasikan teknologi desalinasi air laut baru yang berbasis di tengah laut. Tahun 1983, sebuah kapal yang dilengkapi dengan instalasi desalinasi air laut dioperasikan di sekitar wilayah pesisir Abu Dhabi (Fadel, Wangnick, & Wade, 1983). Kapal ini dapat memasok kekurangan air minum beberapa kota yang ada di wilayah tersebut. Setelah itu, teknologi ini banyak dioperasikan di berbagai tempat di dunia yang memiliki permasalahan pemenuhan kebutuhan air minum. Akan tetapi kapasitas produksi air minum yang dimiliki relatif kecil sehingga hanya dapat dioperasikan di tempat-tempat yang tingkat kebutuhannya rendah.

Teknologi desalinasi yang mula-mula dipakai pada instalasi terapung tersebut adalah *multi stage flash desalination process* (MSF). Teknologi ini relatif sederhana dengan ukuran yang relatif besar. Belakangan, teknologi desalinasi yang lebih efisien dikembangkan dan secara luas dipakai dan perlahan-lahan menggantikan MSF. Teknologi baru tersebut adalah *reverse osmosis* (RO). Biaya operasi RO jauh lebih murah daripada MSF. Hal ini disebabkan karena konsumsi energi RO jauh lebih sedikit daripada MSF. Biaya konstruksi RO relatif lebih murah daripada MSF. Hal ini disebabkan karena ukuran instalasi RO relatif lebih kecil dan ringan daripada MSF. Hal ini juga menyebabkan RO relatif lebih mudah dibangun daripada MSF. Satu-satunya kekurangan yang dimiliki oleh RO adalah mahalnya harga membrane yang merupakan komponen utama dalam instalasi tersebut. Tetapi, hal tersebut dapat diatasi dengan semakin berkembangnya teknologi pembuatan komponen itu.

Untuk memenuhi kebutuhan air bersih dalam jumlah yang besar dan ramah

lingkungan, teknologi RO dan kapal tanker dikombinasikan dan menghasilkan instalasi terapung yang disebut *seawater desalination vessel* (SDV). SDV terkini dikembangkan oleh Water Standart yang mengadopsi teknologi yang sudah lama dipakai untuk kapal-kapal perang dan *cruise* (Water Standard, 2009).

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum tahapan pengerjaan Tugas Akhir ini terdiri dari:

1. Tahap Studi Pendahuluan
2. Tahap Tinjauan Pustaka dan Studi Literatur
3. Tahap Pengumpulan Data
4. Tahap Pengolahan Data
5. Tahap Analisis Data
6. Tahap Perencanaan
7. Tahap Analisis Biaya dan Optimasi
8. Kesimpulan dan Saran

#### 3.1 Tahap Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi mengenai permasalahan dari Tugas Akhir ini. Permasalahan yang timbul adalah terjadinya krisis air bersih di beberapa wilayah kepulauan dan pesisir Indonesia. Untuk mengatasi hal tersebut terdapat dua alternatif solusi yang bisa dilakukan, yaitu dengan membangun pabrik desalinasi air berbasis daratan (*shore plant*), menggunakan kapal desalinasi air laut (*floating plant*) untuk mensuplai beberapa pulau sekaligus, atau dengan mengkombinasikan kedua pola pasokan air bersih tersebut. Oleh karena itu perlu dianalisis bagaimana model pasokan air bersih yang optimal untuk wilayah kepulauan yang mengalami krisis air bersih.

#### 3.2 Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang terkait dengan permasalahan pada tugas ini. Materi-materi yang dijadikan sebagai tinjauan pustaka adalah teknologi desalinasi, teknologi *seawater desalination vessel*, teori peramalan, terminologi jaringan, konsep *traveling salesman problem* (TSP), dan konsep *integer linear programming*. Selain melakukan studi literatur terhadap teori yang

digunakan, juga dilakukan studi terhadap hasil penelitian sebelumnya.

### 3.3 Tahap Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam tugas ini adalah metode pengumpulan data secara langsung (primer), dan tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini. Adapun data - data yang diperlukan antara lain:

1. Statistik Penduduk Kepulauan Seribu 1995-2010
2. Peta Kepulauan Seribu
3. Harga BBM Kapal 2011
4. Data Kapal Pembanding
5. Data Pelabuhan Tanjung Priok
6. Data Alat Desalinasi
7. Data Generator

### 3.4 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data-data yang diperoleh untuk dijadikan sebagai input dalam perhitungan selanjutnya. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui beberapa hal, yaitu:

1. Jumlah Penduduk Kepulauan Seribu dari tahun 1995 sampai tahun 2010
2. Distribusi penduduk Kepulauan Seribu
3. Data teknis kapal pembanding, yaitu DWT, *gross register tonnage*, ukuran utama kapal, dan daya mesin kapal.

### 3.5 Tahap Analisis Data

Pada tahap analisa data dilakukan analisa terhadap dua hal, yaitu proyeksi jumlah penduduk Kepulauan Seribu sepuluh tahun ke depan dan perhitungan kebutuhan air bersih. Dengan mengetahui jumlah penduduk sepuluh tahun ke depan maka dapat diketahui berapa jumlah suplai air bersih yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk Kepulauan Seribu.

### 3.6 Tahap Perencanaan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk mensuplai dan memenuhi kebutuhan air bersih penduduk Jakarta Utara. Perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Konsep operasi kapal desalinasi air laut dan alat desalinasi darat

2. Kombinasi antara penggunaan kapal desalinasi air laut dan desalinasi darat
3. Perencanaan rute dan penjadwalan operasi kapal desalinasi pada masing-masing kombinasi menggunakan model *traveling salesman problem* (TSP).

### 3.7 Analisis Biaya dan Optimasi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya masing-masing kombinasi yang layak sesuai dengan kriteria yang ada. Setelah dilakukan perhitungan biaya maka langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi dengan menggunakan model matematika *binary integer programming*.

### 3.8 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dirangkum hasil analisa dan evaluasi yang didapat dan saran saran untuk pengembangan lebih lanjut.

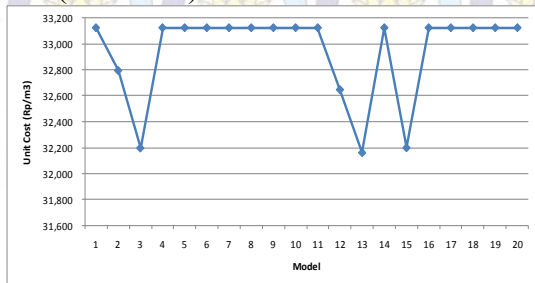
## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengembangan Model Operasi

Hasil perhitungan optimisasi pada masing-masing model disajikan pada **Error! Reference source not found.** Hasil optimum terdapat pada model 6B dengan *unit cost total* untuk produksi air minum (*potable water*) Rp32.165 (**Error! Reference source not found.**). Titik A,B,D,F dilayani *shore plant* dan titik C,E,G,H dilayani *floating plant* dengan rute  $X \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow X$  (**Error! Reference source not found.**) (**Error! Reference source not found.**). Jumlah kapal yang digunakan adalah 1 unit dengan *payload* 1.313 ton dengan kapasitas alat desalinasi 1.440 m<sup>3</sup>/hari.

Optimasi juga dilakukan dengan syarat bahwa seluruh titik harus dilayani dengan menggunakan *floating plant*. Hasilnya adalah *unit cost terkecil*, yaitu Rp43.470 diperoleh dengan mengoperasikan 3 kapal. Kapal 1 mempunyai *payload* 1.991 ton melayani titik A,E dengan rute  $X \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow X$ , kapasitas alat desalinasi yang dipasang adalah 1.680 m<sup>3</sup>/hari dengan frekuensi suplai 2 hari sekali. kapal 2 mempunyai *payload* 2.829 ton, melayani titik B,D,H dengan rute  $X \rightarrow H \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow X$ , kapasitas alat desalinasi yang dipasang adalah 1.680 m<sup>3</sup>/hari, dan

frekuensi suplai 3 hari sekali. Kapal 3 mempunyai *payload* 2.604, melayani titik C,F,G dengan rute X→G→F→C→X, kapasitas alat desalinasi yang dipasang adalah 1.800 m<sup>3</sup>/hari, dan frekuensi suplai 3 hari sekali (Tabel 4.1).



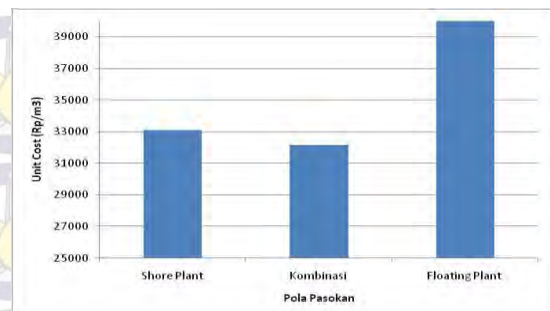
Gambar 4.1. Grafik Masing-Masing Model Terhadap Unit Cost (Rp/m<sup>3</sup>)

Tabel 4.1. Rekapitulasi Hasil Optimasi dengan Seluruh Pulau Dilayani Floating Plant

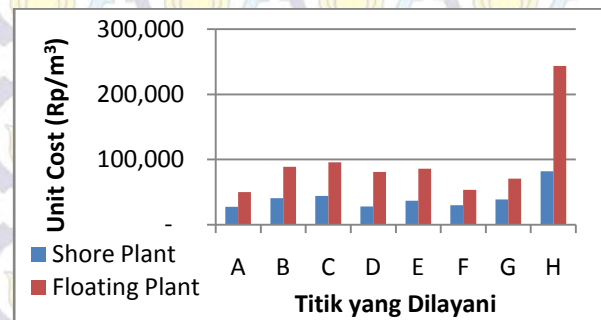
Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3
Model terpilih	12B	13B	13B
Titik yang dilayani	E,A	H,D,B	G,F,C
Rute	X-E-A-X	X-H-D-B-X	X-G-F-C-X
Payload (ton)	1.991	2.829	2.604
Kapasitas Alat Desalinasi (m <sup>3</sup> /hari)	1.680	1.680	1.800
Frekuensi Suplai (hari)	2	3	3
Port Time (jam)	9,24	12,68	12,38
Sea Time (jam)	38,52	58,10	59,04
TRT (jam)	47,76	70,78	71,42
Trip/Year	175	117	117
Unit Cost (Rp/m <sup>3</sup> )	38.761	48.166	43.470
Unit Cost (Rp/m <sup>3</sup> mil)	0,035	0,043	0,038
Unit Cost Total (Rp/m <sup>3</sup> )			43.470

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan antara pola pasokan air dengan menggunakan *shore plant*, *floating plant*, dan kombinasi antara keduanya. Dapat dilihat bahwa dengan mengkombinasikan *shore plant* dan *floating plant* diperoleh *unit cost* terkecil dengan perbandingan 26% lebih rendah daripada penggunaan *floating plant* seluruhnya dan 3% lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *shore plant* seluruhnya.

Dari beberapa variasi skenario model operasi diperoleh pola bahwa kapal desalinasi air laut lebih kompetitif apabila mensuplai lebih dari satu pulau. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3. Jika *floating plant* digunakan hanya untuk mensuplai 1 titik saja maka *unit cost* (Rp/m<sup>3</sup>) akan menjadi sangat mahal. Rata-rata *unit cost shore plant* 54% lebih murah daripada penggunaan *floating plant* untuk mensuplai satu titik saja.

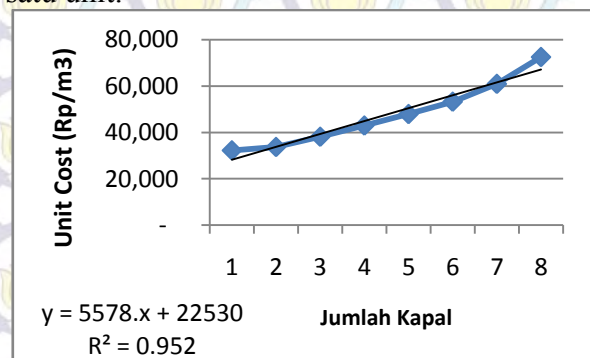


Gambar 4.2. Perbandingan Biaya Pola Pasokan Air



Gambar 4.3. Perbandingan *Unit Cost* (Rp/m<sup>3</sup>) SP dan FP di Masing-Masing Titik

Gambar 4.4 menunjukkan grafik jumlah kapal yang dioperasikan dan *unit cost*. Hasil analisis dengan memvariasikan jumlah kapal yang dioperasikan menunjukkan bahwa semakin banyak kapal yang dioperasikan biaya produksi per unit (Rp/m<sup>3</sup>) akan menjadi semakin besar. Sehingga jumlah kapal yang paling optimum untuk dioperasikan adalah satu unit.

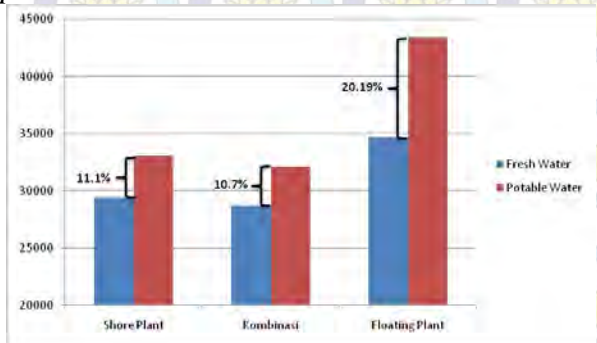


Gambar 4.4. Grafik Jumlah Kapal yang Dioperasikan dan *Unit Cost* (Rp/m<sup>3</sup>)

## 4.2 Perhitungan Biaya Produksi Air Bersih

Dalam Tugas Akhir ini juga dihitung *unit cost* untuk produksi air bersih (*fresh water*). Hasil analisis menunjukkan bahwa *unit cost* untuk produksi *fresh water* lebih rendah 20% daripada *unit cost* untuk produksi *potable water* (Gambar 4.5). Hal ini

disebabkan karena standar kualitas *fresh water* lebih rendah daripada *potable water*. Untuk *fresh water* standar baku mutu PP No. 82 tahun 2001 untuk TDS adalah kurang dari 1000 ppm sedangkan standar mutu untuk *potable water* sesuai dengan kriteria WHO adalah kurang dari 100 ppm. Sehingga untuk produksi *fresh water* kapasitas alat desalinasi yang dipasang lebih kecil daripada produksi *potable water*.



Gambar 4.5. Perbandingan Harga Antara *Fresh Water* dan *Potable Water*

### 4.3 Analisis Aliran Kas

Analisis aliran kas dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu investasi selama periode tertentu. Untuk menghitung aliran kas, beberapa parameter harus ditentukan terlebih dahulu. Beberapa parameter tersebut adalah *effective rate*, *total debt*, *equity*, *corporate tax* MARR, dan inflasi. Nilai *effective rate* sebesar 6.75% dan inflasi tiap tahun sebesar 5% (Bank Indonesia, 2011), *total debt* diasumsikan sebesar 70%, *equity* sebesar 30%, dan *corporate tax* sebesar 30%.

Hasil analisis aliran kas menunjukkan bahwa dengan *profit margin* 15% diperoleh NPV sebesar Rp10.772.784 dan BEP terjadi pada tahun ke-7. NPV menunjukkan nilai lebih dari 0 sehingga investasi ini dapat dikatakan layak.

#### 4.3.1 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu saat untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi (Pujawan, 2009). Dalam tugas akhir ini parameter yang diubah adalah *margin profit*, jumlah pinjaman, dan ongkos investasi.

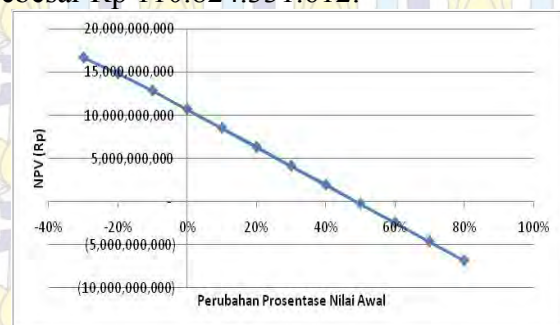
Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh *profit margin* terhadap NPV. Nilai *profit*

*margin* dirubah pada interval 0–100% sehingga bisa diketahui batas *profit margin* yang mengakibatkan keputusan terhadap investasi tersebut bisa berubah (dari layak menjadi tidak layak atau sebaliknya). Keputusan akan berubah menjadi tidak layak bila NPV yang dihasilkan berubah menjadi negatif. NPV menjadi nol ketika *profit margin* 11.09%, jadi keputusan akan berubah bila *profit margin* menjadi lebih besar dari 11.09% atau menurun sekitar 26% dari nilai *profit margin* awal yang ditetapkan sebesar 15%.



Gambar 4.6. Pengaruh Perubahan *Profit Margin* Terhadap NPV

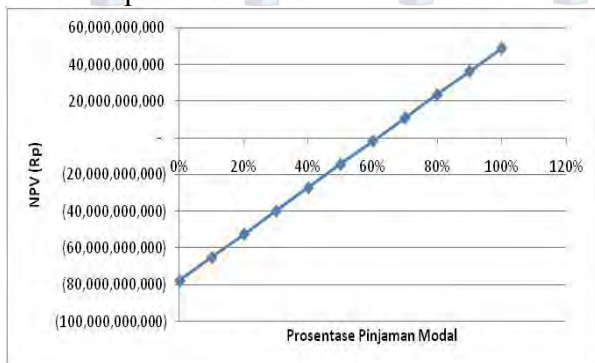
Gambar 4.7 menunjukkan hubungan prosentase perubahan nilai investasi awal terhadap NPV. Besarnya investasi awal diubah pada interval -50% sampai 80%. Investasi akan menjadi tidak layak bila perubahan nilai investasi awal menyebabkan nilai NPV berubah menjadi lebih kecil dari nol. NPV akan sama dengan nol bila besarnya investasi adalah Rp165.013.254.818. Jadi, investasi tersebut menjadi tidak layak bila investasi yang dibutuhkan lebih dari Rp165.013.254.818 atau meningkat sebesar 49% dari investasi awal yang diestimasikan sebesar Rp 110.824.331.612.



Gambar 4.7. Hubungan Prosentase Perubahan Nilai Investasi Awal Terhadap NPV

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan prosentase perubahan pinjaman modal

terhadap NPV. Besarnya Prosentase pinjaman diubah pada interval 0% sampai 100%. Investasi akan menjadi tidak layak bila perubahan Prosentase pinjaman menyebabkan nilai NPV berubah menjadi lebih kecil dari nol. NPV akan sama dengan nol bila besarnya pinjaman adalah Rp68.162.673.889. Jadi, investasi tersebut menjadi tidak layak bila investasi yang dibutuhkan lebih dari Rp 68.162.673.889 atau meningkat sebesar 8% dari pinjaman awal yang diestimasikan sebesar Rp -77.577.032.128.



Gambar 4.8. Hubungan Prosentase Perubahan Pinjaman Modal Terhadap NPV

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsep pasokan dengan menggunakan kapal desalinasi air laut adalah dengan menggunakan 1 unit kapal untuk mensuplai beberapa pulau sekaligus. Untuk mendistribusikan air dari kapal ke darat digunakan fasilitas dermaga apung yang mengadopsi konsep SPM. Sedangkan untuk konsep pasokan dengan menggunakan desalinasi darat adalah alat desalinasi dibangun di masing-masing pulau dengan kapasitas alat desalinasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing pulau.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi *shore plant* dan *floating plant* menghasilkan biaya minimum untuk memproduksi air minum sebesar Rp32.164. Kapal desalinasi air laut digunakan untuk mensuplai P. Pari, Pulau Pramuka, P. Harapan, dan P. Bira. Pulau lainnya, yaitu P. Untung Jawa, P.

Lancang, P. Tidung, dan P. Panggang disuplai dengan menggunakan alat desalinasi darat. Biaya tersebut 26% lebih rendah bila dibandingkan dengan penggunaan *floating plant* seluruhnya dan 3% lebih rendah bila dibandingkan dengan menggunakan *shore plant* seluruhnya. Sedangkan *unit cost* untuk memproduksi air bersih adalah Rp28.709/m<sup>3</sup>. Biaya ini 11% lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi air minum.

3. Analisis investasi menunjukkan bahwa proyek ini layak untuk dilakukan karena menghasilkan NPV positif sebesar Rp10.772.784.047 pada tingkat *profit margin* 15% dari *unit cost*.

### 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah untuk penelitian selanjutnya, perlu dikaji untuk pola operasi kapal desalinasi air laut yang lain, salah satunya adalah pola operasi dimana kapal desalinasi air laut tidak bergerak dalam memproduksi air sehingga biaya bahan bakar menjadi lebih murah. Pola operasi ini memungkinkan digunakannya tongkang sebagai instalasi desalinasi terapung. Namun, konsekuensi yang harus ditanggung adalah penambahan alat *water treatment* agar air limbah tidak mencemari lingkungan.

## 6. Daftar Pustaka

1. Bank Indonesia. (2011, 6 18). *Bank Indonesia*. Dipetik 6 18, 2011, dari [www.bi.go.id](http://www.bi.go.id): <http://www.bi.go.id/web/id/>
2. Berita Pulau Seribu. (2011, Januari 6). *beritapulauseribu.com*. Dipetik Februari 5, 2011, dari Duh, Warga Pulau Seribu Masih Konsumsi Air Hujan: <http://beritapulauseribu.com/kesehatan/700-duh-warga-pulau-seribu-masih-konsumsi-air-hujan.html>
3. Fadel, M., Wangnick, K., & Wade, N. (1983). *Floating Desalination Plant*. Elsevier, 1-2.
4. Food & Water Watch. (2009, Februari). *Desalination: an Ocean of Problems*.



- Dipetik Februari 25, 2011, dari <http://www.foodandwaterwatch.org>
5. Hillier, F. S., & Hillier, M. S. (2008). *Introduction to Management Science: A Modelling and Case Studies Approach with Spreadsheet* (3rd ed.). New York: Mc Graw-Hill.
  6. Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan* (2nd ed., Vol. I). Jakarta: Erlangga.
  7. Marhadiyanto et al. (2009). *Studi Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih dengan Sistem Penampungan Air Hujan di Pulau Panggang*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
  8. Presentasi Bupati Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. (2011, Januari 12). Potret Sumber Energi dan Air Bersih di Wilayah Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta. Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia.
  9. Pujawan, I. N. (2009). *Ekonomi Teknik* (2nd Edition ed.). Surabaya: Gunawidya.
  10. Sadhwania, J. J. (2005). Case Studies on Environmental Impact of Seawater Desalination. *Elsevier* , Vol. 185, 1-3,hal.1-8.
  11. Service, R. (2006). Desalination freshens up. *Science* 313 , 1088-1090.
  12. Stopford, M. (1997). *Maritime Economics* 2nd Edition. London: Roulledge.
  13. Water Standard. (2009). [waterstandard.com](http://www.waterstandard.com). Dipetik September 15, 2010, dari <http://www.waterstandard.com/vessel.htm>
  14. Wijnolst, N. d. (1997). Dalam *Shipping* (hal. 204-228). Netherlands: Delft University Press.
  15. Wikipedia. (2010, Nopember 30). *Water supply and sanitation in Indonesia*. Dipetik Februari 15, 2011, dari Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_supply\\_and\\_sanitation\\_in\\_Indonesia](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_Indonesia)