

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/m³. Biaya ini 11% lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi air minum.

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

ABSTRACT

Kepulauan Seribu cannot fulfill the demand for fresh water entirely by itself. Hence, to meet the needs of fresh water in that islands, the Government of DKI Jakarta has provided and operated seawater desalination plants. However, the use of those plants is considered not optimum because it must be installed in each island. Thus, it is proposed to use floating desalination plant to supplement it.

The purpose of this Final Project is to analyze the most suitable water supply model for Kepulauan Seribu, by using shore desalination plant, floating desalination plant, or combination of both. The concept of traveling salesman problem (TSP) is used for route planning operation of floating desalination plant. Furthermore, some operating models are developed based on the combination of shore plant and floating plant and the patterns of operation. At the final stage of optimization, the binary integer programming (BIP) optimization model is used for the selection of the supply model with minimum cost.

The result show that the minimum cost for producing potable water is Rp32.164/m³. This cost is obtained by combining shore plant and floating plant operation. The unit cost is 26% lower than the use of floating plant entirely and 3% lower than the use of shore plant entirely. However, to produce fresh water the unit cost is Rp28.709/m³, 11% cheaper than that of potable water.

Keywords: *Desalination, Shore Plant, Floating Plant, TSP, BIP*

DAFTAR NOTASI

ABK	: Anak Buah Kapal	MPE	: Mean Percentage Error
ACF	: <i>Annual Cash Flow</i>	MSE	: Mean Square Error
AD	: <i>Administration Cost</i>	MSF	: <i>Multi Stage Flash Desalination Process</i>
AP	: <i>Assignment Problem</i>	MTSP	: Multi Traveling Salesman Problem
B	: <i>Breadht</i>	NPV	: <i>Net Present Value</i>
BIP	: <i>Binary Integer Programming</i>	OC	: <i>Operational Cost</i>
$C_{E\&O}$	: <i>Cost of Equipment and Outfitting per tonne</i>	PC	: <i>Port Cost</i>
C_{ME}	: <i>Cost of Main Engine per tonne</i>	PDAM	: Perusahaan Daerah Air Minum
C_{NW}	: <i>Cost of Non Weight per tonne</i>	$P_{E\&O}$	: <i>Price of Equipmt and Outfitting</i>
CPP	: <i>Chinese Postman Problem</i>	PE_t	: <i>Percentage Error</i>
C_{ST}	: <i>Cost of Steel per tonne</i>	P_{ME}	: <i>Price of Main Engine</i>
D	: <i>Draught</i>	P_{NW}	: Price of Non Weight
D_A	: <i>Depth Corrected to Include the Superstructure</i>	PPM	: Parts per Million
DB	: <i>Declining Balance</i>	P_{ST}	: <i>Price of Steel</i>
DCF	: <i>Discounted Cash Flow</i>	RFR	: Required Freight Rate
DWT	: Deadweight Ton	RO	: Reverse Osmosis
E	: <i>Expenses</i>	SDE	: <i>Standart Deviation of Error</i>
FC	: <i>Fuel Cost</i>	SDV	: Seawater Desalination Vessel
FP	: <i>Floating Plant</i>	SF	: <i>Sinking Fund</i>
GI	: <i>Gross Income</i>	SFR	: Specific Fuel Rate
HSD	: <i>High Speed Diesel</i>	SL	: Straight Line
I	: <i>Insurance Cost</i>	SOYD	: <i>Sum of Years of Digit</i>
IMO	: International Maritime Organisation	SP	: <i>Shore Plant</i>
L	: <i>Length</i>	SPM	: Single Point Mooring
LP	: <i>Linear Programming</i>	SSE	: <i>Sum of Squared Error</i>
L_{pp}	: <i>Length Perpendicular</i>	ST	: <i>Store Cost</i>
LWT	: Lightweight Ton	TDS	: Total Dissolved Solids
M	: <i>Manning Cost</i>	TRT	: <i>Turn Round Time</i>
MAE	: <i>Mean Absoluter Error</i>	TSP	: Traveling Salesman Problem
MAPE	: <i>Mean Absoluter Percentage Error</i>	VC	: <i>Voyage Cost</i>
MARPOL	: Marine Polution	VCF	: Voyage Cash Flow
MARR	: Marginal Average Rate of Revenue	VRP	: Vehicle Routing Problem
MCR	: <i>Maximum Continuous Rating of Main Engine</i>	$W_{E\&O}$	: <i>Weight of Equipment and Outfitting</i>
MDO	: Marine Diesel Oil	W_{FO}	: <i>Weight of Fuel Oil</i>
MFO	: Marine Fuel Oil	W_{ME}	: <i>Weight of Main Engine</i>
MIP	: Mix Integer Programming	W_{ST}	: <i>Weight of Steel</i>

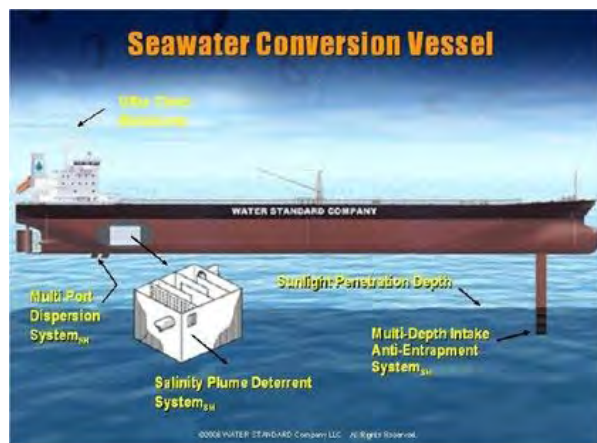
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 *Seawater Desalination Vessel*

Seawater desalination vessel (SDV) merupakan teknologi yang dikembangkan oleh perusahaan *Water Standard's* yang mengadopsi proses penyulingan air yang terdapat pada kapal militer dan kapal pesiar yang telah digunakan selama bertahun-tahun dan dikombinasikan dengan teknologi modern sehingga menghasilkan teknologi yang ramah lingkungan.

SDV adalah kapal yang memiliki teknologi desalinasi yang bisa memproduksi lebih dari 75 juta *gallon* per hari atau setara dengan 300.000 meter kubik air minum per hari. SDV merupakan kapal yang dikonversi dari kapal yang sudah ada, salah satu tipe kapal yang bisa dikonversi menjadi SDV adalah kapal tangki (*tanker*). Selain diberi tambahan berupa sistem *reverse osmosis* sebagai elemen utama dalam proses desalinasi, kapal tangki yang dikonversi juga dilengkapi beberapa alat tambahan untuk mendukung operasi (marinebuzz.com, 2007), yaitu :

- *Multi-Depth Intake Anti-Entrapment System*
- *Salinity Plume Deterrent System*
- *Multi-Port Dispersion System*
- *General Electric gas turbine engines*



Gambar 2.1. Komponen Tambahan pada Seawater Desalination Vessel

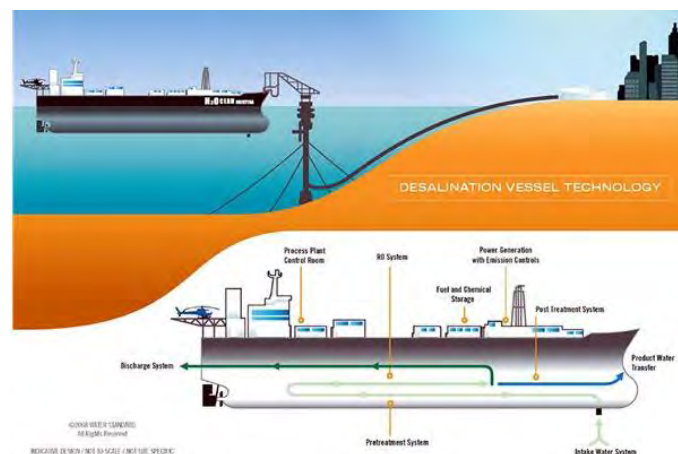
Sumber : (marinebuzz.com, 2007)

Multi-Depth Intake Anti-Entrapment System adalah sistem perpipaan yang berfungsi untuk mengambil air dari laut. Pipa asupan diatur di bawah sinar matahari

yang menembus kedalaman sehingga mengurangi jumlah kehidupan laut (binatang-binatang kecil) ikut masuk ke dalam sistem desalinasi. Keuntungan lainnya adalah sistem pipa asupan ke sistem desalinasi pada SDV memiliki jarak yang lebih pendek jika dibandingkan dengan desalinasi berbasis daratan sehingga mengurangi tenaga yang diperlukan.

Salinity Plume Deterrent System didesain untuk mencampurkan air buangan hasil desalinasi dengan air laut sehingga dapat mengurangi kadar garam dan suhu ke tingkat toleransi yang aman untuk kehidupan laut. Air yang dibuang akan didistribusikan melalui *Multi-Port Dispersion System* yang merupakan suatu rangkaian saluran yang terletak di bagian bawah kapal.

Gambar 2.2 menunjukkan teknologi dari SDV dan metode yang digunakan untuk memindahkan air dari kapal ke darat. Kapal bersandar pada fasilitas bongkar yang dipasang di lepas pantai kemudian air ditransfer dengan menggunakan pipa bawah laut. Metode ini bisa diaplikasikan di lokasi manapun sehingga sangat fleksibel dan juga lebih ramah lingkungan daripada harus membangun dermaga untuk sandar.



Gambar 2.2. Teknologi Seawater Desalination Vessel
(*Water Standard, 2009*)

2.2 Regresi Linier

Suatu hubungan garis lurus dapat sangat berguna untuk menyajikan ketergantungan suatu peubah pada peubah lainnya. Persamaan garis lurus ini dapat diperoleh melalui metode kuadrat terkecil (*method of least squares*). Metode kuadrat terkecil dapat digunakan untuk menganalisis data dan mengambil kesimpulan yang bermakna tentang hubungan ketergantungan yang mungkin ada (Draper & Smith, 1992).

Diasumsikan bahwa garis regresi peubah 1, yang dilambangkan dengan Y, terhadap peubah ∞ , yang dilambangkan dengan X, mempunyai bentuk $\beta_0 + \beta_1 X$. Dengan demikian digunakan model linear ordo-pertama:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.1)$$

Artinya, untuk suatu nilai X tertentu, nilai Y padanannya terdiri atas nilai $\beta_0 + \beta_1 X$ ditambah ε , besaran yang membuat nilai Y menyimpang dari garis regresinya.

Sekarang β_0 , β_1 , dan ε tidak diketahui nilainya dalam Persamaan (2.1), dan ε memang sangat sukar diketahui sebab nilainya berubah untuk setiap amatan Y. Akan tetapi, β_0 dan β_1 selalu tetap dan, meskipun tidak mungkin mengetahui berapa persis nilainya tanpa memeriksa semua kemungkinan pasangan Y dan X, kita dapat menggunakan informasi di dalam data contoh untuk menghasilkan nilai dugaan (*estimate*) b_0 dan b_1 bagi β_0 dan β_1 berturut-turut. Jadi, kita dapat menuliskan:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X \quad (2.2)$$

Dalam hal ini $\hat{Y}$, yang dibaca “Y bertopi”, melambangkan nilai ramalan Y untuk suatu X tertentu bila b_0 dan b_1 telah ditentukan. Persamaan (2.2) dengan demikian dapat digunakan sebagai persamaan peramal; substitusi untuk suatu nilai X akan menghasilkan ramalan bagi nilai tengah atau rata-rata populasi Y pada nilai X tersebut.

Nilai untuk b_1 , yaitu kemiringan dari slop garis regresi, diberikan oleh:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - [(\sum X_i)(\sum Y_i)]/n}{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/n} \quad (2.3)$$

Sedangkan nilai b_0 , intersep atau titik potong garis regresi dengan sumbu-y, adalah:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (2.4)$$

Nilai $\bar{X}$ dan $\bar{Y}$ dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = \sum X_i / n \quad (2.5)$$

$$\bar{Y} = \sum Y_i / n \quad (2.6)$$

Substitusi Persamaan (2.4) ke dalam Persamaan (2.2) menghasilkan persamaan regresi dugaan:

$$\hat{Y} = \bar{Y} + b_1(X - \bar{X}) \quad (2.7)$$

Dalam hal ini b_1 diberikan oleh Persamaan (2.3).

2.2.1 Pemeriksaan Persamaan Regresi

Model regresi teoritis pada Bagian 2.2 mempunyai asumsi-asumsi tertentu, sehingga penerapan praktis model tersebut menuntut pemakai untuk menguji asumsi-

asumsi tersebut dalam konteks permasalahan yang ada. Terdapat 3 asumsi dasar yang harus dipenuhi (Draper & Smith, 1992). Misal $Y_i = \beta_0 + B_1 X_i + \varepsilon_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

1. Normalitas nilai sisa (*normality of residuals*)

ε_i merupakan suatu peubah acak normal, dengan nilai tengah nol dan ragam σ^2 menurut (1). Penulisan matematis dari asumsi normalitas ini adalah:

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (2.8)$$

Statistik uji yang paling sering digunakan untuk menguji asumsi kenormalan *error* dengan menggunakan data residual adalah *Kolmogorov-Smirnov normality test* dengan hipotesis:

- H_0 : Data menyebar normal
- H_1 : Data tidak menyebar normal

Selain dengan statistik uji, pemeriksaan kenormalan residual dapat pula dilakukan dengan QQ-Plot. Jika titik menyebar di sekitar garis lurus, maka dapat dianggap bahwa data memiliki sebaran normal.

2. Homoskedastisitas (*homoscedasticity*)

Asumsi ini menyatakan bahwa ε_i merupakan suatu peubah acak dengan nilai tengah nol dan ragam (*variance*) σ^2 yang tidak diketahui. Secara matematis asumsi homokedastisitas ditulis sebagai berikut:

$$E(\varepsilon_i) = 0, V(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad (2.9)$$

Homokedastisitas dapat diuji dengan menggunakan uji Gletser dengan cara meregresikan harga mutlak residual dengan variabel *independent independent*, jika ada variabel independent yang significant maka varians residual cenderung tidak homogen, untuk mengatasi hal ini biasanya dilakukan transformasi dengan cara membagi seluruh nilai variabel dengan variabel yang signifikan, atau:

Jika $|e| = k.x_1$, maka dilakukan transformasi sebagai berikut:

$$\frac{y}{x_1} = \beta_0 \frac{1}{x_1} + \beta_1 \frac{1}{x_1} + \beta_2 \frac{1}{x_1} + \beta_3 \frac{1}{x_1} + \dots \quad (2.10)$$

atau

$$y^* = \beta_1 + \beta_0 x_1^* + \beta_2 x_2^* + \beta_3 x_3^* + \dots \quad (2.11)$$

Koefisien regresi dari model ini kemudian ditaksir dengan menggunakan metode

kuadrat terkecil sehingga diperoleh:

$$y^* = b_1 + b_0x_1^* + b_2x_2^* + b_3x_3^* + \dots \quad (2.12)$$

Kemudian model ini dikembalikan ke variabel asal dengan menggandakan ruas kiri

dan ruas kanan dengan x_1 sehingga diperoleh :

$$y = b_1 + b_0x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots \quad (2.13)$$

3. Tidak terjadi autokorelasi atau nilai sisa bersifat bebas (*independence of residuals*)

ε_i dan ε_j tidak berkorelasi, $i \neq j$, sehingga:

$$\text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \quad (2.14)$$

Jadi, $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_i X_i$ $V(Y_i) = \sigma^2$ dan Y_i dan Y_j , $i \neq j$, tidak berkorelasi. ε_i dan ε_j selain tidak berkorelasi juga bebas (*independent*). Statistik uji yang sering dipakai adalah Uji Durbin-Watson (DW-statistics), yaitu:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (2.15)$$

Hipotesis untuk uji asumsi autokorelasi yang sering dipakai adalah kriteria DW-statistics untuk kasus uji 2-arah, yaitu:

- Jika $DW < dL$, maka tolak H_0 , atau
- Jika $DW > 4 - dL$, maka tolak H_0 , atau
- Jika $dU < DW < 4 - dU$, maka terima H_0 , namun jika
- Jika $dL \leq DW \leq dU$ atau $4 - dU \leq DW \leq 4 - dL$, maka tidak dapat disimpulkan apakah terjadi autokorelasi atau tidak. Jika demikian, sebaiknya menggunakan statistik uji yang lain, misal uji autokorelasi sebagaimana yang diajukan oleh Theil dan Nagar.

Keterangan:

- DW = nilai statistik uji Durbin-Watson hasil perhitungan
- dL = batas bawah tabel Durbin-Watson pada suatu n dan k tertentu
- dU = batas atas tabel Durbin-Watson pada suatu n dan k tertentu
- n = banyaknya pengamatan
- k = banyaknya variabel bebas dalam model regresi

Jika residual saling *dependent* atau terdapat autokorelasi positif maka data harus ditransformasi. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan regresi beda, yaitu:

$$y_t - y_{t-1} = \beta_0 + \beta_1(x_t - x_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2.16)$$

2.2.2 Koefisien Determinasi R^2

Ketika model regresi sudah diperoleh, yaitu dengan diperolehnya penaksir regresi LS (*least square*) maka semua nilai Y yang diketahui dapat dibandingkan dengan semua nilai Y taksiran menggunakan garis regresi. Nilai-nilai Y taksiran dinyatakan sebagai $\hat{Y}$ dan kita mempunyai identitas:

$$\begin{aligned} Y_i &= (a + bX_i) + e_i \\ &= (\hat{Y}_i) + e_i \end{aligned}$$

Sekarang terdapat n pasangan nilai $(Y_i, \hat{Y}_i)$ dan hal menarik adalah mengetahui bagaimana dua nilai tersebut berhubungan satu sama lain. Dalam regresi, korelasi antara Y dan $\hat{Y}$ biasanya dituliskan R dan biasanya disajikan dalam bentuk kuadrat (R^2), dan statistik ini dikenal sebagai koefisien determinasi. Dengan demikian R^2 adalah korelasi kuadrat antara variabel bebas Y dan nilai taksirannya, $\hat{Y}$. R^2 juga dapat dinyatakan sebagai proporsi varians pada Y yang dapat diterangkan oleh X (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999). Secara umum R^2 dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.17)$$

2.2.3 Uji- F untuk Signifikansi Menyeluruh

Uji- F memberi kesempatan pada kita untuk menguji signifikansi model regresi atau untuk menjawab pertanyaan secara statistik apakah terdapat hubungan yang signifikan antara X dan Y (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999). Statistik F didefinisikan sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2 / (k-1)}{\sum(Y - \hat{Y})^2 / (n-k)} \quad (2.18)$$

di mana : n = jumlah data

k = jumlah parameter (koefisien) pada persamaan regresi

Hipotesis yang berlaku untuk pengujian ini adalah:

- $H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_i = 0$
- $H_1 : \text{Tidak semua } \beta_i = 0$

$i = 0, 1, \dots, k$; k = banyaknya variabel bebas (X)

- jika $F_{hitung} \leq F_{tabel} (db1, db2)$ maka terima H_0 , sedangkan
- jika $F_{hitung} > F_{tabel} (db1, db2)$ maka tolak H_0 .

$db1$ dan $db2$ adalah parameter-parameter F tabel, dimana:

- $db1 = \text{derajat bebas } 1 = p - 1$
- $db2 = \text{derajat bebas } 2 = n - p$

p = banyaknya parameter (koefisien) model regresi linier

n = banyaknya pengamatan

Apabila H_0 ditolak, maka model regresi yang diperoleh dapat digunakan.

2.2.4 Uji *t-student*

Uji *t-student* digunakan untuk menguji apakah sebuah variabel bebas X benar-benar memberikan kontribusi terhadap variabel terikat Y. Dalam pengujian ini ingin diketahui apakah jika secara terpisah, suatu variabel X masih memberikan kontribusi secara signifikan terhadap variabel tak bebas Y. Hipotesis untuk uji ini adalah:

- $H_0 : \beta_j = 0$
- $H_1 : \beta_j \neq 0$

dimana:

- $j = 0, 1, \dots, k$
- k = banyaknya variabel bebas X
- jika $thitung \leq ttabel (n-p)$, maka terima H_0
- jika $thitung > ttabel (n-p)$, maka tolak H_0 , dimana
- $(n-p)$ = parameter *t tabel*
- n = banyaknya pengamatan
- p = banyaknya parameter (koefisien) model regresi linier

Apabila H_0 ditolak, maka variabel bebas X tersebut memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y.

2.3 Peramalan

Situasi peramalan sangat beragam dalam horison waktu peramalan, faktor yang menentukan hasil sebenarnya, tipe pola data dan berbagai aspek lainnya. Untuk menghadapi penggunaan yang luas seperti itu, beberapa teknik telah dikembangkan. Teknik tersebut dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu metode kuantitatif dan metode kualitatif atau teknologis. Metode kuantitatif dapat dibagi ke dalam deret berkala (*time series*) dan metode kausal, sedangkan metode kualitatif atau teknologis dapat dibagi menjadi eksploratoris dan normatif (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999). Peramalan kuantitatif dapat diterapkan bila terdapat tiga kondisi berikut:

1. Tersedia informasi tentang masa lalu.
2. Informasi tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk data numerik.
3. Dapat diasumsikan bahwa beberapa aspek pola masa lalu akan terus berlanjut di masa mendatang.

Pada model deret berkala, pendugaan masa depan dilakukan berdasarkan nilai masa lalu suatu variabel dan atau kesalahan masa lalu. Tujuan metode peramalan deret berkala seperti itu adalah menemukan pola dalam deret data historis dan mengekstrapolasikan pola dalam deret data historis dan mengekstrapolasikan pola tersebut ke masa depan. Langkah penting dalam memilih suatu metode deret berkala (*time series*) yang tepat adalah dengan mempertimbangkan jenis pola data, sehingga metode yang paling tepat dengan pola tersebut dapat diuji. Pola data dapat dibedakan menjadi empat jenis (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999), yaitu:

1. Pola horisontal (H) terjadi bilamana nilai data berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan. Suatu produk yang penjualannya tidak meningkat atau menurun selama waktu tertentu termasuk jenis ini.
2. Pola musiman (S) terjadi bilamana suatu deret dipengaruhi oleh faktor musiman (misalnya kuartal tahun tertentu, bulanan, atau hari-hari pada minggu tertentu). Penjualan dari produk seperti minuman ringan, es krim, dan bahan bakar pemanas ruang, semuanya menunjukkan jenis pola ini.
3. Pola siklus (C) terjadi bilamana datanya dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang seperti yang berhubungan dengan siklus bisnis. Penjualan produk seperti mobil, baja, dan peralatan utama lainnya menunjukkan jenis pola ini.
4. Pola trend (T) terjadi bilamana terdapat kenaikan atau penurunan sekuler jangka panjang dalam data. Penjualan banyak perusahaan, produk bruto nasional (GNP) dan berbagai indikator bisnis atau ekonomi lainnya mengikuti suatu pola trend selama perubahannya sepanjang waktu.

2.3.1 Ketepatan Metode Peramalan

Dalam pemodelan deret-berkala, sebagian data yang diketahui dapat digunakan untuk meramalkan sisa data berikutnya sehingga memungkinkan orang untuk mempelajari ketepatan ramalan secara lebih langsung. Bagi pemakai ramalan, ketepatan

ramalan yang akan datang adalah yang paling penting. Bagi pembuat model, kebaikan suai model untuk fakta (kuantitatif dan kualitatif) yang diketahui harus diperhatikan.

Jika X_i merupakan data aktual untuk periode i dan F_i merupakan ramalan (atau nilai kecocokan/*fitted value*) untuk periode yang sama, maka kesalahan didefinisikan sebagai:

$$e_t = X_i - F_i$$

Jika terdapat nilai pengamatan dan ramalan untuk n periode waktu, maka akan terdapat n buah kesalahan dan ukuran statistik standar berikut dapat didefinisikan untuk mengetahui ketepatan metode peramalan (Makridakis, Wheelwright, & McGee, 1999).

1. Nilai tengah kesalahan (Mean Error)

$$ME = \sum_{i=1}^n e_i / n \quad (2.19)$$

2. Nilai tengah kesalahan absolut (Mean Absolute Error)

$$MAD = \sum_{i=1}^n |e_i| / n \quad (2.20)$$

3. Jumlah kuadrat kesalahan (Sum of Squared Error)

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (2.21)$$

4. Nilai Tengah Kesalahan Kuadrat (Mean Squared Error)

$$MSD = \sum_{i=1}^n e_i^2 / n \quad (2.22)$$

5. Deviasi Standar Kesalahan (Standard Deviation of Error)

$$SDE = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 / (n - 1)} \quad (2.23)$$

6. Kesalahan Prosentase (Percentage Error)

$$PE_t = \left(\frac{X_t - F_t}{X_t} \right) (100) \quad (2.24)$$

7. Nilai Tengah Kesalahan Prosentase (Mean Percentage Error)

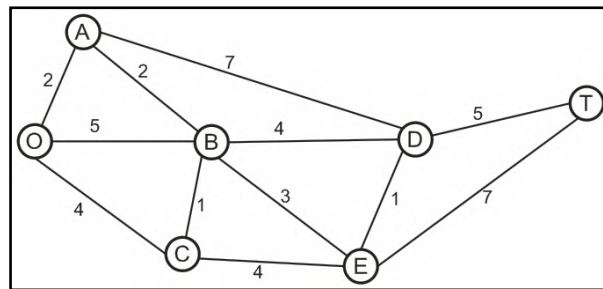
$$MPE = \sum_{i=1}^n PE_i / n \quad (2.25)$$

8. Nilai Tengah Kesalahan Prosentase Absolut (Mean Absolut Percentage Error)

$$MAPE = \sum_{i=1}^n |PE_i| / n \quad (2.26)$$

2.4 Jaringan (Network)

Jaringan (*network*) secara visual pada dasarnya terdiri dari rangkaian titik (*points*) dan garis yang menghubungkan pasangan tertentu dari titik. Titik-titik tersebut disebut dengan *nodes*, contohnya jaringan pada Gambar 2.3 yang mempunyai 7 *node* yang ditunjukkan dengan 7 lingkaran. Garis yang menghubungkan disebut dengan busur (*arcs*). Jaringan pada Gambar 2.3 mempunyai 12 busur yang mewakili 12 jalan dalam suatu sistem jalan. Busur diberi label sesuai dengan nama *node* di kedua ujung; sebagai contoh AB adalah busur diantara node A dan B dalam Gambar 2.3 (Hillier & Lieberman, 2001).



Gambar 2.3. Jaringan Jalan
Sumber: (Hillier & Lieberman, 2001)

Busur-busur pada sebuah jaringan bisa mempunyai suatu arus atau tipe lainnya yang melewati busur tersebut, contohnya arus dari mobil di jalan pada Gambar 2.3. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa contoh arus dalam jaringan tertentu. Jika arus yang melewati sebuah busur hanya diperbolehkan searah (contoh, jalan satu arah), busur tersebut disebut dengan busur terarah (*directed arc*). Arah diindikasikan dengan menambahkan ujung panah pada akhir garis yang merepresentasikan busur tersebut. Ketika busur terarah diberi label dengan cara menuliskan dua node yang terhubung, node asal harus ditulis terlebih dahulu sebelum node tujuan; contoh sebuah busur yang mempunyai arah dari node A ke node B harus diberi label AB bukan BA. Alternatifnya, busur ini bisa diberi label $A \rightarrow B$. Jika arus yang melewati busur diperbolehkan dalam berbagai arah (contoh sebuah pipa yang bisa digunakan untuk memompa zat cair ke berbagai arah), busur tersebut disebut dengan busur tidak terarah (*undirected arc*).

Tabel 2.1. Komponen dari Beberapa Jaringan Tertentu

Node	Busur	Jenis Arus
<i>Intersections</i>	Jalan	Kendaraan
Airport	Jalur Penerbangan	Pesawat Terbang
Stasiun Pompa	Pipa	Zat Cair
Pelabuhan	Jalur Pelayaran	Kapal

Sumber: (Hillier & Lieberman, 2001)

2.5 Penentuan Rute

Secara umum terdapat 4 sistem klasifikasi penentuan rute kendaraan (Tabel 2.2), yaitu:

1. *Traveling Salesman Problem* (TSP)

Tujuan dari TSP adalah menentukan suatu siklus jarak yang minimum yang melewati setiap node dalam grup yang bersangkutan tepat satu kali. Jika jarak simestris yaitu jarak perjalanan antar lokasi tidak tergantung pada arah perjalanan, maka permasalahan ini disebut permasalahan TSP simetris dan jika tidak maka disebut TSP tak simestris.

2. *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP)

Merupakan generalisasi dari permasalahan TSP dimana diperlukan perhitungan lebih dari satu kendaraan. Sejumlah M kendaraan dari suatu armada akan meninggalkan dan kembali pada depo yang sama. Disini tidak ada batasan pada node yang boleh dikunjungi oleh tiap kendaraan kecuali bahwa masing-masing kendaraan harus mengunjungi paling sedikit satu node.

3. *Vehicle Routing Problem* (VRP)

VRP merupakan istilah yang digunakan untuk menentukan sejumlah rute untuk sekumpulan kendaraan yang harus melayani sejumlah pemberhentian (node) dari depo pusat. Asumsi yang biasa digunakan dalam VRP standar adalah setiap kendaraan memiliki kapasitas yang sama dan jumlah kendaraan tidak terbatas, Jumlah permintaan tiap pemberhentian (node) diketahui dan tidak ada jumlah permintaan tunggal yang melebihi kapasitas. VRP atau *vehicle routing problem* adalah sebuah cakupan masalah yang didalamnya ada sebuah problem dimana ada sejumlah rute untuk sejumlah kendaraan yang berada pada satu atau lebih depo yang harus ditentukan jumlahnya agar tersebar secara geografis supaya bisa melayani konsumen yang tersebar. Tujuan dari VRP adalah mengantarkan barang pada konsumen dengan biaya minimum melalui rute-rute kendaraan yang keluar masuk depo. VRP adalah

sebuah problem integer yang masuk kategori *NP-Hard Problem* yang berarti usaha komputasi yang digunakan akan semakin sulit dan banyak seiring dengan meningkatnya ruang lingkup masalah.

4. *Chinese Postman Problem (CPP)*

Tujuan dari CPP adalah menentukan siklus biaya minimum yang melewati setiap busur paling sedikit satu kali. Suatu permasalahan *CPP directed* atau *undirected* bergantung apakah busurnya searah atau tidak.

Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi Penentuan Rute

Tipe	Demand	Ruas Jalan	Jumlah Depo	Kendaraan	Kapasitas
Traveling Salesman Problem	Tiap node	Berarah atau tidak	1	1	Tidak terbatas
Multi Traveling Salesman Problem	Tiap node	Berarah atau tidak	1	Lebih dari 1	Tidak terbatas
Vehicle Routing Problem	Tiap node dan bervariasi besarnya	Berarah atau tidak	1	Lebih dari 1	Terbatas
Chinese Postman Problem	Sepanjang busur perjalanan	Berarah atau tidak	1	1	Terbatas atau tidak

2.5.1 TSP (*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.

TSP dikenal sebagai salah satu permasalahan optimasi klasik yang berat untuk dipecahkan secara konvensional. Penyelesaian eksak terhadap persoalan ini akan melibatkan algoritma yang mengharuskan untuk mencari kemungkinan semua solusi yang ada. Sebagai akibatnya, kompleksitas waktu dari eksekusi algoritma ini akan menjadi eksponensial terhadap ukuran dari masukan yang diberikan. TSP melibatkan seorang *traveling salesman* yang harus melakukan kunjungan ke sejumlah kota dalam menjajakan produknya. Rangkaian kota-kota yang dikunjungi harus membentuk suatu

jalur sedemikian sehingga kota-kota tersebut hanya boleh dilewati tepat satu kali dan kemudian kembali lagi ke kota awal.

Secara matematis permasalahan TSP bisa dijelaskan sebagai seorang pedagang yang harus melakukan perjalanan dari kota $1, 2, \dots, n$. Jarak yang harus ditempuh dari kota i ke kota j adalah d_{ij} , untuk $i \neq j = 1$ sampai n . Perjalanan pedagang tersebut ingin memulai perjalanan dari beberapa kota, mengunjungi setiap kota lainnya tepat satu kali dan pada akhirnya kembali ke kota awal dimana pedagang tersebut berangkat. Permasalahannya adalah untuk menentukan urutan optimal dalam melakukan perjalanan sehingga jarak total yang ditempuh menjadi kecil.

Andaikan perjalanan pedagang tersebut berawal dari kota 1. Jika dia melakukan perjalanan dari kota ke kota dalam urutan i to $i + 1$, $i = 1$ sampai $n - 1$, dan kemudian dari kota n ke kota 1, rute ini bisa diwakilkan dengan urutan “1, 2, ..., n ; 1.” Urutan seperti itu disebut dengan sebuah tur. Jadi sebuah tur memiliki lintasan yang meninggalkan setiap kota tepat sekali. Jadi kota awal bisa saja kota manapun karena masing-masing kota terhubung menjadi satu simpul. Contohnya kota 1, dari kota 1 pedagang bisa pergi ke kota $n - 1$ lainnya. Jadi terdapat $n-1$ cara yang berbeda dimana pedagang bisa memilih kota yang dia kunjungi dari kota 1. Dari kota tersebut pedagang bisa pergi ke salah satu $n-2$ kota yang tersisa. Sehingga jumlah kemungkinan tur dalam n kota TSP adalah $(n-1)(n-2)\dots 1 = (n - 1)!$. Model matematis dari TSP bisa diformulasikan sebagai berikut:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{bila kota } j \text{ dikunjungi dari kota } i \\ 0, & \text{bila tidak} \end{cases} \quad (2.27)$$

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

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, \quad d_{ij} = \infty \text{ untuk semua } i = j \quad (2.28)$$

Subject to:

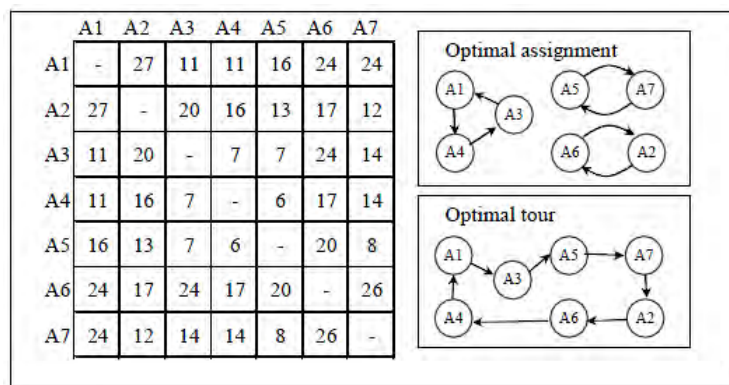
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.30)$$

$$x_{ij} = (1, 0) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.31)$$

Solusi yang layak dari pers. (2.28) sampai (2.31) terdiri dari siklus terarah tunggal yang mengunjungi semua kota. Terdapat $(n-1)!$ Solusi yang layak. Dalam sebuah solusi, perjalanan terjadi dari kota i ke j , $x_{ij} = 1$, dan jarak d_{ij} dihitung; selain itu $x_{ij} = 0$. Sebuah solusi optimum adalah jarak minimum dari siklus Hamiltonian (Jiang, 2010).

Pers. (2.28) sampai (2.31) adalah formula *assignment problem* (AP) klasik untuk TSP. Suatu solusi untuk AP mungkin saja diinterpretasikan sebanyak n jawaban iya sedemikian rupa sehingga setiap kota ditinggalkan dan dikunjungi tepat sekali, tetapi hal tersebut tidak selalu berarti sebuah perjalanan tunggal. Suatu solusi optimasi penugasan bisa saja mempunyai banyak *subtour*. Gambar 2. menunjukkan contoh matriks jarak untuk solusi AP optimal, Suatu penugasan optimum (jarak = 79) dan perjalanan optimum (jarak=83) diperlihatkan dalam kotak. Dari Gambar 2., kita temukan tiga *subtour* dalam solusi penugasan optimal (Jiang, 2010).



Gambar 2.4. Solusi AP dan Solusi TSP Optimal

Sumber: (Jiang, 2010)

Pers. (2.28) sampai (2.31) tidak cukup untuk menyelesaikan permasalahan TSP. Xie dan Xue menambahkan batasan (*constrain*) tambahan untuk menghindari *subtours* dalam pers. (2.32).

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n-1, 2 \leq i \neq j \leq n \quad (2.32)$$

$$u_i \geq 0, i = 2, 3, \dots, n \quad (2.33)$$

u_i adalah urutan tur dari kota i , dalam Gambar 2.4, jika kita melakukan perjalanan dari kota 1, urutan tur dari kota 5 adalah 3 dan kota 2 adalah 5. 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).

Dalam Tugas Akhir ini kendala lain yang harus ditambahkan adalah kendala waktu karena kapal harus melayani beberapa titik dan pada saat tertentu kapal harus kembali lagi melayani titik pertama untuk mensuplai air bersih. Batasan waktu ini berupa frekuensi kapal melakukan layanan, contohnya kapal melayani dengan frekuensi 3 hari sekali; hal tersebut mengindikasikan bahwa TRT kapal harus < frekuensi suplai yang telah ditentukan. Apabila t_{ij} adalah waktu tempuh dari kota i ke kota j ditambah lama waktu kunjungan di kota j , dan CT adalah batasan waktu kunjungan, maka batasan yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq CT \quad (2.34)$$

Setelah ditambahkan batasan waktu maka persamaan TSP untuk Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

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

Subject to:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, i = 1, 2, 3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, j = 1, 2, 3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} &\leq CT \\ u_i - u_j + nx_{ij} &\leq n-1, 2 \leq i \neq j \leq n \\ x_{ij} &= (1, 0) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \\ u_i &\geq 0, i = 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

Dalam Tugas Akhir ini konsep TSP (pers. (2.28) - (2.34) digunakan untuk merencanakan rute sehingga diketahui urutan kunjungan kapal desalinasi air laut. Alasan mengapa konsep TSP digunakan adalah sebagai berikut:

1. Konsep operasi kapal desalinasi air laut sama dengan konsep TSP, yaitu kapal harus berangkat dari *hub port* dan berakhir di *hub port* juga.

Di *hub port* kapal mengisi bahan bakar, pelumas,, kebutuhan ABK dan kapal lainnya. Hal ini dilakukan karena kapal mempunyai kemampuan yang terbatas untuk melakukan pelayaran sehingga kapal perlu singgah di pelabuhan untuk mengisi logistik kapal. Pelabuhan yang dijadikan *hub port* adalah pelabuhan Tanjung Priok karena secara geografis pelabuhan ini adalah pelabuhan terdekat dari wilayah Kepulauan Seribu.

2. Setiap titik yang disuplai dengan menggunakan kapal desalinasi (*floating plant*) hanya dikunjungi tepat satu kali dalam satu periode pengiriman.

2.6 Biaya Transportasi Laut

Terdapat empat kategori biaya dalam pengoperasian kapal (Wijnolst & Wergeland, 1997) (Stopford, 1997), yaitu:

1. Biaya modal (*capital cost*)
2. Biaya operasional (*operational cost*)
3. Biaya pelayaran (*voyage cost*)
4. Biaya bongkar muat (*cargo handling cost*)

2.6.1 Biaya Modal (*Capital Cost*)

Biaya modal adalah harga kapal ketika dibeli atau dibangun. Biaya modal disertakan dalam kalkulasi biaya untuk menutup pembayaran bunga pinjaman dan pengembalian modal tergantung bagaimana pengadaan kapal tersebut, Pengembalian nilai capital ini direfleksikan sebagai pembayaran tahunan.

2.6.2 Biaya Operasional (*Operational Cost*)

Biaya operasional adalah biaya-biaya tetap yang dikeluarkan untuk aspek operasional sehari-hari kapal untuk membuat kapal selalu dalam keadaan siap berlayar. Yang termasuk dalam biaya operasional adalah biaya ABK, perawatan dan perbaikan kapal, bahan makanan, minyak pelumas, asuransi dan administrasi. Rumus untuk biaya operasional adalah sebagai berikut (Persamaan 2.35):

$$OC = M + ST + MN + I + AD \quad (2.35)$$

Keterangan:

OC	= <i>operation cost</i>
M	= <i>manning cost</i>
ST	= <i>store cost</i>

I = *insurance cost*

AD = *administration cost*

1. *Manning cost*

Manning cost (crew cost) adalah biaya-biaya langsung maupun tidak langsung untuk anak buah kapal termasuk di dalamnya adalah gaji pokok dan tunjangan, asuransi sosial, dan uang pensiun. Besarnya *crew cost* ditentukan oleh jumlah dan struktur pembagian kerja yang tergantung pada ukuran teknis kapal. Struktur kerja pada sebuah biasanya dibagi menjadi 3 departemen, yaitu *deck departemen*, *engine departemen*, dan *catering departemen*.

2. *Store, supplies and lubricating oils*

Jenis biaya ini dikategorikan menjadi 3 macam yaitu *marine stores* (cat, tali, besi), *engine room stores (spare part, lubricating oils)*, dan *steward's stores* (bahan makanan).

3. *Maintenance and repair cost*

Maintenance and repair cost merupakan biaya perawatan dan perbaikan yang mencakup semua kebutuhan untuk mempertahankan kondisi kapal agar sesuai dengan standart kebijakan perusahaan maupun persyaratan badan klasifikasi. Biaya ini dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

a. Survey klasifikasi

Kapal harus menjalani *survey regular dry docking* tiap dua tahun dan *special survey* tiap empat tahun untuk mempertahankan kelas untuk tujuan asuransi.

b. Perawatan rutin

Perawatan rutin meliputi perawatan mesin induk dan mesin bantu, cat, bangunan atas dan pengedokan untuk memelihara lambung dari pertumbuhan biota laut yang bisa mengurangi efisiensi operasi kapal. Biaya perawatan ini cenderung bertambah seiring dengan bertambahnya umur kapal.

c. Perbaikan

Biaya perbaikan muncul karena adanya kerusakan kapal secara tiba-tiba dan harus segera diperbaiki.

4. *Insurance cost*

Insurance cost merupakan biaya asuransi, yaitu komponen pembiayaan yang dikeluarkan sehubungan dengan resiko pelayaran yang dilimpahkan kepada perusahaan asuransi. Komponen pembiayaan ini berbentuk pembayaran premi asuransi kapal yang besarnya tergantung pertanggungan dan umur kapal. Hal ini menyangkut sampai sejauh mana resiko yang dibebankan melalui klaim pada perusahaan asuransi. Semakin tinggi resiko yang dibebankan, semakin tinggi pula premi asuransinya. Umur kapal juga mempengaruhi biaya premi asuransi, yaitu biaya premi asuransi akan dikenakan pada kapal yang umurnya lebih tua. Terdapat dua jenis asuransi yang dipakai perusahaan pelayaran terhadap kapalnya, yaitu *hull and machinery insurance* dan *protection and indemnity insurance*.

5. Administrasi

Biaya administrasi diantaranya adalah biaya pengurusan surat-surat kapal, biaya sertifikat dan pengurusannya, biaya pengurusan ijin kepelabuhan maupun fungsi administratif lainnya. Biaya ini juga disebut biaya *overhead* yang besarnya tergantung dari besar kecilnya perusahaan dan jumlah armada yang dimiliki.

2.6.3 Biaya pelayaran (*voyage cost*)

Biaya pelayaran adalah biaya-biaya variabel yang dikeluarkan kapal untuk kebutuhan selama pelayaran. Komponen biaya pelayaran adalah bahan bakar untuk mesin induk dan mesin bantu, biaya pelabuhan, biaya pandu dan tunda. Rumus untuk biaya pelayaran adalah (Persamaan (2.36):

$$VC = FC + PC \quad (2.36)$$

Keterangan:

VC = voyage cost

PC = *port cost* (ongkos pelabuhan)

FC = fuel cost

1. *Port cost*

Pada saat kapal dipelabuhan, biaya-biaya yang dikeluarkan meliputi *port dues* dan *service charges*. *Port dues* adalah biaya yang dikenakan atas penggunaan fasilitas pelabuhan seperti dermaga, tambatan, kolam pelabuhan, dan infrastruktur lainnya yang besarnya tergantung volume dan berat muatan, GRT

dan NRT kapal. *Service charge* meliputi jasa yang dipakai kapal selama dipelabuhan, yaitu jasa pandu dan tunda, jasa labuh, dan jasa tambat.

2. *Fuel cost*

Konsumsi bahan bakar kapal tergantung dari beberapa variabel seperti ukuran, bentuk dan kondisi lambung, pelayaran bermuatan atau ballast, kecepatan, cuaca, jenis dan kapasitas mesin induk dan motor bantu, jenis dan kualitas bahan bakar. Biaya bahan bakar tergantung pada konsumsi harian bahan bakar selama berlayar di laut dan di pelabuhan dan harga bahan bakar. Terdapat tiga jenis bahan bakar yang dipakai, yaitu HSD, MDO, dan MFO.

2.6.4 Biaya bongkar muat (*cargo handling cost*)

Tujuan dari kapal niaga adalah memindahkan muatan dari pelabuhan yang berbeda. Untuk mewujudkan hal tersebut, muatan harus dipindahkan dari kapal ke dermaga ataupun sebaliknya, atau dari kapal ke kapal atau tongkang. Biaya yang harus dikeluarkan untuk memindahkan itulah yang dikategorikan sebagai biaya bongkar muat.

Biaya bongkar muat ditentukan oleh beberapa faktor, seperti jenis komoditi (minyak, bahan kimia, batubara, gandum, hasil hutan, peti kemas), jumlah muatan, jenis kapal, dan karakteristik dari terminal dan pelabuhan. Proses bongkar muat kapal di terminal dilakukan oleh perusahaan bongkar muat atau oleh penerima atau pengirim muatan.

Muatan seperti minyak, bahan kimia, dan segala hal yang berbentuk cair yang ditransportasikan dengan menggunakan kapal tanker mempunyai proses bongkar muat yang sangat sederhana. Minyak atau zat cair lainnya hanya perlu dipompa dari tangki penyimpanan di terminal ke kapal atau sebaliknya tanpa memerlukan bantuan buruh pelabuhan.

Teori biaya transportasi laut digunakan untuk menghitung besarnya biaya-biaya yang timbul akibat pengoperasian kapal desalinasi air laut. Pengoperasian kapal serta bangunan apung laut lainnya membutuhkan biaya yang biasa disebut dengan biaya berlayar kapal (*shipping cost*) (Stopford, 1997)(Wijnolst & Wergeland, 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 desalinasi air laut untuk kurun waktu tertentu (umur ekonomis kapal tersebut).

2.7 Estimasi Harga Kapal

Estimasi harga kapal dihitung dengan menggunakan grafik estimasi harga yang disediakan oleh D.G.M. Watson (1998). Watson membuat estimasi biaya kapal dengan menggunakan fungsi berat beberapa komponen utama kapal, yaitu berat struktur, berat perlengkapan, berat permesinan, dan ditambah dengan biaya yang tidak termasuk dalam berat (*non weight costs*).

2.7.1 Biaya Struktur (*Structural Cost*)

Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya struktur (P_{St}) adalah sebagai berikut:

$$P_{St} \text{ (US \$)} = W_{St} \cdot C_{St} \quad (2.37)$$

Keterangan:

W_{St} = berat baja kapal

C_{St} = pendekatan biaya berat baja per ton

W_{ST} dihitung dengan menggunakan rumus yang disediakan oleh Harvald dan Jensen (1992). Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$W_{St} = (L \cdot B \cdot D_A) \cdot C_s \quad (2.38)$$

$$C_s = C_{so} + 0.064e^{-(0.5u + 0.1u^{2.45})} \quad (2.39)$$

$$D_A = D + \frac{\nabla_A + \nabla_{DH}}{L_{pp} \cdot B} \quad (2.40)$$

Keterangan:

$u = \log_{10} (\Delta/100t)$

$C_{so} = 0.0752 \text{ t/m}^3$ (untuk kapal tanker)

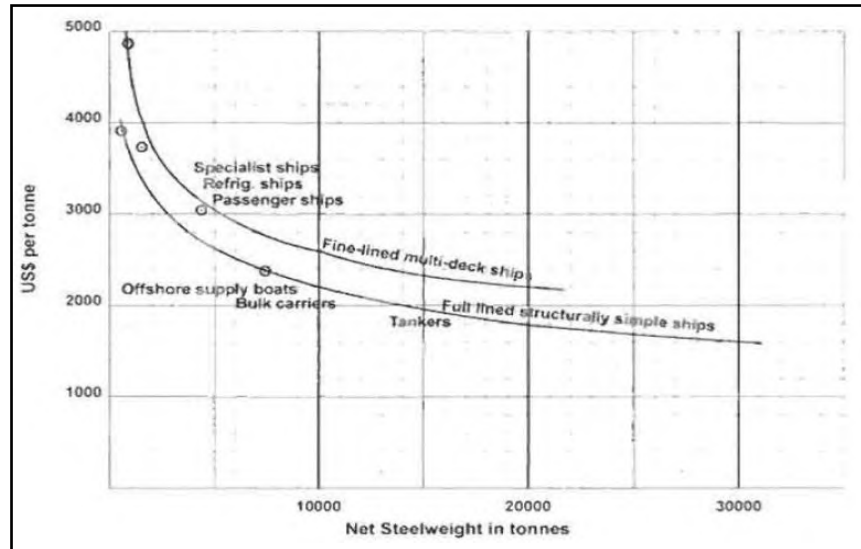
D_A = koreksi tinggi kapal sampai bangunan atas

$D = \text{depth}$ (tinggi kapal)

∇_A = volume bangunan atas

∇_{DH} = volume rumah geladak

C_{ST} dihitung berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan *overhead*. C_{ST} diperoleh dari regresi grafik pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Grafik Estimasi Biaya Struktur per ton
Sumber: (Watson, 1998)

Hasil regresi :

$$Y = a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$$

$$a = 0.0000000000$$

$$b = -0.0000000011$$

$$c = 0.0000297990$$

$$d = -0.3899111919$$

$$e = 3972.1153341357$$

2.7.2 Biaya Perlengkapan (*Outfit Costs*)

Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya perlengkapan ($P_{E\&O}$) adalah sebagai berikut:

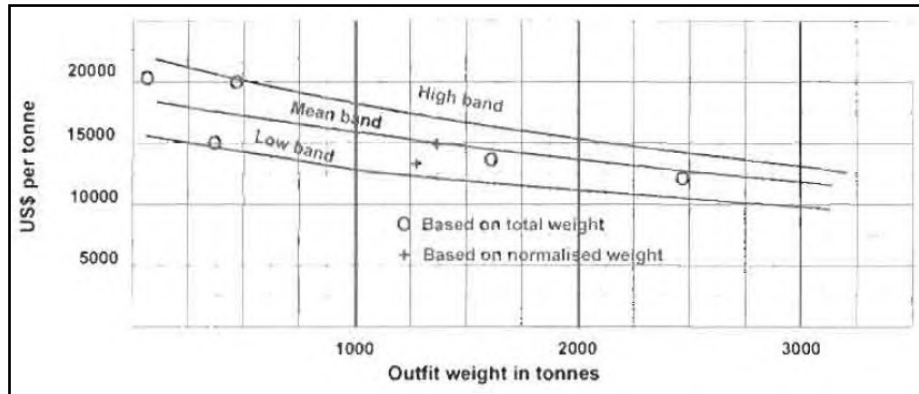
$$P_{E\&O} \text{ (US \$)} = W_{E\&O} \cdot C_{E\&O} \quad (2.41)$$

Keterangan:

$W_{E\&O}$ = berat perlengkapan dan peralatan

$C_{E\&O}$ = pendekatan biaya berat perlengkapan per ton

$C_{E\&O}$ berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material tenaga kerja dan overhead. $C_{E\&O}$ diperoleh dari regresi grafik pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Grafik Perkiraan Biaya Perlengkapan per ton
Sumber: (Watson, 1998)

Hasil regresi :

$$Y = a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$$

$$a = 0$$

$$b = -0.0000001095$$

$$c = 0.0004870798$$

$$d = -3.1578067922$$

$$e = 18440.6636505112$$

2.7.3 Biaya Permesinan (*Machinery Costs*)

Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya perlengkapan (P_{ME}) adalah sebagai berikut:

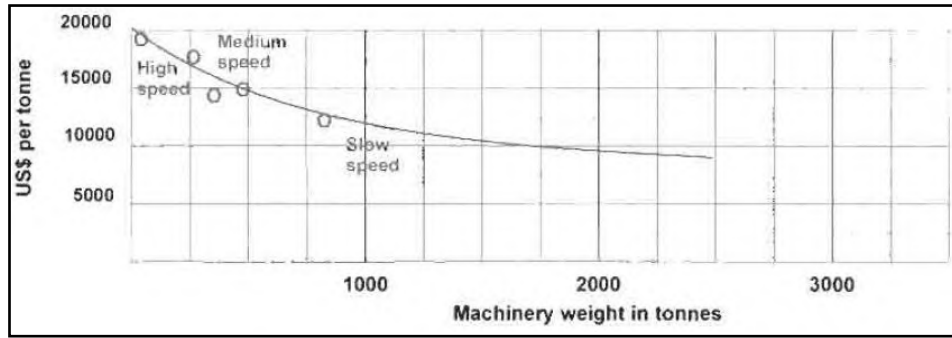
$$P_{ME} (\text{US \$}) = W_{ME} \cdot C_{ME} \quad (2.42)$$

Keterangan:

W_{ME} = berat permesinan

C_{ME} = pendekatan biaya berat permesinan per ton

C_{ME} berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan *overhead*. C_{ME} diperoleh dari regresi grafik pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Perkiraan Biaya Permesinan per ton

Sumber: (Watson, 1998)

Hasil regresi :

$$Y = a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$$

$$a = -0.0000000001$$

$$b = -0.0000002814$$

$$c = 0.0041959716$$

$$d = -11.6043551506$$

$$e = 20016.8963585246$$

2.7.4 Biaya Non Berat (*Non Weight Costs*)

Biaya ini merupakan biaya – biaya uang tidak dapat dikelompokkan dengan ketiga grup biaya sebelumnya. Contohnya :

1. Biaya untuk drawing office labour and overhead.
2. Biaya untuk biro klasifikasi dan Departemen Perhubungan.
3. Biaya consultansi.
4. Biaya tank test.
5. Models cost
6. Launch expenses
7. Drydock cost
8. Pilotage
9. Trial cost.
10. Asuransi
11. Biaya lain – lain.

Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya non berat (P_{NW}) adalah sebagai berikut:

$$P_{NW} (\text{US \$}) = C_{NW} \cdot (P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME}) \quad (2.43)$$

Keterangan:

C_{NW} = biaya non berat, biasanya 7.5% - 12%.

Sehingga Total Biaya adalah:

$$\text{Total Cost (US \$)} = P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME} + P_{NW} \quad (2.44)$$

2.7.5 Biaya Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan yang diberikan oleh Parson (2003), yaitu:

$$W_{FO} = SFR * MCR * \text{range} / \text{speed} * \text{margin} \quad (2.45)$$

Keterangan:

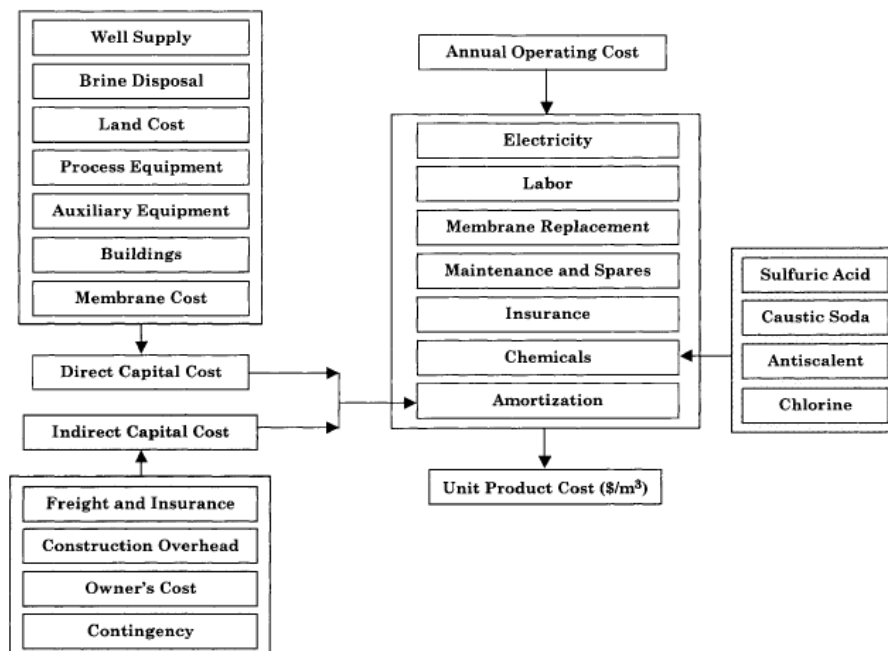
W_{FO} = konsumsi bahan bakar/jam

SFR = *Specific Fuel Rate* (t/kWhr)

MCR = *Maximum Continuous Rating of main engine* (s) (kW)

2.8 Biaya Alat Desalinasi

Secara umum terdapat dua kategori biaya desalinasi, yaitu biaya modal (*capital cost*) dan biaya operasional tahunan (*annual operating cost*) (El-Dessouky & Ettouney, 2002). Gambar 2.8 memperlihatkan elemen biaya dari proses desalinasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, secara umum biaya desalinasi terdiri dari *direct/indirect capital cost* dan *annual operating cost*.



Gambar 2.8. Elemen Biaya Proses Desalinasi
Sumber: (El-Dessouky & Ettouney, 2002)

2.8.1 *Direct Capital Cost*

Direct capital cost terdiri dari biaya pembelian berbagai jenis peralatan, peralatan bantu, biaya lahan, konstruksi, dan bangunan. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing komponen *direct capital cost*.

1. Biaya Lahan

Biaya lahan sangat bervariasi dari nol sampai nilai total yang bergantung dari karakteristik lokasi pembangunan. Lahan yang dimiliki oleh pemerintah biasanya mempunyai harga nol.

2. Sumur Suplai (*well supply*)

Estimasi saat ini mengindikasikan nilai konstruksi sumur suplai sekitar \$650/m. Estimasi rata-rata kapasitas sumur adalah 500 m³/hari.

3. Peralatan Proses (*process equipment*)

Ini merupakan salah satu jenis biaya yang paling banyak dan tergantung dari tipe proses dan kapasitas. Biaya peralatan proses mungkin kurang dari \$1000; contohnya adalah skala laboratorium RO dengan kadar salinitas air rendah. Di sisi lain, biaya peralatan untuk 100.000 m³/hari RO sistem mendekati \$50x10⁶. Biaya peralatan untuk MSF dan MEE lebih mahal dari RO proses dengan estimasi saat ini sekitar \$40x10⁶ untuk kapasitas 27.000 m³/hari. Alat-alat yang termasuk dalam peralatan proses adalah sebagai berikut:

- a. *Instrumentation and controls*
- b. *Pipelines and valves*
- c. *Electric wiring*
- d. *Pumps*
- e. *Process cleaning systems*
- f. *Pre and post-treatment equipment*
- g. *Seawater intake and brine discharge line*
- h. *Chlorination plant*

4. Peralatan Tambahan (*auxiliary equipment*)

Berikut ini adalah beberapa peralatan tambahan yang diperlukan:

- a. *Open intakes or wells*
- b. *Transmission piping*
- c. *Storage tanks*
- d. *Generators and transformers*

- e. *Pumps*
- f. *Pipelines and valves*

5. Biaya Bangunan (*building cost*)

Biaya bangunan sangat bervariasi dari \$100/m² sampai \$1000/m². Biaya ini tergantung dari lokasi pembangunan dan tipe bangunan. Bangunan desalinasi terdiri dari:

- a. Ruang kontrol
- b. Laboratorium
- c. Kantor
- d. Ruang kerja

6. Biaya Membran

Biaya modul membran tergantung dari kapasitas alat desalinasi dan bervariasi antara \$500 sampai \$1000 per modul yang mempunyai biaya produksi antara 50-100 m³/hari.

2.8.2 *Indirect Capital Cost*

Seluruh jenis biaya dalam kategori ini dinyatakan sebagai persentasi dari total biaya kapital langsung. Yang termasuk biaya modal tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. *Freight and Insurance*

Biaya ini sebanding dengan 5% dari *total direct cost*.

2. *Construction Overhead*

Biaya ini sebanding dengan 15% dari *total direct cost*. Yang termasuk biaya tambahan konstruksi adalah sebagai berikut:

- a. *Fringe benefits*
- b. *Labor burden*
- c. *Field supervision*
- d. *Temporary facilities*
- e. *Construction equipment*
- f. *Small tools*
- g. *Miscellaneous*
- h. *Contractor's profit*

3. *Owner's Costs*

Owner's costs adalah biaya desain dan biaya hukum. Biaya ini sebanding dengan 10% dari biaya material langsung dan biaya pekerja, dan kemudian disesuaikan dengan ukuran alat desalinasi.

4. *Contingency*

Proyek kontingensi sebesar 10% dari *total direct costs*.

2.8.3 *Operating Cost*

Biaya operasional meliputi semua pengeluaran yang timbul setelah pabrik selesai dibangun dan selama operasi aktual. Biaya ini mencakup biaya tenaga kerja, energi, bahan kimia, suku cadang, dan lain-lain. Berikut ini memberikan penjelasan singkat dari setiap biaya dan perkiraan biaya saat ini:

1. *Electricity*

Biaya ini bervariasi dari \$0.04-0.09/kWh. Batas atas merupakan karakteristik dari negara Eropa dan batas bawah bisa ditemukan di Negara Teluk US. Atikol & Aybar (2005) memberikan rumus untuk mengestimasi biaya konsumsi listrik per jam, yaitu:

$$E_{\text{pumps}} = (\$/h) = W_{\text{pumps}}(\text{kW}) \times \text{Electricity Rate } (\$/\text{kWh}) \quad (2.46)$$

2. *Labor*

Biaya ini tergantung dari lokasi desalinasi dibangun dan kepemilikan pabrik (dimiliki swasta atau pemerintah).

3. *Membrane Replacement*

Biaya penggantian membran sangat bervariasi antara 5%-20% dari biaya pembelian membran per tahun. Biaya terendah biasanya membran yang digunakan untuk *feedwater* yang memiliki kadar salinitas rendah dan batas atas biaya membran digunakan untuk *feedwater* yang mempunyai kadar salinitas tinggi, biasanya di daerah teluk. Atikol & Aybar (2005) memberikan rumus untuk mengestimasi biaya penggantian membran per tahun, yaitu:

$$C_{\text{memb}} = \frac{\lambda \times P_{\text{memb}}}{V} \quad (2.47)$$

Keterangan:

λ = Nilai diantara 0.05-0.2, tergantung dari salinitas dan kualitas air

P_{memb} = Biaya pembelian membran

V = Volume produksi/tahun

4. *Maintenance and Spares*

Biaya ini sebanding dengan 2% dari *total capital cost* dan dikategorikan sebagai biaya tahunan.

5. *Insurance*

Biaya asuransi sekitar 0.5% dari *total capital cost*.

6. *Chemicals*

Bahan kimia digunakan untuk membersihkan *feedwater* dalam tahap *pretreatment*. Bahan kimia yang umum digunakan dalam proses *pretreatment* adalah asam belerang, soda api, *antiscalent*, dan klorin. Tabel 2.3 menunjukkan estimasi harga bahan kimia yang digunakan untuk desalinasi *thermal* dan desalinasi membran, dan nilai takaran yang diperlukan.

Tabel 2.3. Estimasi Biaya Bahan Kimia dan Nilai Takaran

Chemical	Unit Cost (\$/kg of Chemical)	Dosing Rate (kg Chemical/kg water)	Specific Cost (\$/m ³ water)
Sulfuric acid	0.504	2.42x10 ⁻⁵	0.0122
Caustic soda	0.701	1.4x10 ⁻⁵	0.0098
Antiscalent	1.9	4.99x10 ⁻⁶	0.0095
Chlorine	0.482	4.00x10 ⁻⁶	0.00193

Sumber: (El-Dessouky & Ettouney, 2002)

2.9 *Binary Integer Programming*

Variabel keputusan yang menyatakan keputusan iya atau tidak disebut dengan *binary variabel*. 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. Model *linear programming* (LP) seperti ini disebut dengan *binary integer programming* (BIP) (Hillier & Hillier, 2008).

Seperti halnya LP, BIP sendiri juga bisa diformulasikan pada *spreadsheet*. Excel Solver juga mampu untuk menyelesaikan permasalahan BIP sederhana, namun terkadang gagal untuk menyelesaikan permasalahan yang agak besar (Hillier & Hillier, 2008).

$$x_j \begin{cases} 1, \text{ bila opsi } j \text{ dipilih} \\ 0, \text{ bila opsi } j \text{ tidak dipilih} \end{cases} \quad (2.48)$$

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^n x_j c_j \quad (2.49)$$

Subject to:

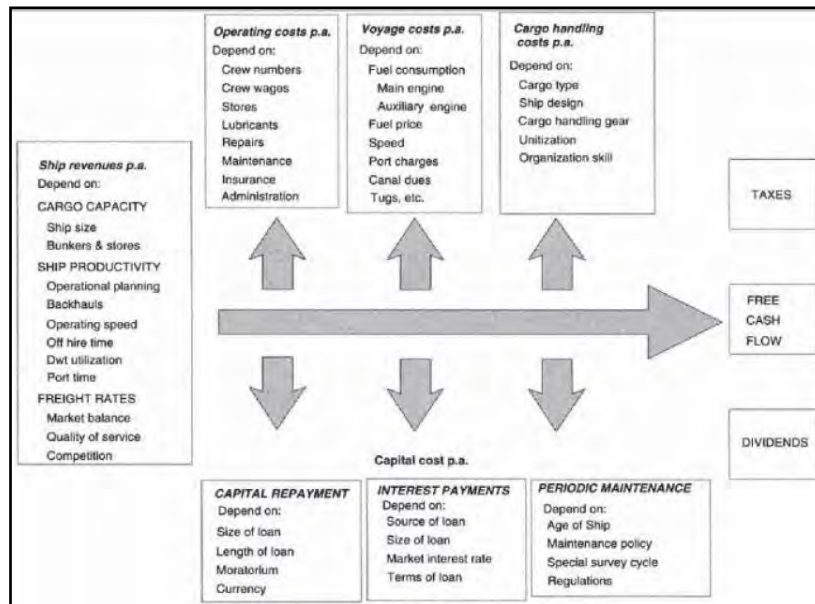
x_j adalah *binary*, untuk $j = 1, 2, 3, \dots, n$ (2.50)

2.10 Model Perhitungan Aliran Kas

Martin Stopford (1997) menyatakan bahwa terdapat tiga variabel yang harus diperhatikan pemilik kapal agar dapat bertahan dalam pasar pelayaran, yaitu:

1. Pendapatan yang diperoleh dari menyewakan/mengoperasikan kapal
2. Biaya pengoperasian kapal
3. Metode pendanaan bisnis

Hubungan diantara jenis aliran kas tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.9. Pendapatan (*revenue*), yang diperoleh dari memperdagangkan kapal, diwakili oleh kotak yang berada di sebelah kiri. Pendapatan yang diperoleh dari pengoperasian kapal tersebut harus dikurangi dengan biaya kapal dan pembayaran modal yang ditunjukkan pada kotak yang berada di tengah-tengah gambar. Biaya-biaya tersebut termasuk biaya operasional (*operating cost*), biaya pelayaran (*voyage cost*), dan biaya bongkar muat (*cargo handling cost*), sedangkan biaya pengembalian modal meliputi bunga bank dan perawatan periodik kapal. Komponen yang tersisa lainnya dapat berupa pajak.



Gambar 2.9. Model Aliran Kas

Sumber: (Stopford, 1997)

Terdapat empat metode analisis aliran kas yang digunakan secara luas dalam dunia pelayaran, masing-masing metode memiliki pendekatan perhitungan aliran kas dari berbagai perspektif (Stopford, 1997), yaitu:

1. *Voyage cashflow (VCF) analysis* adalah teknik yang digunakan untuk membuat keputusan *day-to-day chartering*. Metode ini menghitung aliran kas berdasarkan pelayaran tertentu kapal atau kombinasi dari beberapa pelayaran. Metode ini memberikan dasar perhitungan finansial untuk keputusan operasional seperti pemilihan antara alternatif kesempatan *charter* ketika terdapat beberapa pilihan, atau ketika pengambilan keputusan resei untuk menonaktifkan kapal atau memperbaiki kapal.
2. *Annual cashflow (ACF) analysis* menghitung aliran kas kapal, atau armada kapal berdasarkan tahun. Ini merupakan format umum yang digunakan untuk peramalan aliran kas. Dengan memproyeksikan aliran kas total untuk kegiatan selama satu tahun perhitungan finansial bisa dilihat apakah suatu bisnis secara keseluruhan akan menghasilkan kas yang cukup untuk mendanai operasionalnya setelah memperhitungkan nilai dari beberapa faktor rumit seperti pajak pendapatan, pengembalian modal, dan perawatan periodik.
3. *The required freight rate (RFR) analysis* adalah jenis dari ACF. RFR lebih fokus pada sisi perhitungan biaya, perhitungan pendapatan yang diperlukan kapal untuk menutupi biaya yang diperlukan. Ini berguna bagi pemilik kapal untuk menghitung apakah investasi dari suatu kapal akan menguntungkan dan bagi bankir untuk memutuskan nilai pinjaman yang diberikan.
4. *The discounted cashflow (DCF) analysis* adalah metode perhitungan aliran kas yang berfokus pada nilai uang terhadap waktu (*time value of money*). Metode ini digunakan untuk mengevaluasi/membandingkan beberapa pilihan investasi dimana aliran kasnya berbeda jauh dari waktu ke waktu. Nilai yang digunakan untuk mengetahui kelayakan investasi adalah NPV (*net present value*) investasi selama jangka waktu tertentu.

Dalam Tugas Akhir ini yang dijadikan acuan dalam menghitung aliran kas adalah metode DCF karena investasi bersifat jangka panjang (15 tahun) sehingga harus dianalisis kelayakan investasinya. Pujawan (2009) memberikan rumus untuk menghitung NPV adalah:

$$NPV(i) = \sum_{t=0}^N \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (2.51)$$

dimana:

$NPV(i)$ = nilai sekarang dari keseluruhan aliran kas pada tingkat bunga $i\%$

A_t = aliran kas pada akhir periode t

i = MARR

N = horizon perencanaan (periode)

Suatu investasi dikatakan layak apabila $NPV > 0$ dan tidak layak jika $NPV \leq 0$.

2.10.1 Depresiasi dan Pajak

Depresiasi dan pajak adalah dua faktor yang sangat penting dipertimbangkan dalam studi ekonomi teknik. Walaupun depresiasi tidak berupa aliran kas, namun besar dan waktunya akan mempengaruhi pajak yang akan ditanggung oleh perusahaan. Pajak adalah aliran kas. Oleh karenanya pajak harus dipertimbangkan seperti halnya ongkos-ongkos peralatan, bahan, energi, tenaga kerja, dan sebagainya. Pengetahuan yang baik tentang depresiasi dan sistem pajak akan sangat membantu dalam mengambil keputusan yang berkaitan dengan investasi (Pujawan, 2009).

Banyak metode yang bisa dipakai untuk menentukan beban depresiasi tahunan dari suatu aset. Diantara metode-metode tersebut, yang sering dipakai adalah:

1. Metode garis lurus (*straight line* atau SL)
2. Metode jumlah digit tahun (*sum of years of digit* atau SOYD)
3. Metode keseimbangan menurun (*declining balance* atau DB)
4. Metode dana sinking (*sinking fund* atau SF)
5. Metode unit produksi (*production unit* atau UP)

Dalam Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menghitung depresiasi adalah metode garis lurus karena metode ini cukup banyak dipakai karena perhitungannya cukup sederhana. Metode depresiasi garis lurus didasarkan atas asumsi bahwa berkurangnya nilai suatu aset secara linier (proporsional) terhadap waktu atau umur dari aset tersebut. Besarnya depresiasi tiap tahun dengan metode SL dihitung berdasarkan:

$$D_t = \frac{P-S}{N} \quad (2.52)$$

dimana:

D_t = besarnya depresiasi pada tahun ke- t

P = ongkos awal dari aset bersangkutan

S = nilai sisa dari aset tersebut

N = masa pakai (umur) dari aset tersebut dinyatakan dalam tahun

Besarnya pajak pendapatan yang harus ditanggung oleh sebuah perusahaan bisa dihitung dengan rumus dasar sebagai berikut:

$$P = (TI)T \quad (2.53)$$

dimana:

P = besarnya pajak

TI = pendapatan terkena pajak

T = tingkat pajak yang dikenakan untuk pendapatan terkena pajak sebesar TI.

Pendapatan terkena pajak (*taxable income*) adalah jumlah pendapatan yang akan dikenakan pajak pendapatan sesuai dengan peraturan perpajakan yang berlaku. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$TI = GI - E - D \quad (2.54)$$

dimana:

GI = pendapatan kotor (*gross income*)

E = pengeluaran (*expense*)

D = depresiasi atau penyusutan

2.10.2 Analisis Sensitivitas

Karena nilai-nilai parameter dalam studi ekonomi teknik biasanya diestimasikan besarnya maka jelas nilai-nilai tersebut tidak akan bisa dilepaskan dari faktor kesalahan. Artinya, nilai-nilai parameter tersebut mungkin lebih besar atau lebih kecil dari hasil estimasi yang diperoleh. Atau berubah pada saat-saat tertentu. Perubahan yang terjadi pada nilai parameter tentunya akan mengakibatkan perubahan pula pada tingkat output atau hasil. Perubahan tingkat output atau hasil ini bisa menyebabkan preferensi akan berubah dari satu alternatif ke alternatif yang lainnya (Pujawan, 2009).

Untuk mengetahui seberapa sensitif suatu keputusan terhadap perubahan faktor-faktor atau parameter-parameter yang mempengaruhinya maka setiap proses pengambilan keputusan pada ekonomi teknik hendaknya disertai dengan analisis sensitivitas. Analisis ini akan memberikan gambaran sejauh mana suatu keputusan akan cukup kuat berhadapan dengan perubahan faktor-faktor atau parameter-parameter yang mempengaruhinya.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu saat untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi. Faktor yang biasanya berubah dan perubahannya bisa mempengaruhi keputusan dalam studi ekonomi teknik adalah ongkos investasi, aliran kas, nilai sisa, tingkat bunga, tingkat pajak, dan umur investasi.

2.11 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 mahalannya 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 (Sadhvani, 2005).

Di kapal, desalinasi pertama kali dikembangkan untuk kepentingan komersial. Distilasi, proses yang menggunakan sumber panas untuk memisahkan air dari garam, digunakan untuk memenuhi kebutuhan air minum ABK dan menghindari kemungkinan habisnya pasokan air tawar di kapal (Seigal dan Zelonis, 1995). Selanjutnya, teknologi desalinasi air laut mulai diterapkan pada kapal pesiar dan kapal perang. Pada kapal jenis ini teknologi desalinasi air laut juga digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih penumpang. Desalinasi memungkinkan kapal berjalan jauh untuk waktu yang lebih lama karena tidak perlu lagi untuk mengangkut semua air tawar yang digunakan untuk berlayar sekaligus mengurangi biaya pembangunan tangki air tawar di kapal.

Pada tahun 1983, instalasi desalinasi air laut terapung mulai digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di darat. Teknologi ini menggunakan sebuah kapal yang dilengkapi dengan instalasi desalinasi air laut dan dioperasikan di sekitar wilayah pesisir Abu Dhabi (Fadel, Wangnick, & Wade, 1983). 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. Hasil studi Fadel *et al* (1983) menyimpulkan bahwa *floating plant* lebih ekonomis jika digunakan untuk mensuplai beberapa lokasi sekaligus karena

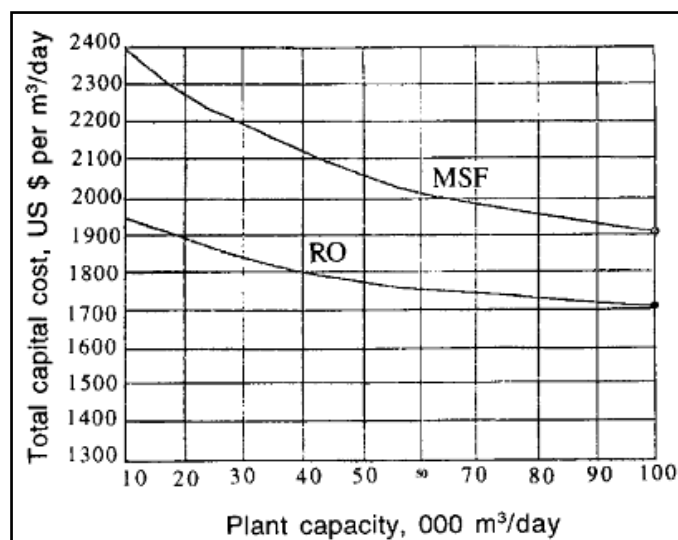
pembangunan pabrik desalinasi darat di beberapa lokasi sangat tidak efisien. Namun jika *floating plant* digunakan untuk mensuplai satu lokasi saja dan dibandingkan dengan penggunaan *shore plant* maka penggunaan *shore plant* jauh lebih murah karena penggunaan *floating plant* memerlukan biaya operasional dan perawatan yang jauh lebih mahal daripada *shore plant*.

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). Selama sepuluh tahun terakhir, RO berkembang dan mendapat perhatian karena jauh lebih ekonomis daripada teknologi MSF untuk desalinasi air laut. Ke depan, teknologi RO akan semakin diterima karena performanya semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi membran (Brandt, 1990). Beberapa penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa teknologi desalinasi dengan metode *reverse osmosis* memiliki banyak kelebihan bila dibandingkan dengan MSF.

Penelitian terhadap perbandingan teknis dan ekonomis RO dan MSF telah dilakukan oleh Darwish et al (1989). Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Konsumsi energi per m³ MSF tiga kali konsumsi energi RO.
2. Volume MSF tiga kali lebih besar daripada yang dibutuhkan RO sedangkan luas area yang diperlukan MSF empat kali lebih besar daripada yang diperlukan RO
3. Struktur MSF yang berat membutuhkan pondasi yang berat dengan struktur yang lebih rumit daripada RO
4. RO tidak menggunakan sumber energi panas dan hanya membutuhkan sumber energi listrik. Pada unit MSF dengan kapasitas 6 juta gallon/hari membutuhkan konsumsi energi panas sebesar 89 MW. Nilai ini bisa sangat mahal bila tidak diekstraksi dari turbin uap.

Ibrahim et al (1995) juga melakukan evaluasi ekonomis terhadap penggunaan RO dan MSF. Hasil yang diperoleh mereka peroleh adalah Biaya Modal RO jauh lebih rendah daripada MSF (Gambar 2.10). Permasalahan korosi juga lebih sedikit ditemukan pada unit RO daripada MSF.



Gambar 2.10. Grafik Perbandingan Biaya Modal antara RO dan MSF

Sumber : (Ibrahim & Al-Mutaz, 1995)

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa desalinasi dengan metode *reverse osmosis* sangat mungkin diaplikasikan di kapal karena ukurannya jauh lebih kecil daripada MSF dan sumber energinya adalah energi listrik. Sehingga penambahan hanya diperlukan untuk ruang generator dan ruang alat desalinasi sesuai dengan kapasitas produksi.

Pembangunan instalasi desalinasi terapung dengan menggunakan teknologi RO sudah pernah dilakukan pada tahun 1997 dan digunakan untuk mensuplai air minum ke wilayah pesisir yang gersang. Teknologi ini disebut dengan PCS-Preussag Conversion System (Lampe, Altmann, & J. Gatjens, 1997). Nama Preussag Conversion System (PCS) mengacu pada konversi air laut menjadi air minum dan konversi kapal konvensional sebelumnya menjadi instalasi desalinasi terapung yang dapat bergerak. Jenis kapal yang dikonversi adalah kapal tanker berlambung tunggal. Digunakannya kapal tanker jenis ini karena konsep desain kapal tersebut telah dilarang penggunaannya karena berpotensi membahayakan ekologi ketika lambung kapal bocor sehingga menyebabkan minyak tumpah ke laut.

Dalam laporannya Lampe, Altmann, dan J. Gatjens menyebutkan beberapa alasan mengapa teknologi RO dipilih karena teknologi ini memberikan beberapa manfaat bila dibandingkan dengan desalinasi dengan proses panas (*thermal processes*), yaitu:

1. Biaya investasi dan operasi yang lebih rendah.
2. Kebutuhan ruang yang lebih sedikit.

3. Hanya membutuhkan energi listrik, tanpa menggunakan energi panas uap.

Penelitian lainnya yang terkait dengan teknologi desalinasi terapung adalah penelitian yang dilakukan oleh Boussad Chouaki (2004). Penelitian ini mendeskripsikan konstruksi dan operasi kapal yang dilengkapi dengan instalasi desalinasi air laut pada jenis kapal tertentu, yaitu kapal LNG dan kapal tanker. Penelitian ini membandingkan alternatif sistem yang disebut dengan *AquaTanker-borne Desalination Plant* (Aqua TDP) dan *Ship-borne Seagoing Seawater Desalination Plant* (SSSDP atau S3DP). Aqua TDP adalah sistem dimana kapal desalinasi air laut dibuat dengan mengkonversi kapal yang telah ada namun kapal tersebut bisa diubah kembali menjadi kapal semula. Agar kapal bisa diubah menjadi kapal desalinasi dan jika diperlukan bisa diubah lagi seperti kondisi semula diperlukan inovasi pada tangki dengan melapisi tangki penyimpanan dengan kantong besar yang terbuat dari HDPE *geomembrane*. Sedangkan S3DP adalah kapal yang memang didesain khusus untuk melakukan proses desalinasi sehingga tidak bisa diubah kembali menjadi kapal semula.

Inovasi terkini dari teknologi instalasi desalinasi terapung adalah instalasi terapung yang dikembangkan oleh Water Standard dan disebut dengan *Seawater Desalination Vessel* (SDV). SDV adalah teknologi RO dan kapal tanker yang dikombinasikan dan menghasilkan instalasi desalinasi terapung sehingga memenuhi kebutuhan air bersih dalam jumlah yang besar dan ramah lingkungan. SDV berlokasi di lepas pantai dimana pada umumnya terdapat kualitas air yang bagus dengan padatan tersuspensi yang sedikit, sehingga mengurangi biaya *pre-treatment* yang berhubungan dengan listrik, bahan kimia, dan pembuangan limbah. Air laut diambil melalui *intake water system* menggunakan pompa kecepatan rendah sehingga mengurangi dampak pada kehidupan laut. *Intake water system* ini dilengkapi dengan layar pasif yang meminimalkan *entrainment* dan *entrapment*. Air buangan disebarkan kembali ke laut melalui *Discharge Water System* dengan kontrol pencemaran yang ketat. (Water Standard, 2009).

Tabel 2.4. Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

Peneliti dan Objek Penelitian	Ukuran-ukuran Kinerja yang Digunakan
Sadhwani, J. J., Veza, J. M., & Santana, C. (2005). Case Studies on Environmental Impact of Seawater Desalination. <i>Elsevier</i> , 1-8.	Makalah ini menguraikan dampak yang ditimbulkan dari pembangunan desalinasi darat baik efek terhadap lingkungan maupun terhadap kehidupan masyarakat disekitar area desalinasi
Fadel, M., Wangnick, K., & Wade, N. (1983). Floating Desalination Plant An Engineering, Operating And Economic Appraisal. <i>Elsevier</i> , 49-63.	Penelitian ini membandingkan biaya yang diperlukan untuk membangun instalasi desalinasi terapung dengan instalasi desalinasi darat.
Brandt, D. (1990). Seawater Reverse Osmosis - An Economic Alternative. <i>Elsevier</i> , 177. Darwish, M., Jawad, M. A., & Aly, G. (1989). Technical and Economical Comparison Between Large Capacity Multi Stage Flash and Reverse Osmosis Desalting Plants. <i>Elsevier</i> , 378. Ibrahim S., & Al-Mutaz. (1995). A comparative study of RO and MSF desalination plants. <i>Elsevier</i> , 105-106. Ebrahim, S., & Abdel-Jawad, M. (1993). Economics of Seawater Desalination by Reverse Osmosis. <i>Elsevier</i> , 39-55.	Penelitian ini membandingkan beberapa teknik desalinasi air dengan hasilnya berupa teknologi RO merupakan teknologi desalinasi yang paling murah dan akan terus berkembang di masa mendatang.
Lampe, H., Altmann, T., & J. Gatjens, H. (1997). PCS - Preussag Conversion System Mobile Floating Seawater Desalination Plant. <i>Elsevier</i> , 145-151.	Studi ini menganalisis teknis konversi kapal tanker berlambung tunggal menjadi kapal desalinasi air laut dan memberikan gambaran umum mengenai kelebihan instalasi desalinasi terapung dengan instalasi desalinasi darat.
Chouaki, B. (2004). Aqua TDP/S3DP plants and systems. Floating ship-borne modular dismountable seawater desalination plant <i>Elsevier</i> , 369-375.	Penelitian ini membandingkan alternatif sistem yang disebut dengan <i>AquaTanker-borne Desalination Plant</i> (Aqua TDP) dan <i>Ship-borne Seagoing Seawater Desalination Plant</i> (SSSDP atau S3DP).
Water Standard. (2009). waterstandard.com. Dipetik September 15, 2010, dari http://www.waterstandard.com/vessel.html	Water Standard mengembangkan teknologi instalasi desalinasi terapung, yaitu <i>seawater desalination vessel</i> (SDV). SDV adalah kombinasi antara teknologi RO dan kapal tanker sehingga menghasilkan instalasi desalinasi terapung yang ramah lingkungan.

Dari Tabel 2.4 dapat disimpulkan bahwa hal-hal yang telah diteliti adalah:

1. Efek limbah desalinasi darat terhadap lingkungan
2. Analisis teknis pembangunan instalasi desalinasi terapung dan perbandingan biayanya dengan instalasi desalinasi darat.
3. Sistem instalasi RO di atas kapal dan teknik konversi kapal tanker berlambung tunggal menjadi instalasi desalinasi terapung.
4. Jenis kapal yang sesuai untuk dikonversi menjadi instalasi desalinasi terapung dan inovasi agar kapal yang telah dikonversi bisa dikembalikan lagi ke fungsi semula.

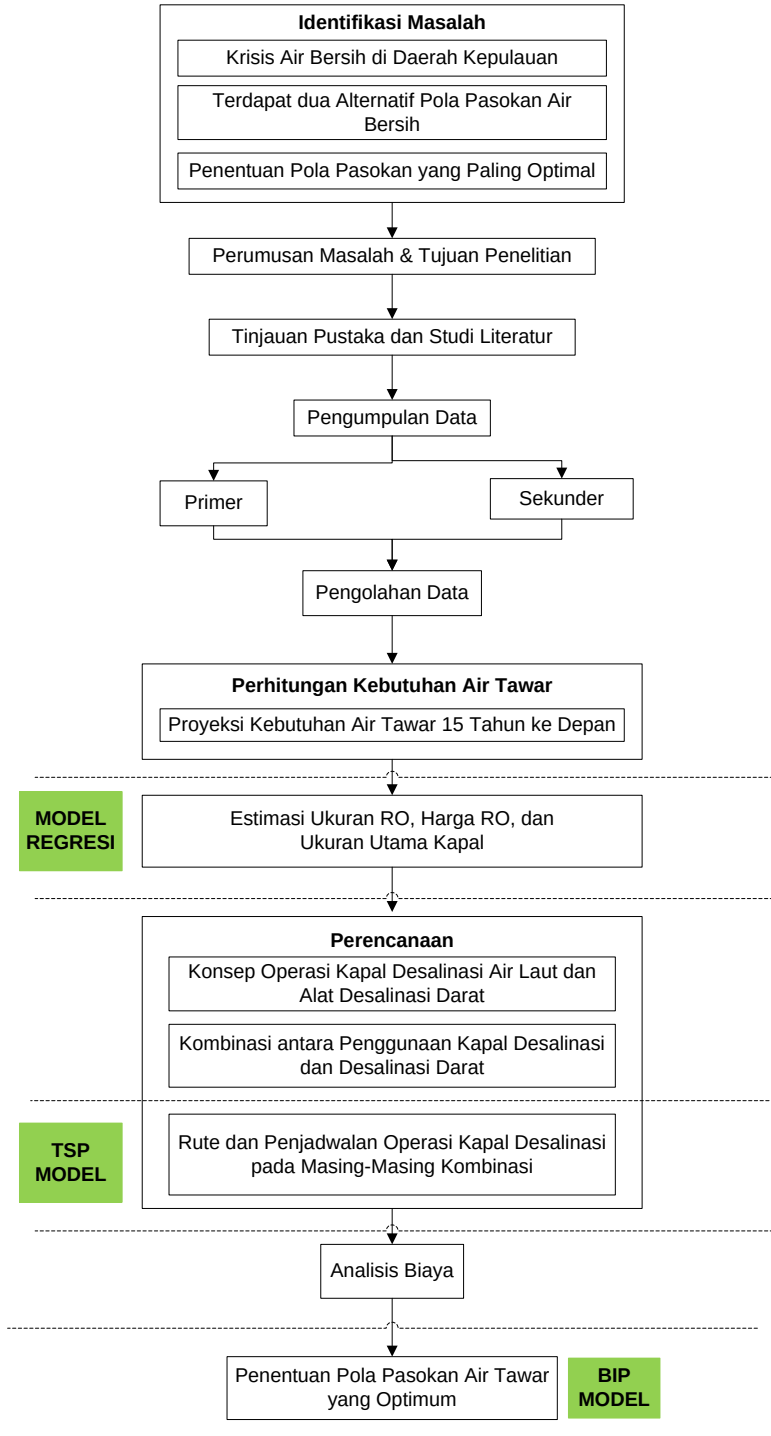
Dengan mengacu pada pembahasan di atas, dapat diketahui hal yang belum diteliti terkait dengan operasi kapal dan diteliti dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Pola operasi kapal terkait dengan fungsi kapal yang unik, yaitu memproduksi air di tengah laut kemudian mendistribusikannya ke daerah yang memerlukan.
2. Pembuangan limbah desalinasi yang harus sesuai dengan peraturan yang tertera dalam MARPOL 73/78.
3. Pola operasi kapal yang sesuai jika kapal mensuplai beberapa daerah sekaligus.
4. Kombinasi antara penggunaan instalasi desalinasi darat dan instalasi desalinasi terapung untuk mensuplai air bersih di wilayah kepulauan sehingga diperoleh biaya operasi yang murah.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir 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

3.1.1 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.

3.1.2 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.

3.1.3 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

3.1.4 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.

3.1.5 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.

3.1.6 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).

3.1.7 Analisis Biaya dan Optimasi

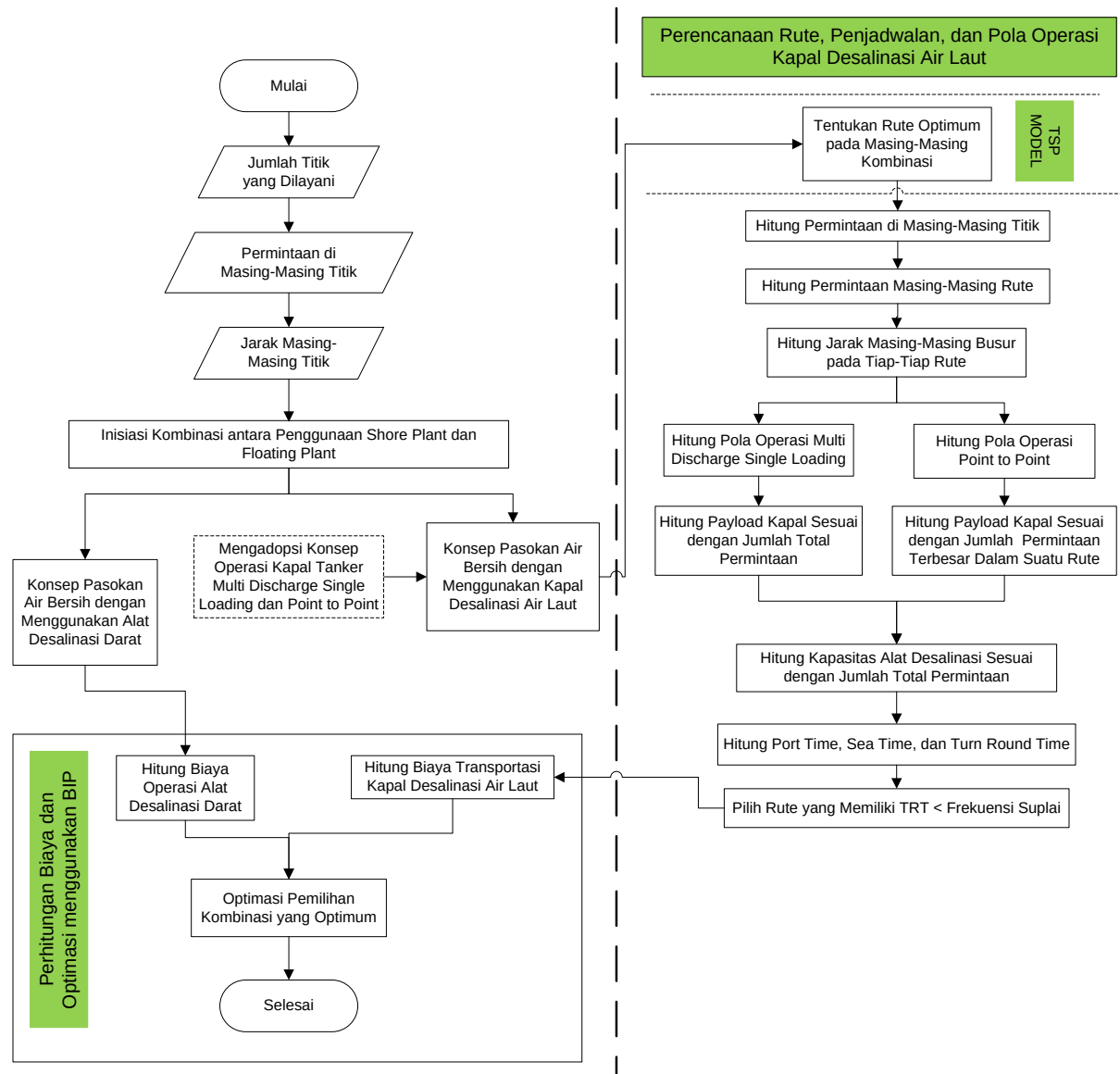
Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya masing-masing kombinasi yang layak sesuai dengan kriteria yang ada. Setelah dilakukan perhitungan biaya maka langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi dengan menggunakan model matematika *binary integer programming*.

3.1.8 Kesimpulan dan Saran

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

3.2 Model Transportasi

Model perhitungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada



Gambar 3.2. Model Perhitungan Tugas Akhir

Model perhitungan Tugas Akhir pada Gambar 3.2. dijelaskan sebagai berikut:

1. Hal yang pertama kali harus diidentifikasi adalah jumlah titik yang akan dilayani, permintaan di masing-masing titik, dan jarak antar titik.
2. Inisiasi kombinasi antara penggunaan *shore plant* (SP) dan *floating plant* (FP). Jumlah kombinasi ini bisa dihitung dengan menggunakan kaidah kombinasi,

yaitu banyaknya kemungkinan dengan tidak memperhatikan urutan; misal jika terdapat n titik dan r titik akan disuplai dengan menggunakan FP, sisanya menggunakan SP. Jumlah kemungkinan kombinasi yang terjadi adalah:

$${}_nC_r = \frac{n!}{(n-r)!r!} \quad (3.1)$$

3. Langkah selanjutnya adalah merencanakan konsep pasokan air bersih dengan menggunakan kapal desalinasi air laut dan dengan menggunakan alat desalinasi darat. Untuk konsep pasokan air bersih dengan menggunakan alat desalinasi darat tidak akan dibahas terlalu mendalam karena objek utama penelitian adalah pasokan air bersih dengan menggunakan kapal desalinasi air laut.
4. Penentuan rute dilakukan dengan menggunakan konsep TSP yang diselesaikan dengan metode *mix integer linear programming* (MIP). Model matematis penyelesaian TSP dengan menggunakan metode *mix integer linear programming* dan kendala waktu dapat dilihat pada pers. **Error! Reference source not found.** sampai **Error! Reference source not found.**.
5. Setelah rute terbentuk, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu operasi dan menentukan ukuran kapal berdasarkan dua model operasi yang ada, yaitu model operasi *multi discharge single loading* dan model operasi *point to point*.
6. Kemudian kapasitas alat desalinasi yang dipasang di kapal disesuaikan dengan jumlah permintaan/hari pada masing-masing rute.
7. Hitung *port time*, *sea time*, dan *turn round time* masing-masing rute.
8. Setelah waktu operasi seluruh rute dihitung, langkah selanjutnya adalah memilih rute yang *feasible*, yaitu rute yang memiliki TRT < frekuensi suplai. Misalkan frekuensi suplai adalah 24 jam sekali, maka TRT kapal harus kurang dari 24 jam agar kapal tersebut mampu mensuplai sesuai jadwal sehingga tidak terjadi *shortage* air bersih.
9. Tahap terakhir adalah perhitungan biaya dan optimisasi menggunakan *binary integer programming* (BIP) yang terdapat pada Persamaan **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.**, dan **Error! Reference source not found.**. Pada tahap ini masing-masing rute yang *feasible* dan konsep alat desalinasi yang dipasang pada masing-masing titik dihitung

biayanya sehingga diperoleh beberapa pilihan untuk memasok air bersih. Tujuan dari optimasi adalah melayani semua titik permintaan dengan biaya termurah.

BAB 4. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus dalam Tugas Akhir ini adalah wilayah Kepulauan Seribu. Kepulauan Seribu terdiri atas 110 pulau, 10 diantaranya dihuni penduduk sedangkan pulau lainnya digunakan untuk rekreasi, cagar alam, cagar budaya dan peruntukan lainnya. Luas Kepulauan Seribu kurang lebih 108.000 ha, terletak di lepas pantai utara Jakarta dengan posisi memanjang dari Utara ke Selatan yang ditandai dengan pulau-pulau kecil berpasir putih dan gosong-gosong karang (Ariadi, 2005).

Dari 10 pulau yang dihuni tersebut hanya 8 pulau yang mengalami krisis air bersih yaitu P. Untung Jawa, P. Lancang Besar, P. Pari, P. Payung, P. Tidung, P. Pramuka, P. Panggang, P. Karya, P. Harapan, dan P. Bira (Presentasi Bupati Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu, 2011) sehingga air bersih harus disuplai dari luar pulau atau menggunakan alat desalinasi yang dibangun di pulau tersebut. Lokasi kedelapan pulau tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan jarak antar pulau disajikan pada Tabel 4.2. Untuk memudahkan dalam pembahasan, digunakan alphabet dalam pemberian nama titik yang menjadi lokasi operasi (Tabel 4.1) dan peta digambar ulang (Gambar 4.2) sehingga lokasi operasi terlihat lebih jelas.

Tabel 4.1. Nama Lokasi dan Huruf yang Mewakilinya

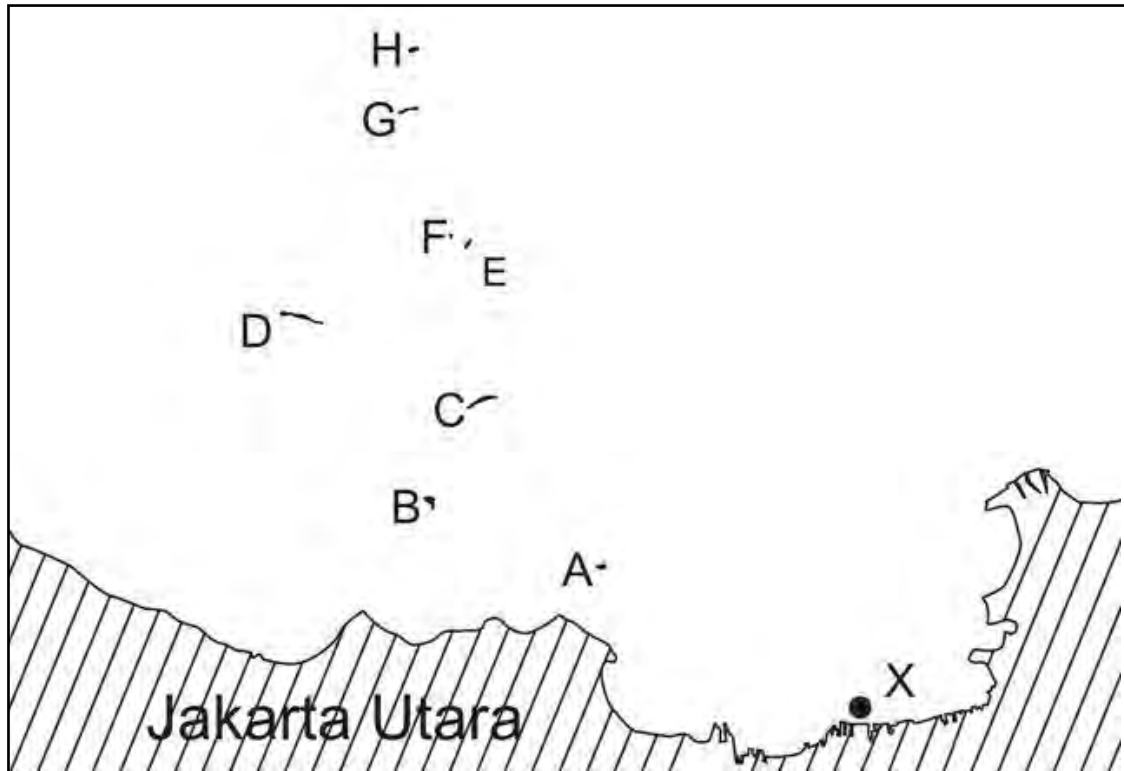
No	Huruf	Nama Lokasi
1	X	Tanjung Priok
2	A	P. Untung Jawa
3	B	P. Lancang
4	C	P. Pari
5	D	P. Tidung
6	E	P. Pramuka
7	F	P. Panggang
8	G	P. Harapan
9	H	P. Bira

Tabel 4.2. Matriks Jarak Kepulauan Seribu

Satuan Nm	Matriks Jarak								
Dari-Ke	Tanjung Priok	P. Untung Jawa	P. Lancang	P. Pari	P. Tidung	P. Pramuka	P. Panggang	P. Harapan	P. Bira
Tanjung Priok	0	12.2	20	20.3	28.4	25	27	30.4	31.4
P. Untung Jawa	12.2	0	8.2	8.1	8	14.2	15.2	20	22.3
P. Lancang	20	8.2	0	5.1	9.1	10.7	11.2	16.2	18.22
P. Pari	20.3	8.1	5.1	0	9.1	6.5	7.1	12.2	15
P. Tidung	28.4	8	9.1	9.1	0	8.1	6.1	9.1	11.6
P. Pramuka	25	14.2	10.7	6.5	8.1	0	2	6.1	7.7
P. Panggang	27	15.2	11.2	7.1	6.1	2	0	5.1	7.1
P. Harapan	30.4	20	16.2	12.2	9.1	6.1	5.1	0	2.5
P. Bira	31.4	22.3	18.22	15	11.6	7.7	7.1	2.5	0



Gambar 4.1. Pulau di Kepulauan Seribu yang Mengalami Krisis Air Bersih
Sumber: (Dinas Hidro-Oseanografi, 2010)



Gambar 4.2. Objek Penelitian

4.2 Estimasi Kebutuhan Air Bersih

Estimasi kebutuhan air tawar penduduk Kepulauan Seribu dilakukan dengan cara memperhitungkan konsumsi air per orang per hari. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Direktorat Pengembangan Air Minum pada tahun 2006 mengindikasikan bahwa setiap orang Indonesia rata-rata mengkonsumsi air sebanyak 144 liter/hari. Dari sejumlah itu pemakaian terbesar untuk keperluan mandi, yakni sebanyak 65 liter per orang per hari atau 45% dari total pemakaian air. Sehingga kebutuhan air tawar penduduk Kepulauan Seribu dapat dihitung dengan cara mengalikan rata-rata konsumsi air (144 liter/hari) dengan jumlah penduduk di masing-masing pulau.

Dalam penelitian ini, perencanaan pemenuhan kebutuhan air tawar dilakukan selama jangka waktu 15 tahun sesuai dengan umur ekonomis kapal sehingga diperlukan estimasi jumlah penduduk pada lima belas tahun mendatang (2025). Untuk menghitung estimasi jumlah penduduk tersebut diperlukan data jumlah penduduk di Kepulauan Seribu pada tahun-tahun sebelumnya. Data jumlah penduduk di Kepulauan Seribu dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Jumlah Penduduk di Kepulauan Seribu Tahun 1995-2010

TAHUN	Jumlah Penduduk
1995	13480
1996	14005
1997	14678
1998	15390
1999	15632
2000	16391
2001	16716
2002	16942
2003	17423
2004	18096
2005	17423
2006	18184
2007	18413
2008	19279
2009	20318
2010	19571

Sumber : Biro Pusat Statistik, 2010

Sebelum dilakukan peramalan, data yang digunakan untuk meramal harus memenuhi tiga uji asumsi regresi, yaitu uji normalitas, independent, dan homokedastisitas. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan metode Kormogolov-Smirnov, uji independent menggunakan metode statistik Durbin-Watson (Persamaan **Error! Reference source not found.** , dan uji homokedastisitas menggunakan metode Glejser. Hasil uji asumsi menunjukkan bahwa data jumlah penduduk memenuhi semua kriteria uji asumsi (Tabel 4.4).

Tabel 4.4. Uji Asumsi Data Jumlah Penduduk

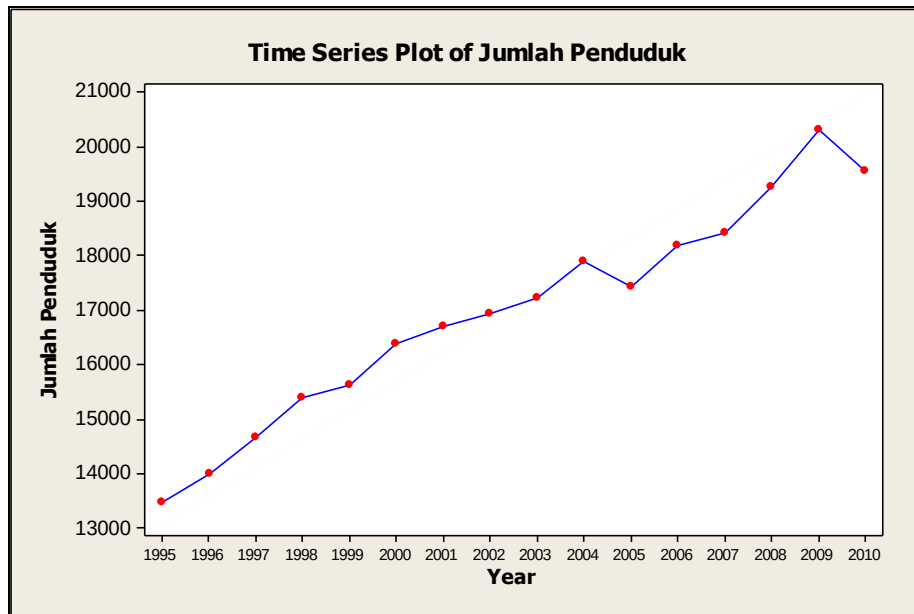
Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.150	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 1.63621	$dL < d < 4-dU$, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	$dL = 1.10$, $dU = 1.37$, $4-dU = 2.63$	
Uji Homokedastisitas	$P = 0.0000$	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	$P' = 0.257$	

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, dilakukan *time series plot* (Gambar 4.3) sehingga dapat diketahui pola data tersebut. Hasil pengamatan terhadap pola data adalah sebagai berikut:

1. Kelompok data merupakan *time series* karena menunjukkan serangkaian data yang merupakan fungsi dari waktu.
2. Data tidak menunjukkan pola musiman.

3. Data cenderung menunjukkan pola yang meningkat setiap tahunnya.

Proyeksi dilakukan lima belas tahun ke depan berarti tujuan peramalan bersifat jangka panjang (*long term*). Sehingga dengan mengetahui karakteristik data maka dapat dilakukan pemilihan model yang tepat untuk proses proyeksi. Jenis model peramalan yang memenuhi kriteria tersebut di atas adalah *linear trend model* dan *exponential growth*.



Gambar 4.3. Time Series Plot Data Jumlah Penduduk

Hasil analisis statistik terhadap kedua jenis model (linear dan eksponensial) ditunjukkan pada Tabel 4.5. Masing-masing model diuji statistik menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found. - Error! Reference source not found.**. Dari analisis tersebut dipilih model yang memiliki nilai uji statistik paling kecil, yaitu *linear trend model*. Hasil analisis peramalan dengan menggunakan *linear trend model* pada perangkat lunak *Minitab 14* disajikan pada Tabel 4.6. Jumlah penduduk pada tahun 2025 sesuai dengan hasil proyeksi adalah 26.030 orang.

Tabel 4.5. Hasil Uji Statistik Masing-Masing Model Peramalan

Kriteria	Linear Trend Model	Eksponential Growth
ME	0.000	3.3711
MAD	304	351
SSE	2034137	2550336
MSD	127134	159396
SDE	368	412
MPE	-0.053	-0.030
MAPE	1.78	2.08

Tabel 4.6. Hasil Proyeksi Jumlah Penduduk Kepulauan Seribu

Period	Forecast
2011	20448
2012	20857
2013	21266
2014	21674
2015	22083
2016	22492
2017	22901
2018	23310
2019	23719
2020	24128
2021	24537
2022	24946
2023	25355
2024	25764
2025	26030

Setelah jumlah penduduk Kepulauan Seribu pada tahun 2025 diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah penduduk di pulau-pulau yang berpenghuni sehingga diperoleh permintaan air bersih di masing-masing pulau. Perhitungan jumlah penduduk di masing-masing pulau dilakukan dengan cara mengalikan jumlah penduduk total dengan Prosentase distribusi penduduk di masing-masing pulau (Tabel 4.7).

Tabel 4.7. Distribusi Penduduk di Kepulauan Seribu

No	Nama Pulau	Distribusi Penduduk
1	P. Untung Jawa	22.35%
2	P. Lancang	7.98%
3	P. Pari	6.13%
4	P. Tidung	21.71%
5	P. Pramuka	9.58%
6	P. Panggang	19.80%
7	P. Harapan	8.94%
8	P. Bira	2.33%
9	P. Payung	0.54%
10	P. Karya	0.64%

Sumber: Biro Pusat Statistik, 2010

Hasil perhitungan kebutuhan air tawar di masing - masing pulau pada tahun 2025 disajikan dalam Tabel 4.8. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa Pulau Untung Jawa merupakan pulau dengan konsumsi air terbanyak, yaitu 860 m³/hari, disusul dengan Pulau Tidung sebesar 836 m³/hari, dan Pulau Panggang 762 m³/hari. Pulau Karya dan Pulau Payung merupakan pulau yang konsumsi airnya paling sedikit, yaitu masing-masing sebesar 25 m³/hari dan 21 m³/hari.

Tabel 4.8. Kebutuhan Air Tawar di Masing-Masing Pulau Tahun 2025

No	Nama Pulau	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Tawar/Hari	
			Liter	m ³
1	P. Untung Jawa	5,818	837,747	838
2	P. Lancang	2,078	299,195	299
3	P. Pari	1,596	229,782	230
4	P. Tidung	5,651	813,811	814
5	P. Pramuka	2,493	359,034	359
6	P. Panggang	5,153	742,005	742
7	P. Harapan	2,327	335,099	335
8	P. Bira	607	87,365	87
Total		26,030	3,748,320	3,748

Dalam satu tahun operasi, kapal harus menjalani perawatan (*docking*) sehingga harus dipersiapkan cadangan air tawar di depo agar tidak terjadi kekurangan air tawar. Oleh karena itu kapasitas depo dibuat 12 kali lebih besar daripada kebutuhan air tawar/hari dengan asumsi bahwa kapal menjalani masa perawatan selama 10 hari sehingga pada periode tersebut tidak akan terjadi kekurangan air tawar. Untuk mengisi cadangan air tersebut, kapal akan mensuplai air yang lebih banyak daripada permintaan yang seharusnya. Tabel 4.9 menyajikan hasil perhitungan jumlah air tawar yang harus disuplai setiap hari oleh kapal desalinasi.

Tabel 4.9. Jumlah Air Tawar yang Harus Disuplai Setiap Hari

No	Nama Pulau	Kebutuhan Air Tawar/Hari	Tambahan Suplai Tiap Hari (m ³)	Suplai per Hari (m ³)	Volume Depot (m ³)
		m ³			
1	P. Untung Jawa	838	79	917	13,404
2	P. Lancang	299	28	327	4,787
3	P. Pari	230	22	251	3,677
4	P. Tidung	814	77	890	13,021
5	P. Pramuka	359	34	393	5,745
6	P. Panggang	742	70	812	11,872
7	P. Harapan	335	32	367	5,362
8	P. Bira	87	8	96	1,398

Jumlah air tawar yang harus disuplai di Kepulauan Seribu diprediksi tidak akan bertambah lagi karena terbatasnya daya dukung wilayah terhadap pertambahan penduduk. Secara konseptual, pemanfaatan pulau kecil hendaknya berbasis pada konservasi, yakni luas wilayah daratan yang dimanfaatkan untuk kegiatan sosial ekonomi dan demografi hanya sekitar 50% dari total luas wilayah pulau (Bengen, 2004). Untuk itu kepadatan penduduk pulau kecil seperti di Kepulauan Seribu hendaknya tidak lebih dari 20 orang per km² atau setara dengan 20 orang per 100 ha. Sedangkan untuk masyarakat dengan karakter urban memiliki tingkat kepadatan ideal adalah 75 jiwa per hektar (Kompas, 2008). Dari hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.10

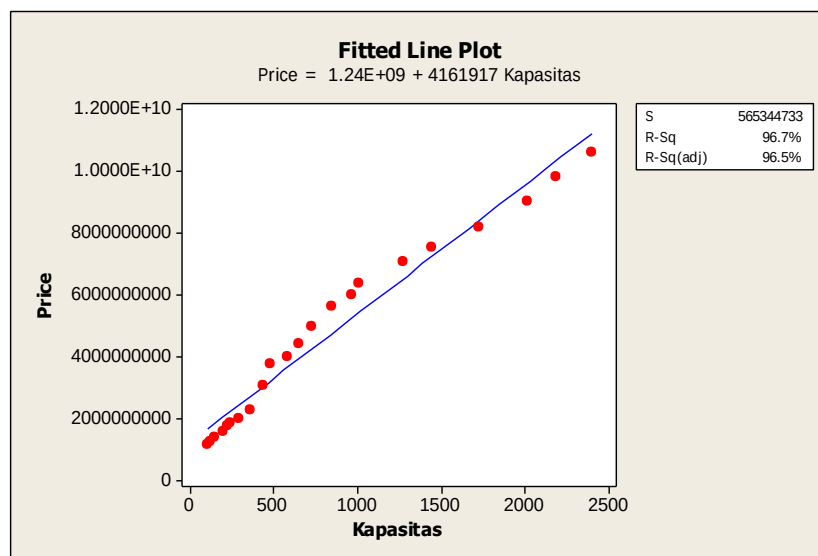
diperoleh hasil bahwa kepadatan penduduk di Kepulauan Seribu pada tahun 2025 telah melebihi nilai ideal jika dibandingkan dengan dua teori yang dikemukakan sebelumnya sehingga diasumsikan tidak akan terjadi penambahan penduduk lagi di Kepulauan Seribu.

Tabel 4.10. Perhitungan Kepadatan Penduduk Tahun 2025

No	Nama Pulau	Kebutuhan Air Tawar/Hari	Luas Wilayah (Ha)	Kepadatan Penduduk/Ha
		m ³		
1	P. Untung Jawa	838	40	145
2	P. Lancang	299	15	139
3	P. Pari	230	15	106
4	P. Tidung	814	50	113
5	P. Pramuka	359	16	156
6	P. Panggang	742	35	147
7	P. Harapan	335	15	155
8	P. Bira	87	6	101

4.3 Alat Desalinasi

Data alat desalinasi diperlukan untuk mengestimasi biaya modal dan biaya operasi. Data alat desalinasi diperoleh dari survei yang dilakukan di perusahaan pengolahan air (*water treatment*). Untuk mempermudah mengestimasi biaya, data yang diperoleh dari survei diolah menjadi suatu model linier ordo pertama menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found.** Setelah model regresi diperoleh maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji asumsi, yaitu uji normalitas, uji homokedastisitas, dan uji independent. Setelah semua uji asumsi terpenuhi langkah terakhir adalah melakukan pengujian terhadap model regresi uji *F* dan uji *t-student*.



Gambar 4.4. Grafik Kapasitas Produksi Terhadap Harga Alat Desalinasi
Sumber: Hasil Survei

Gambar 4.4 menunjukkan grafik kapasitas produksi terhadap harga alat desalinasi. Data tersebut kemudian diolah dan dilakukan regresi sehingga diperoleh persamaan untuk mengestimasi harga alat desalinasi. Persamaan regresi linear kapasitas produksi terhadap harga alat desalinasi adalah:

$$y = 4.161.917x + 1.242.618.657 \quad (4.1)$$

Keterangan: x = kapasitas produksi (m³/hari)

y = harga alat desalinasi (Rp)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier kapasitas produksi vs harga alat desalinasi menunjukkan bahwa model regresi pada Persamaan (4.1) tidak memenuhi uji independent (Tabel 4.11).

Tabel 4.11. Hasil Uji Asumsi Regresi Kapasitas Produksi Vs Harga Alat Desalinasi

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov >0.150	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 0.201570	dL < d < 4-dU, Tolak H_0 , terdapat autokorelasi positif
	dL = 1.13, dU = 1.38, 4-dU = 2.62	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.467	

Karena model regresi tidak memenuhi uji independent maka data harus ditransformasi dengan menggunakan metode regresi beda (Persamaan **Error! Reference source not found.**). Hasil model regresi setelah dilakukan transformasi adalah:

$$Y - Y_{t-1} = 2.1 - 0.0183 (X - X_{t-1}) \quad (4.2)$$

Kemudian model regresi yang baru, yaitu Persamaan (4.2) diuji asumsi kembali.

Hasilnya adalah Persamaan (4.2) memenuhi seluruh uji asumsi (Tabel 4.12).

Tabel 4.12. Hasil Uji Asumsi Regresi Kap. Produksi Vs Harga Alat Desalinasi yang Baru

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov >0.150	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 1.24574	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.13, dU = 1.38, 4-dU = 2.62	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.365	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas kapasitas produksi memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat harga alat desalinasi (Tabel 4.13). Dengan demikian, Persamaan (4.2) dapat digunakan untuk mengestimasi harga alat desalinasi.

Tabel 4.13. Hasil Uji Model Regresi Kapasitas Produksi Vs Harga Alat Desalinasi

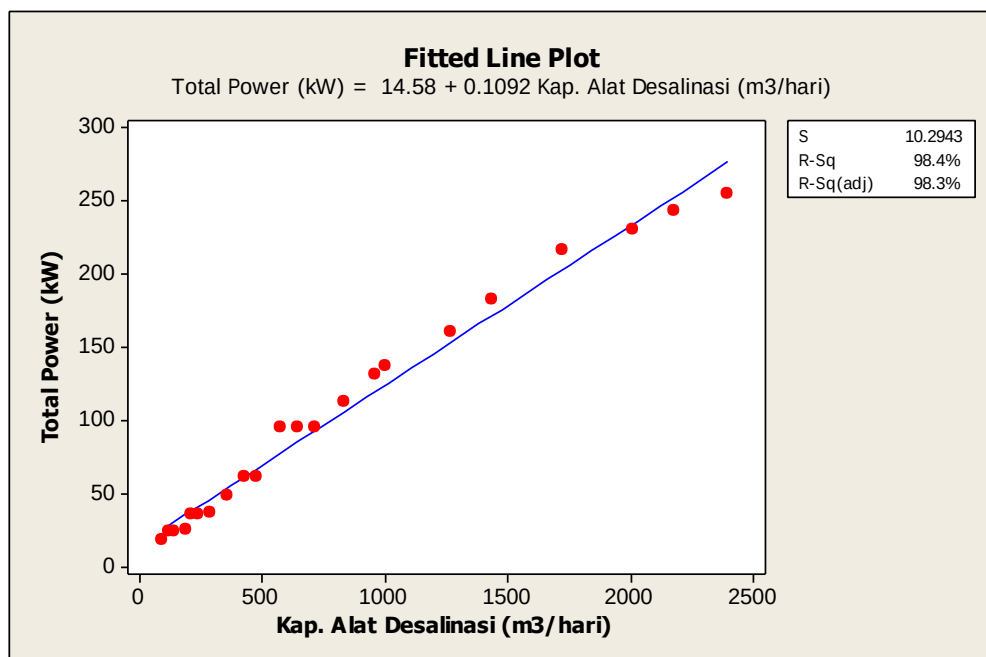
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.30	F hitung = 4.57	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.819	t hitung = 4.57	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.5 menunjukkan grafik kapasitas produksi terhadap kebutuhan tenaga alat desalinasi. Data ini digunakan untuk mengestimasi generator yang dipasang untuk memenuhi kebutuhan listrik alat desalinasi. Data yang diperoleh diolah sehingga didapat persamaan garis untuk kapasitas produksi dan kebutuhan tenaga alat desalinasi, yaitu:

$$y = 14.58 + 0.1092x \quad (4.3)$$

Keterangan: x = kapasitas produksi (m^3 /hari)

y = kebutuhan tenaga alat desalinasi (kW)



Gambar 4.5. Grafik Kapasitas Produksi Terhadap Kebutuhan Tenaga Alat Desalinasi
 Sumber: Hasil Survey

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier kapasitas produksi vs total power menunjukkan bahwa Persamaan (4.3) tidak memenuhi uji independent dan uji homokedastisitas.

Tabel 4.14. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier Kapasitas Alat Desalinasi Vs Total Power

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 0.695707	dL < d < 4-dU, Tolak H_0 , terdapat autokorelasi positif
	dL = 1.26, dU = 1.51, 4-dU = 2.56	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Tolak H_0 , Ragam error bersifat heterokedastik
	P' = 0.017	

Karena model regresi tidak memenuhi uji independent maka data harus ditransformasi dengan menggunakan metode regresi beda (Persamaan **Error! Reference source not found.**). Hasil model regresi setelah dilakukan transformasi adalah:

$$Y - Y_{t-1} = 2.55 + 0.0796 (X - X_{t-1}) \quad (4.4)$$

Kemudian model regresi yang baru, yaitu Persamaan (4.4) diuji asumsi kembali.

Hasilnya adalah Persamaan (4.4) memenuhi seluruh uji asumsi (Tabel 4.15).

Tabel 4.15. Hasil Uji Asumsi Regresi Kap. Alat Desalinasi Vs Total Power yang Baru

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.47025	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.26, dU = 1.51, 4-dU = 2.56	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.648	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas kapasitas produksi memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat total power alat desalinasi (Tabel 4.16). Dengan demikian, Persamaan (4.4) dapat digunakan untuk mengestimasi kebutuhan tenaga alat desalinasi.

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Model Regresi Kapasitas Produksi Vs Total Power

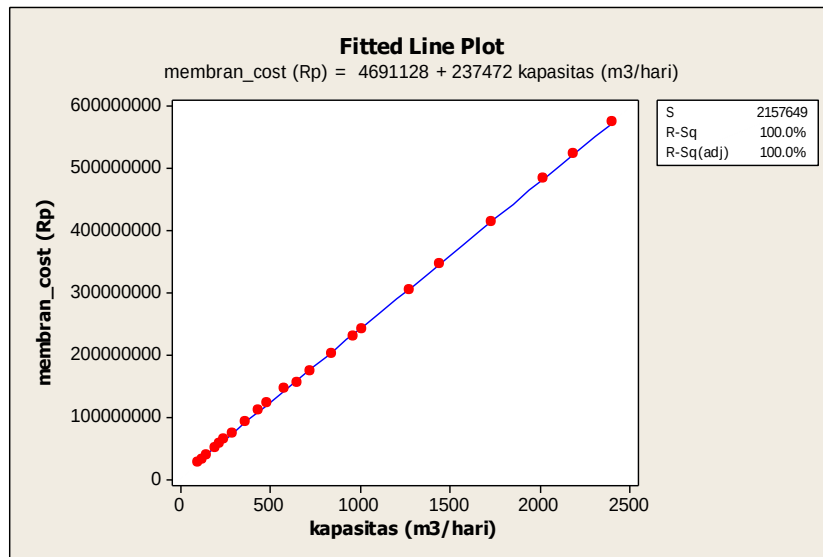
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.30	F hitung = 14.17	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.819	t hitung = 3.76	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.5 menunjukkan grafik kapasitas produksi terhadap biaya membran alat desalinasi. Data ini digunakan untuk mengestimasi biaya penggantian membran alat desalinasi. Data yang diperoleh diolah sehingga didapat persamaan garis untuk kapasitas produksi dan biaya penggantian membran alat desalinasi, yaitu:

$$y = 4.691.128 + 237.472x \quad (4.5)$$

Keterangan: x = kapasitas produksi (m^3 /hari)

y = biaya penggantian membran (Rp)



Gambar 4.6. Grafik Kapasitas Produksi Terhadap Biaya Penggantian Membran

Sumber: Hasil Survey

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier kapasitas produksi vs *membran cost* menunjukkan bahwa Persamaan (4.10) tidak memenuhi uji independent.

Tabel 4.17. Hasil Uji Asumsi Regresi Kapasitas Alat Desalinasi Vs Membran Cost

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\alpha = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smimov > 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 0.844214	dL < d < 4-dU, Tolak H_0 , terdapat autokorelasi positif
	dL = 1.26, dU = 1.51, 4-dU = 2.56	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.458	

Karena model regresi tidak memenuhi uji independent maka data harus ditransformasi dengan menggunakan metode regresi beda (Persamaan **Error! Reference source not found.**). Hasil model regresi setelah dilakukan transformasi adalah:

$$Y - Y_{t-1} = -163361 + 240378 (X - X_{t-1}) \quad (4.6)$$

Kemudian model regresi yang baru, yaitu Persamaan (4.4) diuji asumsi kembali. Hasilnya adalah Persamaan (4.6) memenuhi seluruh uji asumsi (Tabel 4.18).

Tabel 4.18. Hasil Uji Asumsi Regresi Kap. Alat Desalinasi Vs *Membran Cost* yang Baru

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\alpha = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smimov > 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.26644	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.26, dU = 1.51, 4-dU = 2.56	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.259	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas kapasitas produksi memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat *membran cost* alat desalinasi (Tabel 4.19). Dengan demikian, Persamaan (4.6) dapat digunakan untuk mengestimasi kebutuhan tenaga alat desalinasi.

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Model Regresi Kapasitas Produksi Vs *Membran Cost*

Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.30	F hitung = 2233.22	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.819	t hitung = 47.26	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Data alat desalinasi lainnya yang diperlukan adalah ukuran daripada alat desalinasi tersebut. Data ini diperlukan untuk mengestimasi luas area yang dibutuhkan alat desalinasi sehingga biaya lahan untuk desalinasi darat bisa dihitung. Data ukuran alat desalinasi dari kapasitas 96 m³/hari sampai 2400 m³/hari disajikan pada Lampiran 1.

4.4 Kapal Pembanding

Data kapal pembanding digunakan untuk mengestimasi ukuran kapal sehingga biaya-biaya kapal dapat dihitung. Dalam Tugas Akhir ini ukuran kapal pembanding yang digunakan berkisar antara 400 – 4900 DWT. Data kapal pembanding yang diperlukan adalah hubungan antara DWT dan LPP, hubungan antara DWT dan lebar

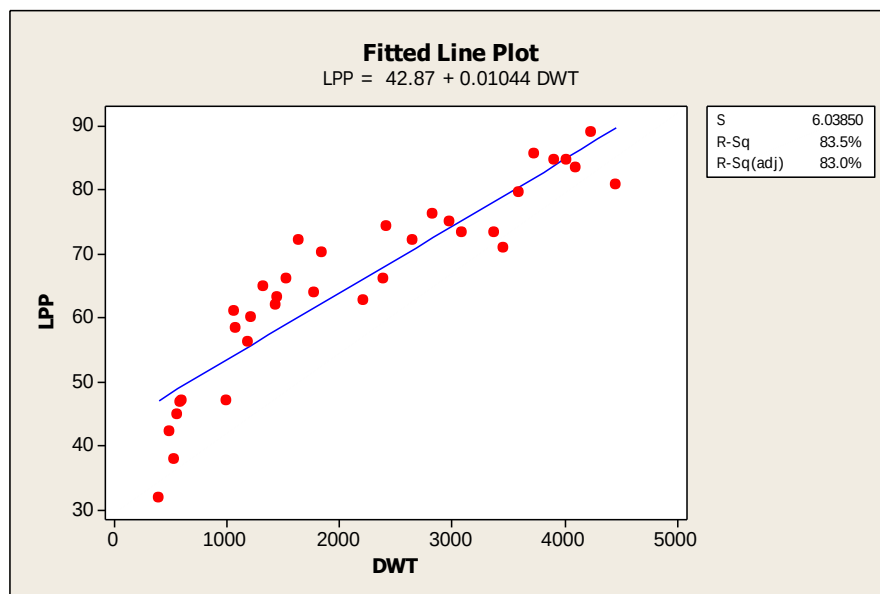
(*breadth*), hubungan antara DWT dan sarat (*draft*), hubungan antara DWT dan tinggi (*height*), hubungan antara DWT dan tenaga mesin (*engine power*), dan hubungan antara DWT dan *gross tonnage*. Data kapal pembanding selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara DWT dan LPP (*length perpendicular*) kapal pembanding. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap LPP, yaitu:

$$y = 42.87 + 0.01044 \quad (4.7)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = LPP (m)



Gambar 4.7. Grafik Kapal Pembanding antara DWT dan LPP
Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs LPP menunjukkan bahwa Persamaan (4.7) tidak memenuhi uji independent dan homokedastisitas (Tabel 4.20).

Tabel 4.20. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs LPP

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov = 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 0.883419	dL < d < 4-dU, Tolak H_0 , terdapat autokorelasi positif
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	
Uji Homokedastisitas	P = 0.05	Tolak H_0 , Ragam error bersifat heterokedastik
	P' = 0.027	

Karena model regresi tidak memenuhi uji independent maka data harus ditransformasi dengan menggunakan metode regresi beda (Persamaan **Error! Reference source not found.**). Hasil model regresi setelah dilakukan transformasi adalah:

$$Y - Y_{t-1} = 3.735 - 0.0183 (X - X_{t-1}) \quad (4.8)$$

Kemudian model regresi yang baru, yaitu Persamaan (4.8) diuji asumsi kembali. Hasilnya adalah Persamaan (4.8) memenuhi seluruh uji asumsi (Tabel 4.21).

Tabel 4.21. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs LPP yang Baru

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov = 0.15	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.32791	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.556	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi Persamaan (4.8) menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y (Tabel 4.22). Dengan demikian, Persamaan (4.8) dapat digunakan untuk mengestimasi LPP kapal.

Tabel 4.22. Hasil Uji Model Regresi DWT Vs LPP

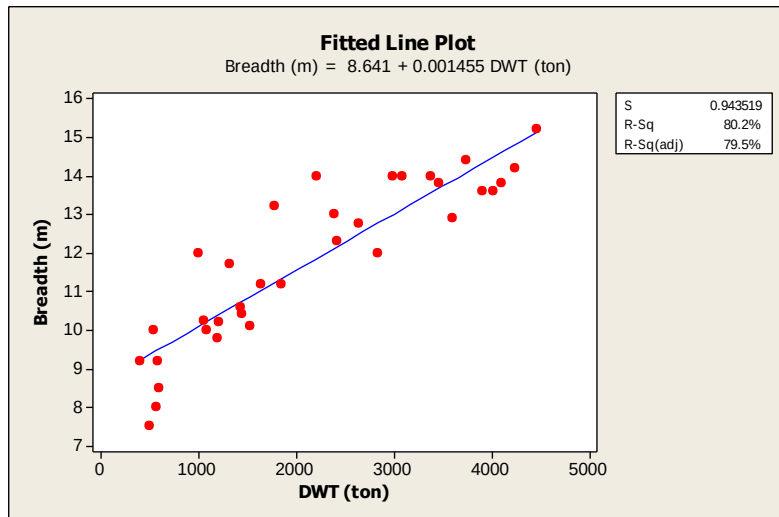
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 6.86	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 2.96	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara DWT dan lebar (*breadth*) (B) kapal pemanding. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap B, yaitu:

$$y = 0.001x - 8.641 \quad (4.9)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = Breadth (m)



Gambar 4.8. Grafik Kapal Pembanding antara DWT dan B
 Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs B menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.23).

Tabel 4.23. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs B

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.490	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 1.96867	dl < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dl = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y (Tabel 4.24). Dengan demikian, Persamaan (4.9) dapat digunakan untuk mengestimasi *breadth* (B) kapal.

Tabel 4.24. Hasil Pengujian Model Regresi Linier DWT Vs B

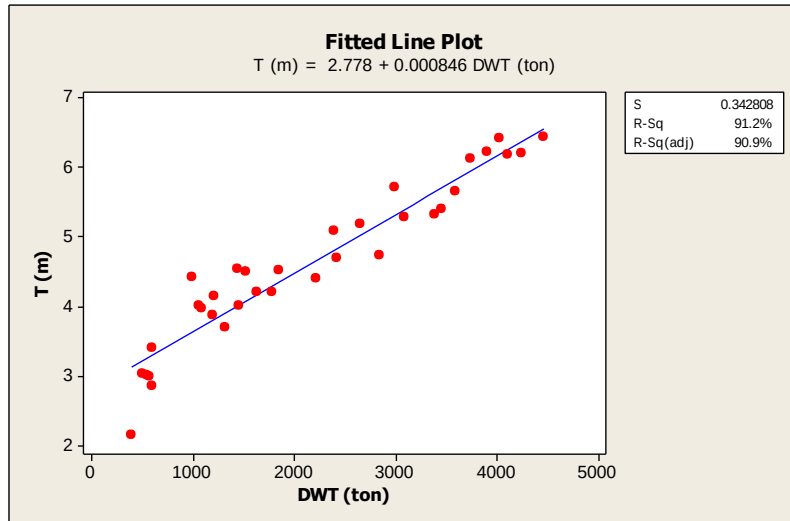
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 129.26	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 11.37	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara DWT dan sarat (*draft*) (T) kapal pembanding. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap sarat adalah:

$$y = 0.000846x + 2.778 \quad (4.10)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = Draft (m)



Gambar 4.9. Grafik Kapal Pembanding antara DWT dan Sarat (Draft)

Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs T menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.25).

Tabel 4.25. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs T

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.077	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 1.52314	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas DWT memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat T (Tabel 4.26). Dengan demikian, Persamaan (4.10) dapat digunakan untuk mengestimasi *draft* kapal.

Tabel 4.26. Hasil Pengujian Model Regresi DWT Vs T

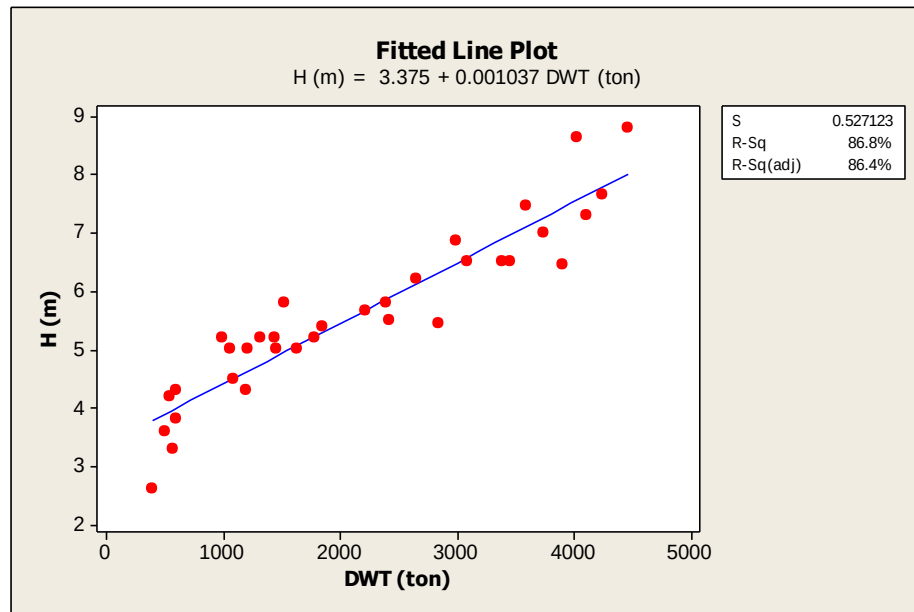
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 330.89	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 18.19	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.10 menunjukkan hubungan antara DWT dan tinggi (*height*) (H) kapal pambang. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap tinggi adalah:

$$y = 0.001x + 3.375 \quad (4.11)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = *height* (m)



Gambar 4.10. Grafik Kapal Pambang antara DWT dan Tinggi (*Height*)
 Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs H menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.27).

Tabel 4.27. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs H

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.566	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.08046	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas DWT memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat H (Tabel 4.28). Dengan demikian, Persamaan (4.11) dapat digunakan untuk mengestimasi tinggi kapal.

Tabel 4.28. Hasil Pengujian Model Regresi Linier DWT Vs H

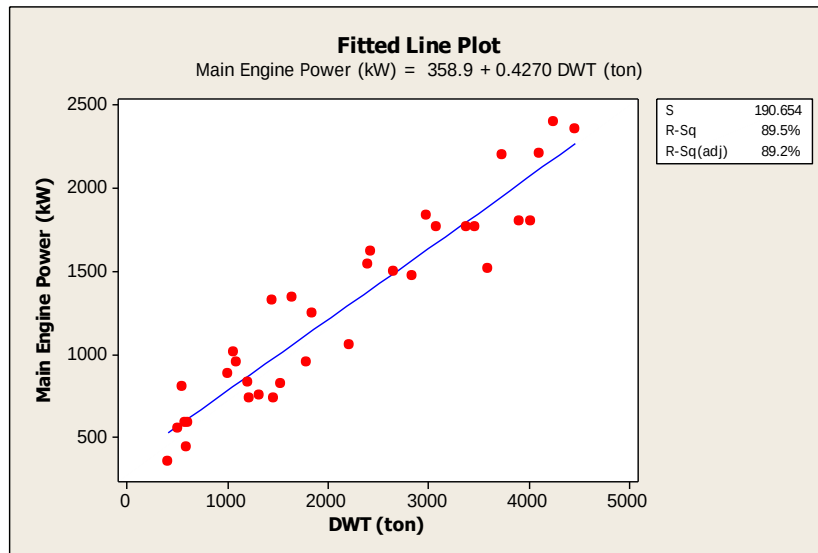
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 210.06	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 14.49	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara DWT dan tenaga mesin (*engine power*) kapal pemandang. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap *engine power* adalah:

$$y = 0.427x + 358.9 \quad (4.12)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = *engine power* (kW)



Gambar 4.11. Grafik Kapal Pemandang antara DWT dan Tenaga Mesin (*Engine Power*)

Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs Main Engine Power menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.29).

Tabel 4.29. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs Main Engine Power

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.325	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.33924	dL < d < 4 - dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4 - dU = 2.49	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas DWT memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat *Main Engine Power* (Tabel 4.30). Dengan demikian, Persamaan (4.12) dapat digunakan untuk mengestimasi *engine power* kapal.

Tabel 4.30. Hasil Uji Model Regresi DWT Vs Main Engine Power

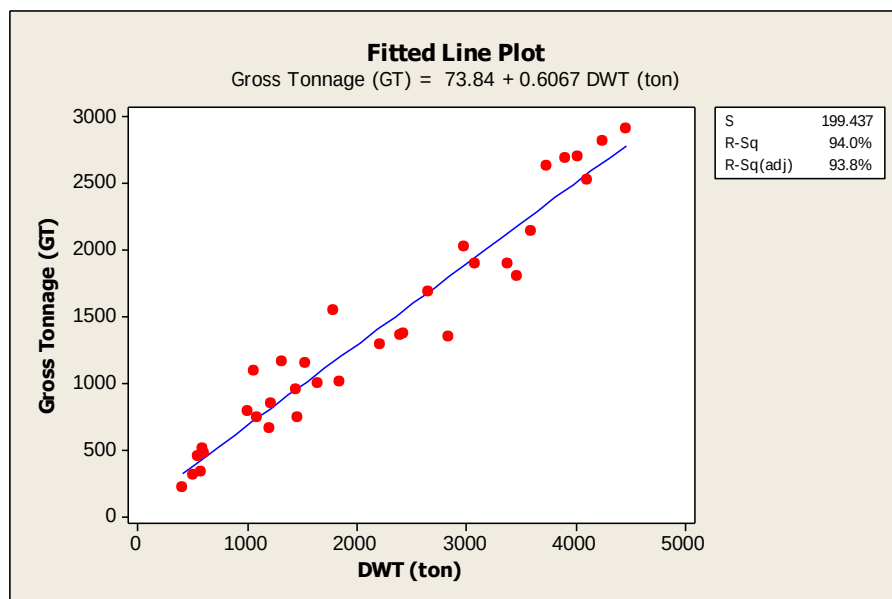
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 272.49	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 16.51	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara DWT dan *Gross Tonnage* (GT) kapal pelayaran. GT diperlukan untuk mengestimasi biaya pelabuhan kapal. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan garis untuk DWT terhadap GT adalah:

$$y = 0.606x + 73.83 \quad (4.13)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = GT



Gambar 4.12. Grafik Kapal Pelayaran antara DWT dan *Gross Tonnage*
Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs GT menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.31).

Tabel 4.31. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs GT

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\sigma = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.122	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 1.75999	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi
	dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas DWT memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat GT (Tabel 4.32). Dengan demikian, Persamaan (4.13) dapat digunakan untuk mengestimasi GT kapal.

Tabel 4.32. Hasil Uji Model Regresi DWT Vs GT

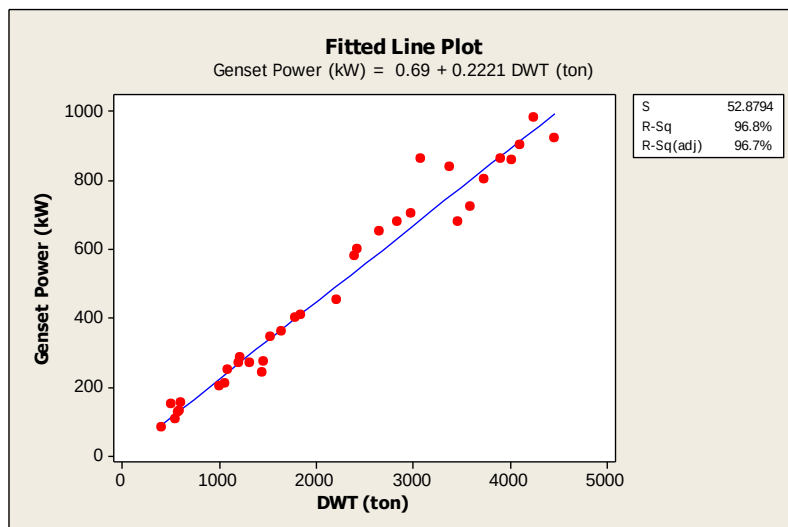
Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 502.69	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 22.42	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

Gambar 4.13 menunjukkan hubungan antara DWT dan tenaga generator kapal pemanding. Tenaga generator diperlukan untuk mengestimasi biaya mesin bantu kapal. Dari hasil pengolahan data diperoleh persamaan regresi linear untuk DWT terhadap generator power adalah:

$$y = 0.213x + 16.62 \quad (4.14)$$

Keterangan: x = DWT (ton)

y = generator power (kW)



Gambar 4.13. Grafik Kapal Pemanding antara DWT dan Gross Tonnage
Sumber: (Germanischer Lloyd)

Setelah data di plot dan diperoleh model regresi sementara, selanjutnya dilakukan uji asumsi regresi linier. Hasil uji asumsi regresi linier DWT vs *generator sets* menunjukkan bahwa seluruh uji asumsi terpenuhi (Tabel 4.33).

Tabel 4.33. Hasil Uji Asumsi Regresi Linier DWT Vs Generator Sets

Uji Asumsi	Kriteria	Keterangan
Uji Normalitas	$\alpha = 0.05$	Terima H_0 , data bersifat normal
	P-Value Kormogorov-Smirnov > 0.15	
Uji Homokedastisitas	P = 0.0000	Terima H_0 , Ragam error bersifat homoskedastik
	P' = 0.097	
Uji Independent	Durbin-Watson statistic = 2.05250 dL = 1.39, dU = 1.51, 4-dU = 2.49	dL < d < 4-dU, Terima H_0 , tidak ada autokorelasi

Setelah uji asumsi terpenuhi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji terhadap model regresi. Hasil pengujian model regresi menunjukkan bahwa model regresi dapat digunakan dan variabel bebas DWT memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Genset Power (Tabel 4.34). Dengan demikian, Persamaan (4.14) dapat digunakan untuk mengestimasi Genset Power kapal.

Tabel 4.34. Hasil Uji Model Regresi DWT Vs Genset Power

Jenis Pengujian	Kriteria	Hasil Perhitungan	Keterangan
Uji F	F tabel = 4.15	F hitung = 502.69	Tolak H_0 , model regresi dapat digunakan
Uji t	t tabel = 2.0378	t hitung = 17.50	Tolak H_0 , variabel bebas X memiliki kontribusi yang signifikan terhadap variabel terikat Y

BAB 5. PERENCANAAN POLA OPERASI

5.1 Perencanaan Operasi

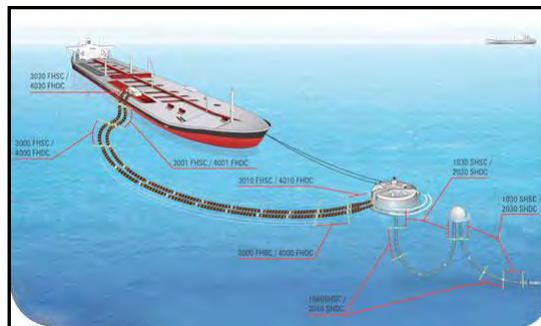
Hal pertama yang harus dilakukan dalam perencanaan pola operasi adalah menentukan konsep operasi. Konsep operasi direncanakan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Fasilitas distribusi muatan (air) dari kapal ke darat
2. Alat Desalinasi
3. Radius aman pembuangan limbah
4. Armada
5. Frekuensi suplai

5.1.1 Fasilitas distribusi muatan (air) dari kapal ke darat

Untuk memindahkan air dari kapal ke darat untuk selanjutnya didistribusikan ke konsumen (penduduk) maka diperlukan lokasi sebagai tempat konsolidasi yang disebut dengan depot. Sedangkan untuk mentransfer air dari kapal ke depot digunakan fasilitas dermaga terapung. Penggunaan dermaga terapung disebabkan karena pulau-pulau di Kepulauan Seribu memiliki tutupan karang yang cukup luas sehingga pembuatan dermaga di lepas pantai akan menyebabkan kerusakan terumbu karang di Kepulauan Seribu.

Desain dermaga apung mengadopsi konsep *single point mooring* (SPM) (Gambar 5.1). *Single point mooring* (SPM) adalah suatu fasilitas terapung yang dipasang di lepas pantai yang berfungsi sebagai titik tambat dan inter koneksi untuk kapal tanker baik untuk muat atau bongkar produk gas ataupun cairan. Muatan dipompa dari kapal ke SPM melalui selang terapung yang menghubungkan keduanya kemudian dari SPM muatan akan mengalir ke lokasi yang dituju.



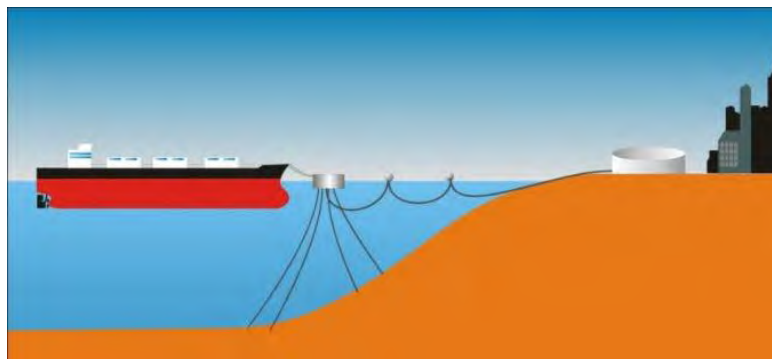
Gambar 5.1. Skema Sistem Single Point Mooring

.Desain depot sebagai lokasi konsolidasi air bisa mengadopsi desain depot PT Pertamina pada umumnya (Gambar 5.2). Desain depot terdiri dari tangki-tangki tempat menyimpan air tawar, fasilitas bongkar muat, dan bangunan kecil yang berfungsi sebagai kantor. Kontruksi tangki bisa disesuaikan dengan tingkat keamanannya karena yang disimpan dalam tangki bukan minyak melainkan air tawar sehingga biaya pembangunan depot air menjadi lebih murah bila dibandingkan dengan depot BBM.



Gambar 5.2. Desain depot Pertamina bisa diadopsi sebagai lokasi konsolidasi air

Dengan menggunakan dermaga apung sebagai fasilitas transfer air dan depot sebagai lokasi konsolidasi di darat, distribusi air ke darat bisa dilakukan. Skema penggunaan dermaga apung dan depot dapat dilihat pada Gambar 5.3. Kapal desalinasi air laut ditambatkan di dermaga apung, kemudian air akan dialirkan ke depot untuk selanjutnya didistribusikan ke konsumen (penduduk). Distribusi air ke konsumen bisa menggunakan pipa-pipa PDAM yang sudah terpasang sebelumnya.



Gambar 5.3. Skema Distribusi Air Hasil Produksi ke Darat

5.1.2 Alat Desalinasi

Jenis alat desalinasi yang digunakan adalah alat desalinasi dengan metode *reverse osmosis* (RO). Alat desalinasi jenis ini dipilih karena berdasarkan penelitian sebelumnya alat desalinasi jenis ini merupakan alat desalinasi yang paling efektif.

Darwish *et al* (1989) melaporkan hasil penelitian terhadap perbandingan teknis dan ekonomis RO dan MSF, yaitu:

1. Konsumsi energi per m³ MSF tiga kali konsumsi energi RO.
2. Volume MSF tiga kali lebih besar daripada yang dibutuhkan RO sedangkan luas area yang diperlukan MSF empat kali lebih besar daripada yang diperlukan RO
3. Struktur MSF yang berat membutuhkan pondasi yang berat dengan struktur yang lebih rumit daripada RO
4. RO tidak menggunakan sumber energi panas dan hanya membutuhkan sumber energi listrik. Pada unit MSF dengan kapasitas 6 juta gallon/hari membutuhkan konsumsi energi panas sebesar 89 MW. Nilai ini bisa sangat mahal bila tidak diekstraksi dari turbin uap.

Ibrahim *et al* (1995) juga melakukan evaluasi ekonomis terhadap penggunaan RO dan MSF. Hasil yang diperoleh mereka peroleh adalah Biaya Modal RO jauh lebih rendah daripada MSF (**Error! Reference source not found.**). Permasalahan korosi juga lebih sedikit ditemukan pada unit RO daripada MSF.

Pembangunan instalasi desalinasi terapung dengan menggunakan teknologi RO sudah pernah dilakukan pada tahun 1997 dan digunakan untuk mensuplai air minum ke wilayah pesisir yang gersang. Teknologi ini disebut dengan PCS-Preussag Conversion System (Lampe, Altmann, & J. Gatjens, 1997). Dalam laporannya Lampe *et al* menyebutkan beberapa alasan mengapa teknologi RO dipilih dibandingkan dengan desalinasi dengan proses panas (*thermal processes*), yaitu:

1. Biaya investasi dan operasi yang lebih rendah.
2. Kebutuhan ruang yang lebih sedikit.
3. Hanya membutuhkan energi listrik, tanpa menggunakan energi panas uap.

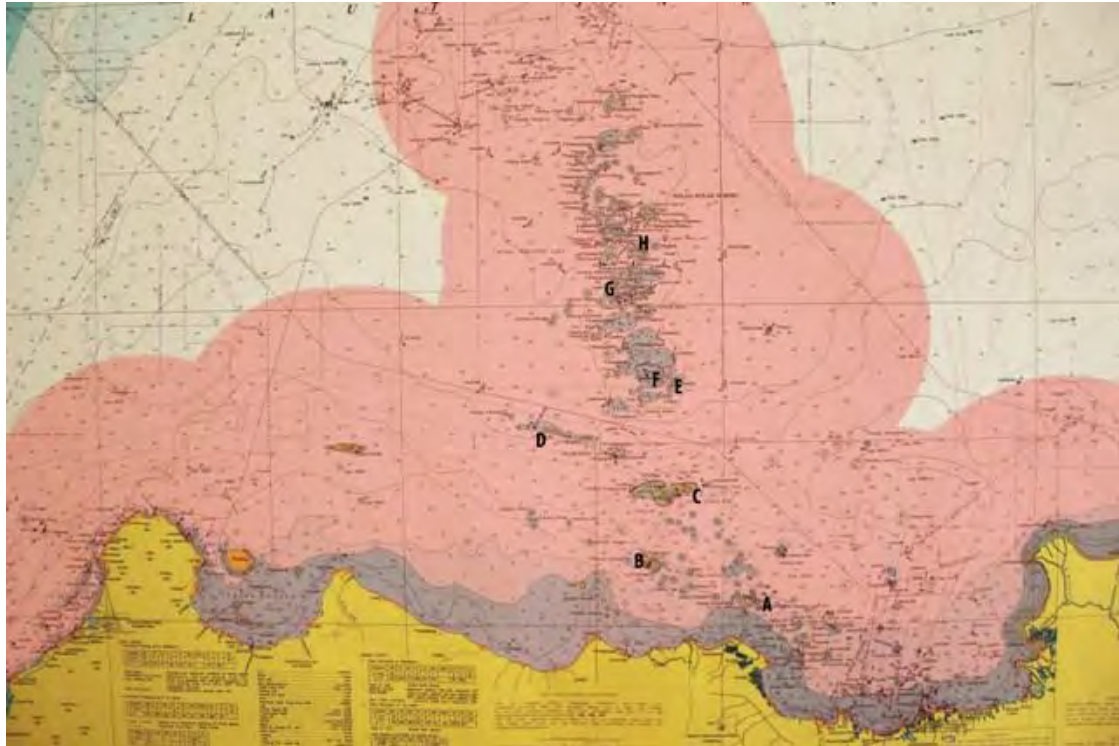
Hal lain yang harus diperhatikan pada alat desalinasi adalah kapasitas yang harus dipasang. Kapasitas alat desalinasi menentukan kecepatan dalam memproduksi air tawar. Kapasitas alat desalinasi yang dipasang disesuaikan dengan jumlah permintaan yang harus dipenuhi. Dalam penelitian ini kapasitas alat desalinasi yang digunakan disesuaikan dengan jumlah permintaan yang harus dipenuhi dalam satu rute. Misalkan dalam satu rute terdapat 8 pulau yang harus dikunjungi dengan total permintaan 1367 m³/hari maka alat desalinasi yang dipasang di kapal berkapasitas $1367 \times (1+20\%) = 1700$

m³/hari. Hal ini dilakukan karena alat desalinasi harus dibersihkan minimal 2 jam sehari sehingga kapasitas produksi harus dinaikkan sekitar 20% dari permintaan yang harus dipenuhi.

5.1.3 Radius Aman Pembuangan Limbah

Proses desalinasi dengan *recovery rate* 50% menghasilkan limbah/*waste water* sebanyak 50% dari *feedwater* dengan kadar salinasi 2-3 kali lipat. Pembuangan *waste water*/ residu ini harus dilakukan ditengah laut agar dapat terurai ke konsentrasi normal dan tidak mengkontaminasi daratan. Proses pembuangan residu dilakukan sesuai dengan peraturan dari IMO yang tercantum dalam Annex II MARPOL 73/78, "*Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk*". Dalam aturan tersebut disebutkan bahwa proses pembuangan limbah cair yang berdampak bagi manusia dan biota laut (kategori Y) harus dilakukan dalam kondisi berlayar dengan kecepatan minimal 7 knot. Pembuangan harus dilakukan melalui *outlet* yang terletak di bawah garis air (*waterline*) kapal di area yang jaraknya minimal 12 *nautical mile* dari daratan terdekat serta dengan kedalaman laut minimal 25 meter (IMO,2009).

Oleh karena itu, daerah operasi kapal desalinasi dibagi menjadi 2 , yaitu area terlarang (*restricted area*) untuk melakukan pembuangan limbah desalinasi dan area pembuangan limbah (*discharge area*). Pada *restricted area* ditunjukkan oleh daerah yang berwarna merah sedangkan *discharge area* ditunjukkan oleh daerah yang berwarna putih.



Gambar 5.4. Daerah Operasi Kapal Desalinasi Air Laut

5.1.4 Konsep Operasi

Operasi kapal menyesuaikan dengan aktivitas yang dilakukan kapal selama berlayar, yaitu mengambil air dari *intake water system* yang terdapat di haluan, melakukan proses desalinasi, lalu membuang limbah melalui saluran pembuangan yang terletak di sisi (lambung) kapal. Namun ketika kapal berada dalam radius 12 nm dari bibir pantai, kapal hanya melakukan proses *intake water* dan desalinasi sedangkan untuk limbahnya ditampung dahulu di dalam tangki yang telah disediakan. Setelah kapal berada di luar radius 12 nm dari bibir pantai, kapal membuang limbah yang disimpan tersebut secara perlahan (sedikit-sedikit).

5.1.5 Armada

Armada yang digunakan disesuaikan dengan kondisi *demand* dan ketentuan-ketentuan teknis yang diperlukan. Beberapa kriteria teknis yang harus dipenuhi kapal adalah:

1. Kecepatan kapal ketika beroperasi harus >7 knot sesuai dengan peraturan IMO.
2. Kapal mampu mengangkut muatan cair.

Berdasarkan kriteria teknis tersebut, dipilih kapal tanker sebagai desain konseptual kapal desalinasi air laut. Penelitian sebelumnya (Lampe *et al*, 1997 dan Chousaki, B., 2004) dan armada kapal desalinasi air laut yang sudah ada juga menggunakan konsep kapal tanker sebagai kapal desalinasi air laut.

Hal lain yang harus diperhatikan terhadap armada adalah penentuan kapasitas. Pemilihan kapasitas armada dilakukan berdasarkan pola operasi yang diterapkan, jumlah pulau yang disuplai, dan frekuensi kapal untuk mensuplai air bersih. Semakin banyak frekuensi berlayar, kapasitas kapal menjadi semakin kecil. Sehingga masing-masing rute akan memiliki kapasitas kapal yang berbeda sesuai dengan permintaan dan frekuensi pelayaran pada rute tersebut.

5.1.6 Frekuensi suplai

Frekuensi berlayar kapal menentukan kapasitas kapal dan kapasitas depot yang digunakan untuk menampung air hasil desalinasi. Dalam Tugas Akhir ini frekuensi berlayar kapal dijadikan variabel sehingga dapat diketahui frekuensi berlayar dan ukuran kapal yang optimum.

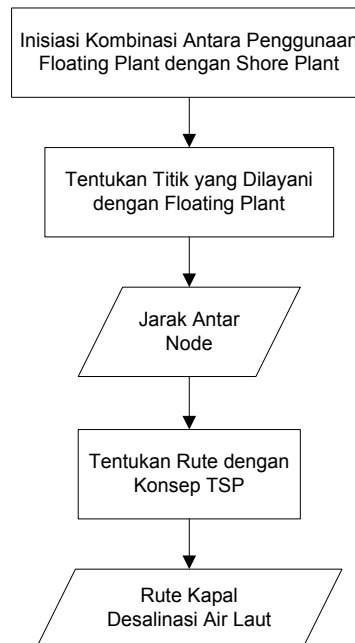
5.2 Perencanaan Rute

Untuk mendistribusikan air bersih ke tiap-tiap pulau di Kepulauan Seribu, desain jaringan transportasi yang sesuai dengan konsep operasi harus dibuat terlebih dahulu. Beberapa syarat perencanaan rute yang harus dipenuhi sesuai dengan karakteristik kendaraan (kapal) dan muatan (air), adalah:

1. Kendaraan harus kembali pada depot yang sama dari mana ia berangkat.
Pada perencanaan rute ini, yang disebut depot adalah pelabuhan dimana kapal mengisi bahan bakar, pelumas, dan kebutuhan ABK dan kapal lainnya. Hal ini dilakukan karena kapal mempunyai kemampuan yang terbatas untuk melakukan pelayaran sehingga kapal perlu singgah di pelabuhan untuk mengisi logistik kapal. Pelabuhan yang dijadikan *hub point* adalah pelabuhan Tanjung Priok karena secara geografis pelabuhan ini adalah pelabuhan terdekat dari wilayah Kepulauan Seribu.
2. Setiap titik yang disuplai dengan menggunakan kapal desalinasi (*floating plant*) hanya dikunjungi satu kali dalam satu periode pengiriman.

Syarat perencanaan rute ini memiliki konsep yang sama dengan konsep *traveling salesman problem* (TSP), yaitu pencarian rute terpendek dengan syarat

kendaraan berawal dan berakhir di depo yang sama dan setiap kota dikunjungi tepat satu kali. Untuk menyelesaikan konsep TSP dalam Tugas Akhir ini digunakan metode MIP (pers. **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.**).



Gambar 5.5. Alur Perencanaan Rute Kapal Desalinasi Air Laut

Gambar 5.5 menunjukkan alur perencanaan rute kapal desalinasi air laut. Alur perencanaan rute dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pada seluruh titik dirancang rute kendaraan untuk distribusi dengan menggunakan kapal desalinasi (*floating plant*) dan kombinasinya dengan penggunaan desalinasi darat (*shore plant*). Karena jumlah titik yang harus dipenuhi kebutuhan air bersihnya adalah 8 maka jumlah kombinasi yang mungkin dari penggunaan dua metode pemenuhan air bersih (*floating plant* dan *shore plant*) adalah 254 kombinasi. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$${}_8C_1 + {}_8C_2 + {}_8C_3 + {}_8C_4 + {}_8C_5 + {}_8C_6 + {}_8C_7 = 254 \quad (5.1)$$

Tabel 5.2 menunjukkan beberapa perhitungan kombinasi antara penggunaan *floating plant* dan *shore plant*. Nilai 0 (nol) pada kolom *floating plant* menunjukkan metode tersebut tidak digunakan dan nilai 1 (satu) menunjukkan metode tersebut digunakan. Hal ini juga berlaku pada kolom *shore plant*.

2. Tentukan titik yang dilayani dengan menggunakan *floating plant*. Contoh jika kombinasi yang terbentuk adalah titik A,B,C,D,E,F dilayani dengan kapal desalinasi dan titik G dan H dilayani dengan instalasi desalinasi darat, maka yang dioptimasi adalah kunjungan ke titik A,B,C,D,E,F.
3. Tentukan jarak antar titik yang diperoleh dari data sebelumnya.
4. Pada tahap ini dilakukan optimasi dengan menggunakan metode MIP. Misalkan jumlah titik yang dilayani dengan *floating plant* adalah 6 yaitu titik A,B,C,D,E,F dan titik X sebagai *hub port*, persamaan matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } z = & 12.3X_{XA} + 20.5X_{XB} + 20.3X_{XC} + 28.4X_{XD} + 25X_{XE} + 27X_{XF} + \\ & 8.2X_{AB} + 8.3X_{AC} + 8X_{AD} + 14.2X_{AE} \dots + 7.1X_{FC} + 8.1X_{ED} + \\ & 6.1X_{FD} + 2X_{FE} \end{aligned}$$

Subject to:

(line in constrains)

$$X_{XA} + X_{XB} + X_{XC} + X_{XD} + X_{XE} + X_{XF} = 1$$

$$X_{AB} + X_{AC} + X_{AD} + X_{AE} + X_{AF} = 1$$

$$X_{BC} + X_{BD} + X_{BE} + X_{BF} = 1$$

$$X_{CD} + X_{CE} + X_{CF} = 1$$

$$X_{DE} + X_{DF} = 1$$

$$X_{EF} = 1$$

(line out constrains)

$$X_{AX} + X_{BX} + X_{CX} + X_{DX} + X_{EX} + X_{FX} = 1$$

$$X_{BA} + X_{CA} + X_{DA} + X_{EA} + X_{FA} = 1$$

$$X_{CB} + X_{DB} + X_{EB} + X_{FB} = 1$$

$$X_{DC} + X_{EC} + X_{FC} = 1$$

$$X_{ED} + X_{FD} = 1$$

$$X_{FE} = 1$$

(sub tour constrains)

$$u_A - u_B + 7X_{AB} \leq 6$$

$$u_A - u_C + 7X_{AC} \leq 6$$

$$u_A - u_D + 7X_{AD} \leq 6$$

$$u_A - u_F + 7X_{AF} \leq 6$$

$$u_B - u_C + 7X_{BC} \leq 6$$

$$u_B - u_D + 7X_{BD} \leq 6$$

$$u_B - u_E + 7X_{BE} \leq 6$$

$$u_B - u_F + 7X_{BF} \leq 6$$

$$u_C - u_D + 7X_{CD} \leq 6$$

$$u_C - u_E + 7X_{CE} \leq 6$$

$$u_C - u_F + 7X_{CF} \leq 6$$

$$u_D - u_E + 7X_{DE} \leq 6$$

$$u_D - u_F + 7X_{DF} \leq 6$$

$$u_E - u_F + 7X_{EF} \leq 6$$

$$u_A - u_X + 7X_{AX} \leq 6$$

$$u_B - u_X + 7X_{BX} \leq 6$$

$$u_C - u_X + 7X_{CX} \leq 6$$

$$u_D - u_X + 7X_{DX} \leq 6$$

$$u_E - u_X + 7X_{EX} \leq 6$$

$$u_F - u_X + 7X_{FX} \leq 6$$

$$u_B - u_A + 7X_{BA} \leq 6$$

$$u_C - u_A + 7X_{CA} \leq 6$$

$$u_D - u_A + 7X_{DA} \leq 6$$

$$u_E - u_A + 7X_{EA} \leq 6$$

$$u_F - u_A + 7X_{FA} \leq 6$$

$$u_C - u_B + 7X_{CB} \leq 6$$

$$u_D - u_B + 7X_{DB} \leq 6$$

$$u_E - u_B + 7X_{EB} \leq 6$$

$$u_F - u_B + 7X_{FB} \leq 6$$

$$u_D - u_C + 7X_{DC} \leq 6$$

$$u_E - u_C + 7X_{EC} \leq 6$$

$$u_F - u_C + 7X_{FC} \leq 6$$

$$u_E - u_D + 7X_{ED} \leq 6$$

$$u_F - u_D + 7X_{FD} \leq 6$$

$$u_F - u_E + 7X_{FE} \leq 6$$

$$x_{ij} = (1,0) \quad i,j = 1,2,\dots,7$$

$$u_i \geq 0, i = 2,3,\dots,7$$

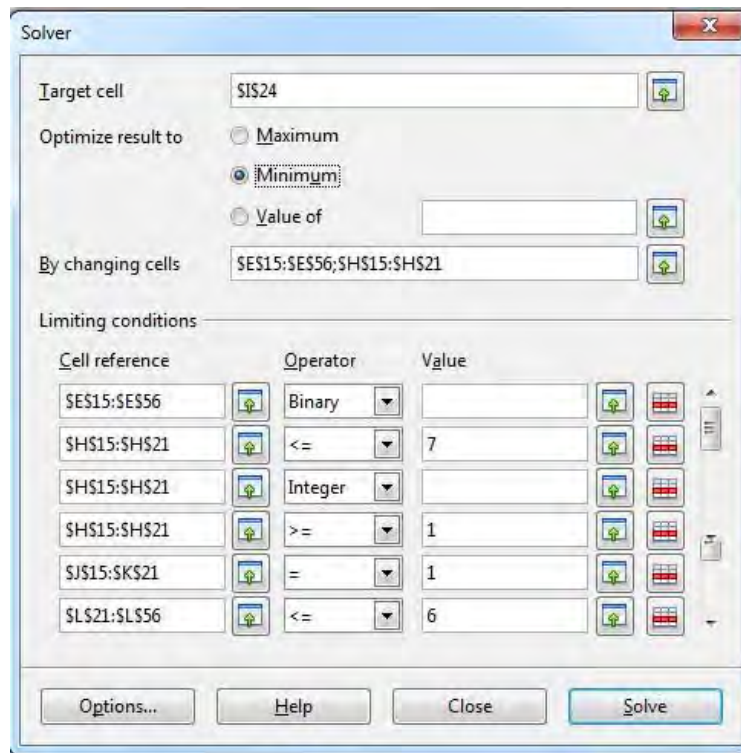
5. Langkah-langkah dalam pembuatan model optimasi adalah sebagai berikut:
 - a. Data Jarak antar titik yang telah diketahui dimasukkan ke dalam matriks jarak antar titik yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 sel A1:J11
 - b. Tabel jarak asal-tujuan dibuat berdasarkan matriks jarak A1:J11 seperti yang ditunjukkan pada sel A14:D56
 - c. Hitung *line-in* dan *line out* masing-masing kota dengan menggunakan rumus yang disajikan pada Tabel 5.1 baris 5 dan 6.
 - d. Batasan (*constrain*) *subtour* dibuat dengan menggunakan rumus yang disajikan pada Tabel 5.1 baris 7.
 - e. Hitung jarak total perjalanan. Dalam contoh ini, jarak total perjalanan didefinisikan pada sel I24 dan rumus yang digunakan disajikan pada Tabel 5.1 baris 8.
 - f. Setelah *worksheet* selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi dengan menggunakan Solver seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7. Tiga langkah utama dalam optimasi menggunakan Solver adalah mendefinisikan fungsi tujuan (*target cell*), mendefinisikan sel yang berubah (*by changing cells*) dan batasan model (*subject to constrain*).
 - g. Urutan kunjungan dilihat pada sel *tour sequence*, dalam gambar terlihat bahwa titik A dikunjungi pertama, selanjutnya titik D, dan terakhir adalah titik X. Sehingga rute terpendek yang terbentuk adalah $X \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow X$ dengan total jarak yaitu 60.5 (Gambar 5.8). Perhitungan kombinasi dan rute yang terbentuk pada masing-masing kombinasi disajikan pada Tabel 5.2 dan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5.1. Rumus *Spreadsheet* Solver TSP

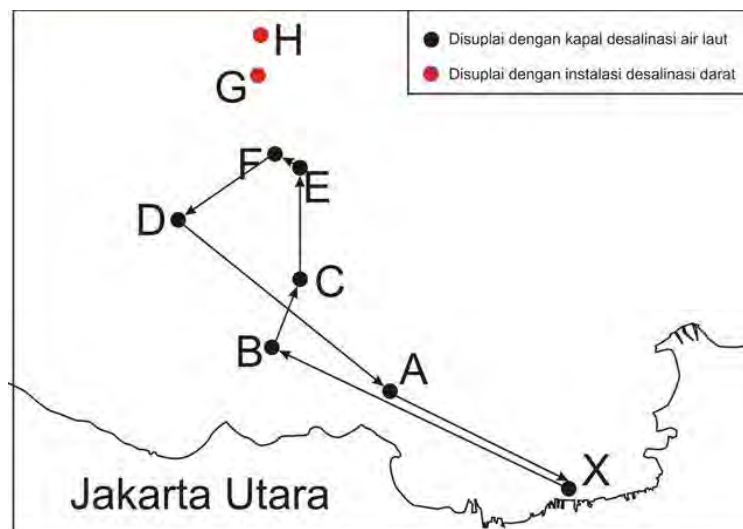
Definisi	Sel	Rumus dalam Spreadsheet	Keterangan
Variabel	E15:E56	Nilai 1 menyatakan rute digunakan dan nilai 0 mengindikasikan tidak	Koneksi Perjalanan
	H15:H21	Urutan Perjalanan	Integer
Batasan	E15:E56	Not-satu	Nilai 1 menyatakan rute tersebut digunakan dan nilai 0 mengindikasikan tidak digunakan
	H15:H23	Integer	Urutan Perjalanan
	J15	SUMIF(\$A\$15:\$A\$56,\$G15,\$E\$15:\$E\$56)	Line in: diisi seri sampai dengan sel J24
	K15	SUMIF(\$B\$15:\$B\$56,\$G15,\$E\$15:\$E\$56)	Line out: diisi seri sampai dengan sel K24
	L23	VLOOKUP(A21,\$G\$15:\$H\$21,2,0)-VLOOKUP(B21,\$G\$15:\$H\$21,2,0)+7*E21	Batasan subtour: diisi seri sampai dengan sel L87
Fungsi tujuan	I24	SUMPRODUCT(D15:D56,E15:E56)	Jarak total perjalanan

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	X	A	B	C	D	E	F	G	H			
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
3	X	0	12.3	20.5	20.3	28.4	25	27	30.4	31.4		
4	A	17.5	0	8.2	8.3	8	14.2	15.2	20	22.3		
5	B	20.3	5.4	0	5.1	9	10.7	11.2	16.2	18.22		
6	C	20.3	8.3	5.1	0	9.4	6.5	7.1	12.2	15		
7	D	20.4	8	5	9.4	0	8.1	6.1	9.1	11.6		
8	E	25	14.2	10.7	8.3	8.1	0	2	6.1	7.7		
9	F	27	15.2	11.2	7.1	6.1	1	0	5.1	7.1		
10	G	30.4	20	16.2	12.2	9.1	8.1	5.1	0	2.5		
11	H	31.4	21.4	15.22	12	11.6	7.7	7.1	2.5	0		
12												
13												
14	Asal	Tujuan	Rute	Jarak	Connection							
15	X	A	XA	12.3	1							
16	X	B	XB	20.5	0							
17	X	C	XC	20.3	0							
18	X	D	XD	28.4	0							
19	X	E	XE	25	0							
20	X	F	XF	27	0							
21	A	B	AB	8.2	0							
22	A	C	AC	8.3	0							
23	A	D	AD	8	1							
24	A	E	AE	14.2	0							
25	A	F	AF	15.2	0							
26	B	C	BC	5.1	0							
27	B	D	BD	9	0							
28	B	E	BE	10.7	0							
29	B	F	BF	11.2	0							
30	C	D	CD	9.4	0							
31	C	E	CE	6.5	0							
32	C	F	CF	7.1	0							
33	D	E	DE	8.1	0							
34	D	F	DF	6.1	1							
35	E	F	EF	2	0							
36	A	X	AX	12.3	0							
37	B	X	BX	20.5	1							
38	C	X	CX	20.3	0							
39	D	X	DX	28.4	0							
40	E	X	EX	25	0							
41	F	X	FX	27	0							
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												
101												
102												
103												
104												
105												
106												
107												
108												
109												
110												
111												
112												
113												
114												
115												
116												
117												
118												
119												
120												
121												
122												
123												
124												
125												
126												
127												
128												
129												
130												
131												
132												
133												
134												
135												
136												
137												
138												
139												
140												
141												
142												
143												
144												
145												
146												
147												
148												
149												
150												
151												
152												
153												
154												
155												
156												
157												
158												
159												
160												
161												
162												
163												
164												
165												
166												
167												
168												
169												
170												
171												
172												
173												
174												
175												
176												
177												
178												
179												
180												
181												
182												
183												
184												
185												
186												
187												
188												
189												
190												
191												
192												
193												
194												
195												
196												
197												

Gambar 5.6. *Spreadsheet* Perencanaan Rute dengan Metode MIP



Gambar 5.7. Kotak Dialog Solver



Gambar 5.8. Rute yang Terbentuk pada Titik A,B,C,D,E,F

Tabel 5.2. Perhitungan Kombinasi dan Perencanaan Rute

Kombinasi	Shore Plant (SP)								Floating Plant (FP)								Rute											
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	C	B	X		
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	X	B	D	G	H	F	E	C	X			
3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	C	X			
4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	B	X			
5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	X	A	B	C	F	G	H	E	X			
6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	X	B	C	F	H	G	D	A	X			
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	X	B	C	E	H	G	D	A	X			
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	X	B	C	E	F	H	D	A	X			
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	X	B	C	E	F	G	D	A	X			
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	X	B	C	E	F	D	A	X				
11	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	X	B	C	E	G	D	A	X				
12	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	X	B	C	E	H	D	A	X				
13	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	X	A	D	G	F	C	B	X				
14	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	X	B	C	F	H	D	A	X				
15	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	X	B	C	G	H	D	A	X				
16	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	X	A	B	C	F	G	E	X				
17	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	X	A	B	C	F	H	E	X				
18	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	X	A	B	C	E	G	H	X				
19	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	X	A	B	C	F	G	H	X				
20	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	X	A	B	C	F	G	E	X				
21	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	X	A	D	H	F	E	B	X				
22	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	X	A	D	G	H	E	B	X				
23	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	X	A	D	G	H	F	B	X				
24	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	X	E	H	G	F	B	A	X				
25	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	X	C	E	F	G	D	A	X				
26	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	X	C	E	F	H	D	A	X				
27	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	X	C	E	H	G	D	A	X				
28	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	X	C	F	H	G	D	A	X				
29	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	X	E	H	G	F	C	A	X				
30	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	A	X				
31	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	X	B	D	G	F	E	C	X				
32	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	X	B	D	H	F	E	C	X				
33	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	X	B	D	H	G	E	C	X				
34	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	X	B	D	G	H	F	C	X				
35	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	X	B	C	F	G	H	E	X				
36	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	B	X				
37	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	C	X				
38	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	X	B	C	E	D	A	X					
39	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	X	B	C	F	D	A	X					
40	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	X	B	C	G	D	A	X					
41	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	B	C	H	D	A	X					
42	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	X	A	B	C	F	E	X					
43	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	X	A	B	C	E	G	X					

5.3 Perencanaan Pola Operasi

Pada perencanaan pola operasi kapal desalinasi air laut ini, terdapat dua jenis pola operasi yang bisa diterapkan, yaitu pola operasi *multi discharge single loading* dan pola operasi *point to point*. Pola operasi *multi discharge single loading* adalah pola operasi dimana kendaraan membawa muatan sejumlah total permintaan kemudian

mensuplai ke semua titik *demand* dalam satu periode waktu tertentu. Sedangkan pola operasi *point to point* adalah pola operasi dimana kendaraan akan memulai operasi dari depot kemudian menuju ke titik *demand* pertama dan kembali lagi ke depot untuk mengisi muatan untuk selanjutnya mensuplai titik *demand* kedua, dan seterusnya sampai titik *demand* habis. Kedua pola operasi tersebut bisa diadopsi kapal desalinasi air laut dengan beberapa perubahan sesuai dengan karakteristik kapal desalinasi. Dengan mengadopsi kedua pola operasi tersebut, pola operasi kapal desalinasi dikembangkan menjadi dua jenis, yaitu pola operasi A (mengadopsi konsep *multi discharge single loading*) dan pola operasi B (mengadopsi konsep *point to point*).

5.3.1 Pola Operasi A

Pola operasi A adalah pola operasi kapal desalinasi yang mengadopsi konsep *multi discharge single loading*. Pada pola operasi A kapal berangkat dari *hub port* kemudian melakukan proses desalinasi untuk menghasilkan air tawar sejumlah total permintaan pada rute yang dilayani. Jika kapal telah memproduksi air tawar sejumlah tersebut maka kapal akan berlayar menuju rute yang seharusnya untuk mensuplai titik-titik *demand* yang terdapat pada rute tersebut.

Konsekuensi yang harus ditanggung jika menerapkan pola operasi ini adalah ukuran kapal yang besar karena *payload* kapal diperoleh dari total permintaan pada rute yang dilayani. Ukuran kapal yang besar menyebabkan fasilitas SPM yang dipasang juga harus besar. *Sea time* kapal juga besar karena kapal harus memproduksi air terlebih dahulu sejumlah total permintaan pada rute yang dilayani setelah itu baru melayani titik-titik *demand*. Keuntungan dengan menerapkan pola operasi ini adalah *pump rate* kapal yang cepat karena ukuran kapal cukup besar sehingga *port time* tidak terlalu besar.

5.3.2 Pola Operasi B

Pola operasi B adalah pola operasi kapal desalinasi yang mengadopsi konsep *point to point*. Pada pola operasi B kapal berangkat dari *hub port* kemudian melakukan proses desalinasi untuk menghasilkan air tawar sejumlah permintaan di titik yang dikunjungi pertama kali. Setelah kapal memproduksi sejumlah tersebut kapal akan menuju titik pertama untuk mensuplai muatan kemudian berlayar lagi untuk memproduksi air tawar sejumlah permintaan di titik kunjungan kedua sampai kapal terisi sesuai dengan yang diinginkan. Setelah itu kapal akan berlayar menuju titik kedua untuk mensuplai muatan. Begitu seterusnya sampai seluruh titik terlayani.

Pada pola operasi ini nilai *payload* kapal diperoleh dari permintaan terbanyak dari pulau yang dilayani pada suatu rute sehingga *payload* yang dihasilkan dari pola operasi B pada rute yang sama lebih kecil daripada *payload* yang dihasilkan dari pola operasi A. *Payload* yang lebih kecil juga mengindikasikan ukuran kapal yang lebih kecil sehingga dermaga yang digunakan untuk transfer muatan lebih kecil daripada dermaga yang digunakan pada pola operasi A. *Sea time* kapal lebih kecil bila dibandingkan dengan pola operasi B karena kapal memproduksi air tawar sambil berlayar menuju pulau yang akan dilayani. Kekurangan pola operasi B adalah *port time* kapal yang lebih besar daripada pola operasi A karena ukuran kapal lebih kecil sehingga *pump rate* juga lebih kecil.

5.4 Analisis Biaya

Analisis ekonomis dilakukan untuk mengetahui jenis dan besar biaya yang diperlukan untuk mengoperasikan kapal desalinasi air laut, aliran kas, dan kelayakan pengoperasian. Dalam Tugas ini, biaya dibagi menjadi 3 bagian, yaitu biaya kapal, biaya alat desalinasi, dan biaya infrastruktur (depot dan dermaga).

Sesuai dengan literatur, biaya kapal digolongkan menjadi 4, yaitu a) Biaya modal (*capital cost*); b) Biaya operasional (*operational cost*); c) Biaya pelayaran (*voyage cost*); dan d) Biaya bongkar muat (*cargo handling cost*). Biaya alat desalinasi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: a) Biaya modal (*capital cost*); b) Biaya operasional (*operational cost*); dan c) Biaya Produksi. Sedangkan biaya infrastruktur dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu: a) Biaya modal (*capital cost*) dan b) Biaya operasional (*operational cost*).

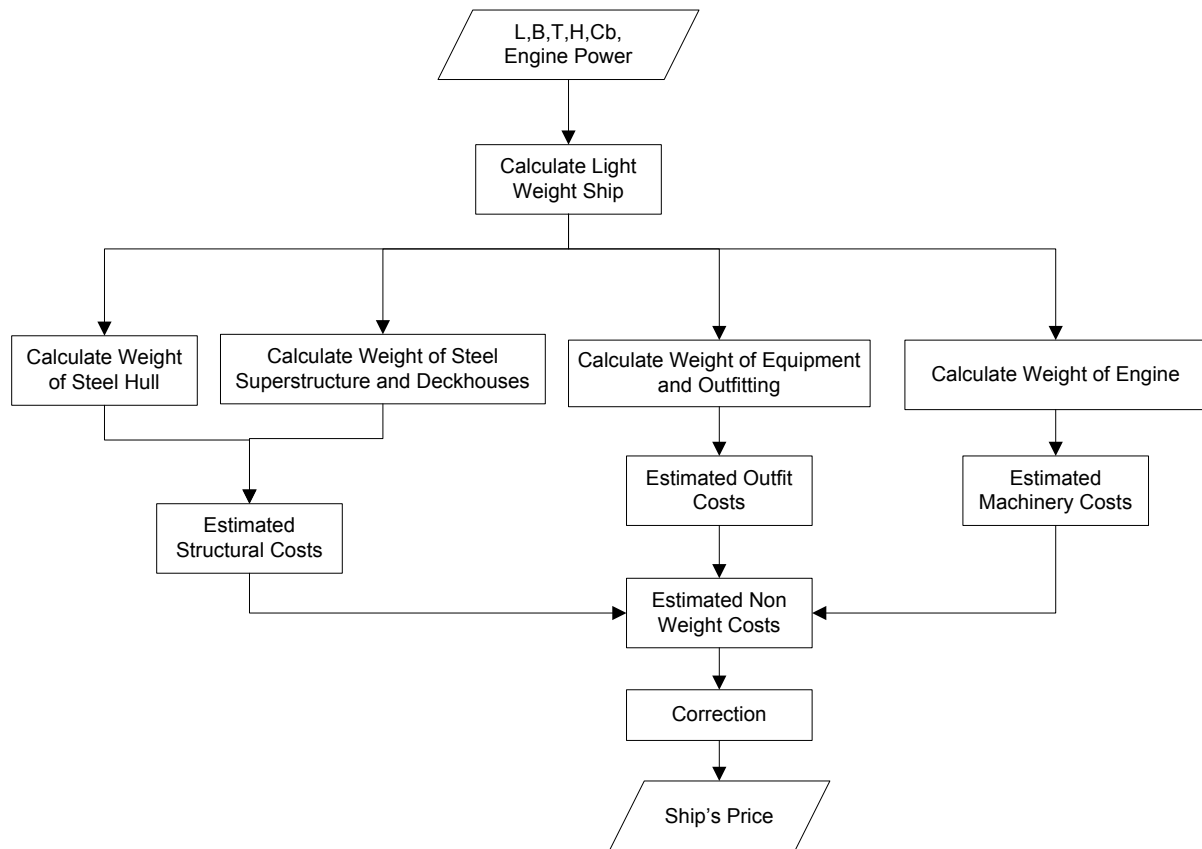
5.4.1 Biaya Modal Kapal (*Capital Cost*)

Biaya modal dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan yang disediakan oleh David. G.M. Watson (1998) (pers. **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.**). Alur perhitungan sehingga diperoleh harga kapal adalah sebagai berikut:

1. Data awal yang diperlukan adalah ukuran utama kapal (L,B,T,H) dan *engine power*. Nilai ini diperoleh dengan cara regresi dengan menggunakan data kapal pembanding.
2. Setelah itu, dihitung LWT kapal dengan membagi menjadi 4 bagian, yaitu berat baja lambung kapal (*weight of steel hull*), berat bangunan atas dan rumah

geladak (*weight of superstructure & deckhouses*), berat perlengkapan dan peralatan (*weight of equipment & outfitting*), dan berat permesinan (*weight of machinery*).

- Langkah terakhir adalah menghitung biaya struktur, biaya perlengkapan, biaya permesinan, dan biaya non berat dengan menggunakan grafik yang telah disediakan oleh Watson.



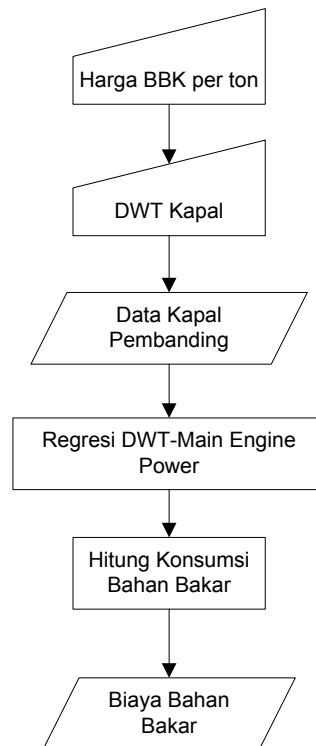
Gambar 5.9. Alur Perhitungan Harga Kapal

5.4.2 Biaya Pelayaran (*Voyage Costs*)

Merujuk pada literatur, biaya pelayaran terdiri atas biaya bahan bakar (*fuel cost*) dan biaya pelabuhan (*port cost*). Konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan yang diberikan oleh Michael G. Parson (pers. **Error! Reference source not found.**). Gambar 5.10 menunjukkan Alur perhitungan biaya bahan bakar, yaitu:

- Input data yang diperlukan adalah harga bahan bakar kapal (BBK) jenis MFO, MDO, dan HSD serta DWT kapal yang ingin diketahui konsumsi bahan bakarnya.

2. Setelah itu digunakan metode regresi dengan kapal pembanding untuk menentukan *engine power*.
3. Konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan pers. **Error! Reference source not found.**) dan selanjutnya nilai yang diperoleh dikalikan dengan harga bahan bakar kapal yang digunakan.



Gambar 5.10. Alur Perhitungan Biaya Bahan Bakar Kapal

Biaya pelabuhan dihitung berdasarkan tarif yang telah ditentukan di Pelabuhan Tanjung Priok (Lampiran 2). Dalam Tugas Akhir ini yang termasuk biaya pelabuhan adalah biaya labuh, tunda, dan pandu. Hal ini disebabkan karena kapal tidak bersandar di dermaga pelabuhan dan hanya berlabuh di kolam pelabuhan untuk mengisi bahan bakar dan logistik kapal.

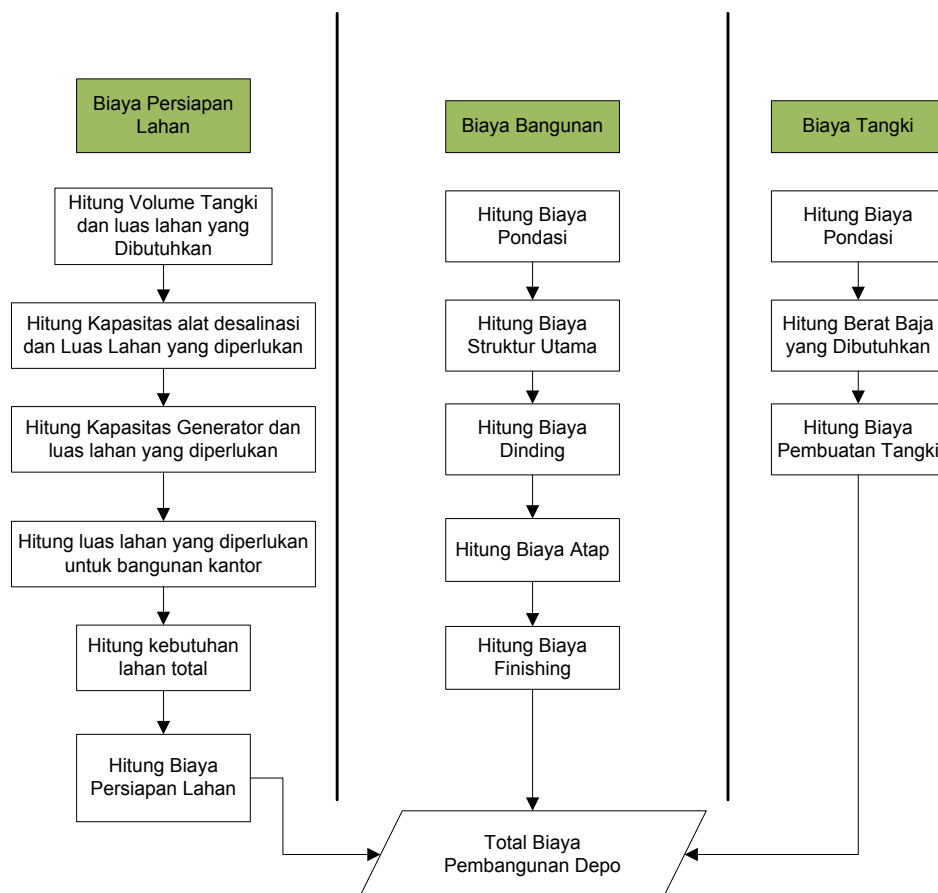
5.4.3 Biaya Operasional Kapal (*Operational Cost*)

Biaya operasional kapal terdiri dari biaya gaji ABK, biaya perawatan kapal, dan biaya perbekalan dan minyak pelumas. Biaya ABK ditentukan berdasarkan ukuran kapal yang digunakan. Semakin besar kapal semakin banyak pula ABK yang diperlukan dengan gaji yang lebih besar. Gaji ABK diperoleh dengan membandingkan gaji ABK di PT. Pertamina Shipping.

Biaya perbekalan kapal dihitung dengan menggunakan asumsi bahwa uang makan ABK adalah Rp 20.000,00 sekali makan sehingga dalam sehari tiap ABK mendapat uang makan sebanyak Rp 60.000,00. Biaya pelumas dihitung dengan menggunakan rumus estimasi dari Watson (1997), yaitu setiap 1000 kW mesin membutuhkan pelumas sebesar 35 liter. Biaya perawatan kapal dihitung dengan menggunakan estimasi dari M. Stopford (2003), yaitu sebesar 16% dari total biaya operasi.

5.5 Biaya Modal Infrastruktur

Biaya modal infrastruktur mencakup biaya dermaga dan biaya pembangunan depo. Biaya pembangunan depo dihitung berdasarkan kebutuhan lahan, volume tangki yang dibangun, dan bangunan depo yang disesuaikan dengan jumlah permintaan (*demand*) di masing-masing pulau (Gambar 5.11). Sedangkan biaya dermaga disesuaikan dengan ukuran kapal (DWT) yang tambat di SPM tersebut.



Gambar 5.11. Diagram Alir Perhitungan Biaya Pembangunan Depo

Hasil perhitungan biaya pembangunan depo dengan menggunakan *shore plant* (SP) dan *floating plant* (FP) dapat dilihat pada Tabel 5.3. Perbedaan biaya pembangunan depo dengan metode pasokan SP dan FP disebabkan metode pasokan dengan menggunakan FP membutuhkan tangki penyimpanan yang lebih besar yang digunakan untuk menyimpan cadangan air ketika kapal melakukan *docking*. Perhitungan selengkapnya disajikan pada Lampiran 3.

Tabel 5.3. Perhitungan Biaya Modal Infrastruktur

Titik	Shore Plant	Floating Plant (Penambahan Storage)
A	5,329,417,773	2,901,120,049
B	3,953,775,842	2,881,089,183
C	3,737,402,482	2,447,489,364
D	5,228,985,432	2,828,375,920
E	4,452,254,777	3,308,061,702
F	5,163,515,716	2,632,126,146
G	4,365,646,716	2,969,733,726
H	3,040,615,433	1,288,786,429

5.5.1 Biaya Modal Alat Desalinasi

Harga alat desalinasi diperoleh dari hasil survei di perusahaan produsen alat desalinasi di Indonesia. Harga alat desalinasi ini dihitung dengan menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found.**

5.5.2 Biaya Operasional Alat Desalinasi

Biaya operasional alat desalinasi mencakup biaya *maintenance and spares*, *chemical cost*, dan *membrane replacement*. Biaya *maintenance and spares* dihitung sebesar 2% dari biaya modal alat desalinasi (El-Dessouky & Ettouney, 2002), *chemical cost* dihitung dengan menggunakan estimasi takaran pada **Error! Reference source not found.** dan harganya disesuaikan dengan harga pasar saat ini. Biaya *membrane replacemet* dihitung berdasarkan Persamaan **Error! Reference source not found.**

5.6 Pengembangan Optimasi

Model optimasi sebelumnya belum bisa menganalisis kemungkinan penggunaan 2 kapal atau lebih untuk mencapai nilai optimum. Oleh karena itu, dilakukan optimisasi tahap kedua menggunakan konsep BIP dengan menggunakan model matematika yang disajikan dalam persamaan **Error! Reference source not found.**), **Error! Reference source not found.**, dan **Error! Reference source not found.**. Dengan menggunakan model matematika pada persamaan **Error! Reference source not found.**) **Error!**

Reference source not found., dan Error! Reference source not found. diperoleh persamaan matematis sebagai berikut:

$$X_j \in \begin{cases} 1, \text{ bila opsi } j \text{ dipilih} \\ 0, \text{ bila opsi } j \text{ tidak dipilih} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize unit cost} = & (116.252.880.439X_1 + 55.041.504.929X_2 + 48.843.921.045X_3 + \\ & 114.598.149.877X_4 + 65.975.846.347X_5 + 109.352.580.568X_6 \\ & + 64.248.539.247X_4 + 32.773.954.397X_5 + 139.836.023.473X_6 \\ & + 217.528.672.238X_7 + 138.158.877.617X_8 + \\ & 141.639.572.649X_9 + \dots + 293.250.673.636X_{948} + \\ & 243.251.844.712X_{949} + 319.357.282.682X_{950}) / (18.326.879) \end{aligned}$$

Subject to:

$$u_A, u_B, u_C, u_D, u_E, u_F, u_G, u_H = 1$$

X_j adalah *boolean* untuk $j = 1, 2, 3, \dots, 950$

Persamaan matematika ini selanjutnya dibuat dalam *spreadsheet* Gnumeric Linux seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.14. Model optimasi ini terdiri dari 5 bagian, yaitu:

1. Titik yang dilayani

Titik yang dilayani sesuai dengan model operasi yang telah direncanakan sebelumnya. Untuk metode pasokan air dengan menggunakan *shore plant*, setiap titik dilayani dengan menggunakan 1 unit pabrik desalinasi RO. Sedangkan metode pasokan air dengan menggunakan *floating plant* bisa melayani beberapa titik, mulai dari 1 sampai dengan 5 titik sekaligus.

2. Rekapitulasi *unit cost*

Rekapitulasi *unit cost* merupakan penjumlahan total dari seluruh biaya proyek yang kemudian dibagi dengan umur proyek dan jumlah air yang dihasilkan. Jadi, *unit cost* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi air per m^3 .

3. Variabel Keputusan

Variabel keputusan digunakan untuk menentukan keputusan yang akan diambil. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada Tinjauan Pustaka, bahwa variabel keputusan menggunakan variabel *boolean* yang mempunyai nilai 0 dan 1. Nilai 0 menandakan bahwa keputusan tersebut tidak diambil

sedangkan nilai 1 menandakan bahwa keputusan tersebut diambil. Pada Gambar 5.14 variabel keputusan berada pada sel L2:L950.

4. Jumlah Kunjungan

Jumlah kunjungan di masing-masing titik merupakan batasan (*constrain*) dalam model optimasi ini. Dalam model ini setiap titik harus dilayani atau dikunjungi sebanyak satu kali dengan memilih salah satu metode pasokan air yang paling murah di lokasi tersebut. Batasan dalam model ini ditunjukkan pada sel X2:X9 dan rumus yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.4 baris 5.

5. Perhitungan *total cost*

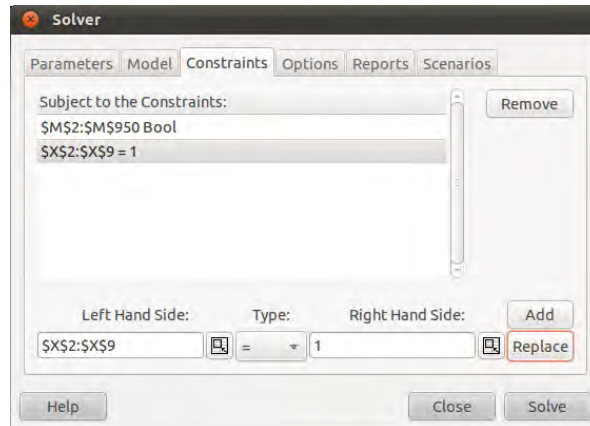
Biaya total merupakan biaya total yang harus dikeluarkan untuk memasok air bersih ke seluruh pulau (8 pulau). Biaya total merupakan fungsi tujuan dari model optimisasi ini, yaitu biaya total yang dikeluarkan untuk memasok air bersih ke seluruh pulau harus minimum sehingga nilai jual air per meter kubik menjadi murah. Perhitungan biaya total ditunjukkan pada sel X11 dan rumus yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

6. Optimisasi

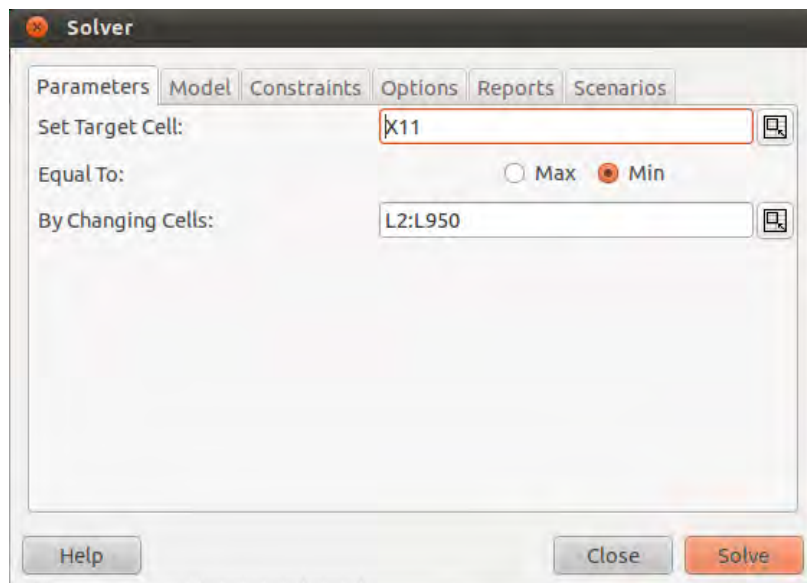
Setelah *worksheet* selesai dibuat maka langkah terakhir adalah melakukan optimasi dengan menggunakan Solver dan nilai-nilai yang dimasukkan dalam Solver Parameter ditunjukkan pada Gambar 5.12.

Tabel 5.4. Rumus Spreadsheet Optimasi Pemilihan Model

Definisi	Sel	Rumus yang Digunakan	Keterangan
Variabel Keputusan	L2:L950	Nilai satu mengindikasikan model dipilih dan nol menyatakan tidak	Pemilihan model yang optimum
Batasan	N2:U950	IF(\$L2=1,D2,"")	Diisi seri sampai sel U950
	L2:L950	Nol-satu (<i>boolean</i>)	Nilai satu mengindikasikan dipilih dan nol tidak
	X2	COUNTIF(\$N\$2:\$U\$950,\$W2)	Batasan kunjungan: diisi seri sampai sel X9
Fungsi Tujuan	X11	SUMPRODUCT(\$L\$2:\$L\$950,\$M\$2:\$M\$950)/produksi_total	Total biaya minimum



Gambar 5.12. Kotak Dialog Solver (*constrains*)



Gambar 5.13. Kotak Dialog Solver (*parameters*)

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	V	W	X
1	Model	Titik								Total Cost	Des. Variabel			
2	Shore Plant	A								116,252,880,439	1	A		1
3	Shore Plant	B								55,041,504,929	1	B		1
4	Shore Plant	C								48,843,921,045	0	C		1
5	Shore Plant	D								114,598,149,877	1	D		1
6	Shore Plant	E								65,975,846,347	0	E		1
7	Shore Plant	F								109,352,580,568	1	F		1
8	Shore Plant	G								64,248,539,247	0	G		1
9	Shore Plant	H								32,773,954,397	0	H		1
10	2B	X	C	G	H	X				139,836,023,473	0			
11	2B	X	A	H	X					217,528,672,238	0	Unit Cost (Rp/m3)	32,165	
12	2B	X	B	E	X					138,158,877,617	0			
383	12B	X	H	E	C	X				141,639,572,649	0			
384	12B	X	H	G	C	X				138,026,094,921	0			
385	12B	X	E	A	X					229,520,967,950	0			
386	12B	X	H	A	X					215,232,283,860	0			
387	12B	X	C	B	X					124,458,317,890	0			
388	12B	X	E	B	X					139,926,077,987	0			
389	12B	X	H	B	X					115,887,702,253	0			
390	12B	X	B	C	X					124,155,002,615	0			
391	12B	X	F	C	X					209,435,243,134	0			
392	12B	X	G	C	X					135,184,651,649	0			
393	12B	X	H	G	X					119,587,986,890	0			
394	13B	X	H	G	E	C	X			194,233,673,572	1			
395	13B	X	H	B	A	X				290,040,745,466	0			
396	13B	X	H	C	A	X				287,516,353,215	0			
397	13B	X	H	E	A	X				292,054,411,601	0			

Gambar 5.14. Model Perhitungan Optimasi pada *Spreadsheet* Ms. Excel

BAB 6. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

6.1 Pengembangan Model Operasi

Berdasarkan beberapa kriteria, pola operasi A dan B masing-masing dapat dikembangkan menjadi 20 model operasi (Gambar 6.1 dan Tabel 6.1). Kriteria yang dijadikan acuan untuk pengembangan skenario adalah sebagai berikut:

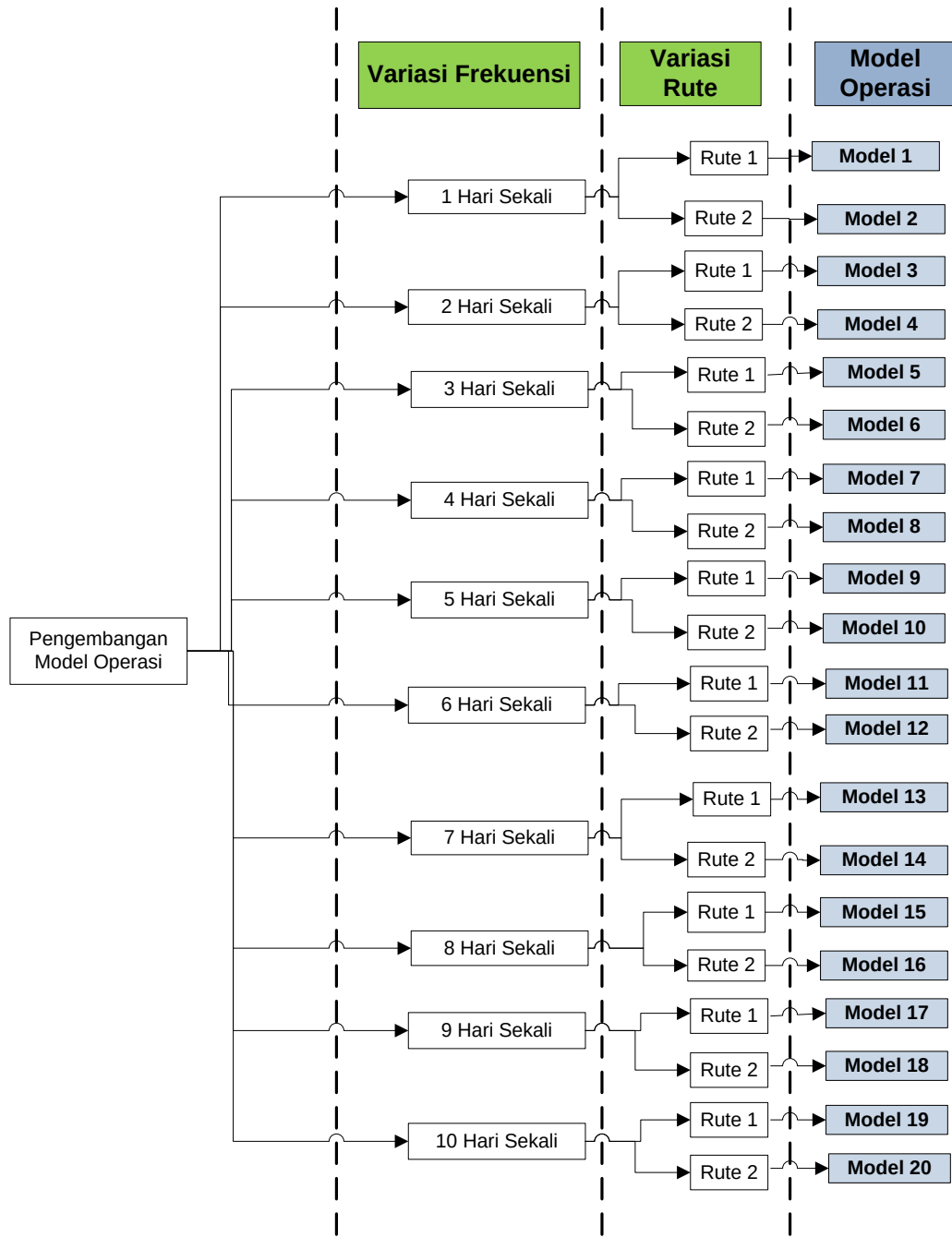
1. Urutan Kunjungan (Rute)

Urutan kunjungan menentukan jumlah produksi air bersih sehingga berpengaruh terhadap jarak yang ditempuh dan waktu berlayar kapal. Dalam penelitian ini urutan kunjungan akan divariasikan menjadi dua jenis, yaitu urutan kunjungan sehingga total jarak yang ditempuh menjadi minimum (rute 1) dan urutan kunjungan dimana pulau yang dikunjungi terakhir adalah pulau yang paling dekat dengan *hub port* (rute 2).

2. Frekuensi Suplai

Frekuensi suplai mempengaruhi ukuran penampungan air di depot, kapasitas alat desalinasi yang dipasang pada kapal, bahan bakar yang digunakan kapal untuk berlayar, jumlah logistik ABK yang dibawa, dan jumlah trip/tahun. Dalam penelitian ini, frekuensi suplai kapal divariasikan menjadi 10, yaitu suplai air bersih sehari sekali sampai dengan sepuluh hari sekali.

Pada masing-masing skenario dihitung *sea time* dan *port time* kapal desalinasi tiap-tiap rute sehingga diperoleh nilai *turn round time* tiap rute. Nilai *turn round time* ini dijadikan persyaratan suatu rute untuk memenuhi kriteria kedua, yaitu frekuensi suplai. Jadi, jika *turn round time* kapal melebihi frekuensi suplai yang sudah ditetapkan sebelumnya maka rute tersebut akan dieliminasi. Rute, *payload* kapal, dan model operasi yang memenuhi kriteria disajikan pada Lampiran 1.



Gambar 6.1. Skema Pengembangan Model Operasi Kapal

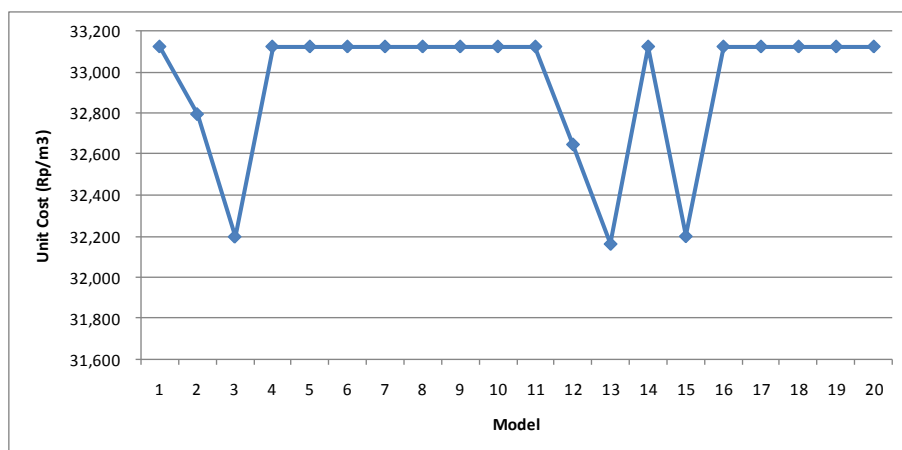
Tabel 6.1. Pengembangan Model Pola Operasi A dan Pola Operasi B

No	Model	Frekuensi (hari)	Rute
1	1 A/B	1	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
2	2 A/B	2	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
3	3 A/B	3	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
4	4 A/B	4	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
5	5 A/B	5	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
6	6 A/B	6	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
7	7 A/B	7	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
8	8 A/B	8	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
9	9 A/B	9	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
10	10 A/B	10	Urutan Kunjungan Sehingga Total Jarak Minimum
11	11 A/B	1	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
12	12 A/B	2	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
13	13 A/B	3	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
14	14 A/B	4	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
15	15 A/B	5	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
16	16 A/B	6	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
17	17 A/B	7	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
18	18 A/B	8	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
19	19 A/B	9	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port
20	20 A/B	10	Kunjungan Terakhir adalah Pulau yang Paling Dekat dengan Hub Port

Hasil perhitungan optimisasi pada masing-masing model disajikan pada Tabel 6.2. Hasil optimum terdapat pada model 6B dengan *unit cost total* untuk produksi air minum (*potable water*) Rp32.165 (Tabel 6.2). Titik A,B,D,F dilayani *shore plant* dan titik C,E,G,H dilayani *floating plant* dengan rute $X \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow X$ (Tabel 6.3) (Gambar 6.3). Jumlah kapal yang digunakan adalah 1 unit dengan *payload* 1.313 ton dengan kapasitas alat desalinasi $1.440 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Tabel 6.2. Hasil Optimisasi pada Masing-Masing Model Operasi

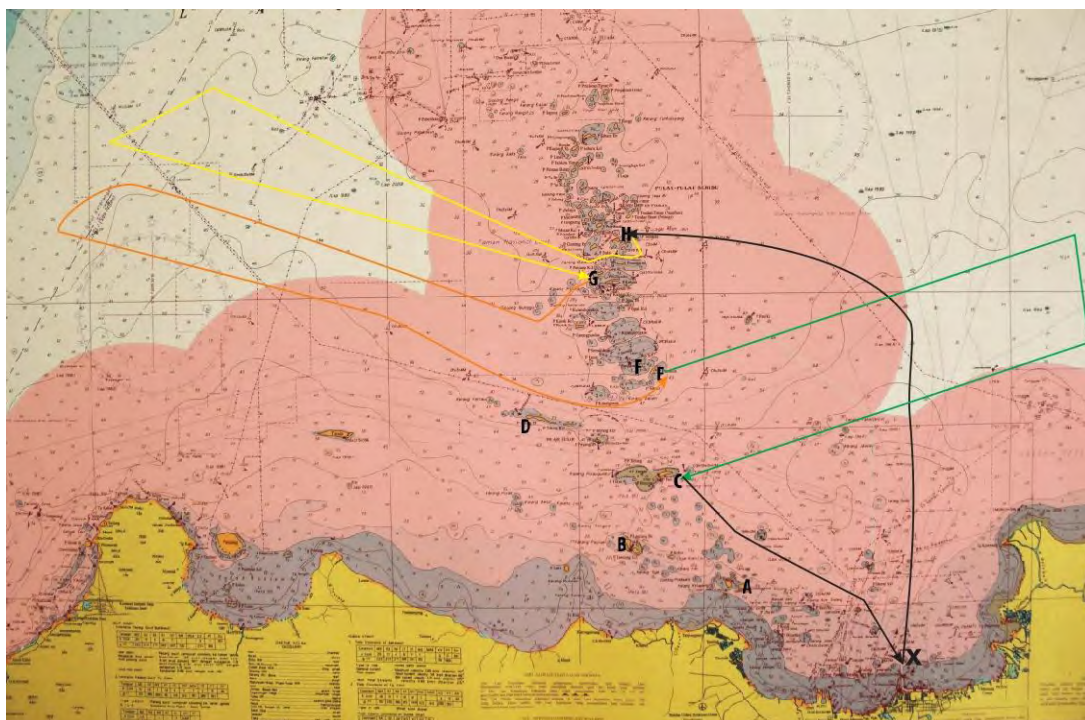
Model	Pola Operasi	Shore Plant	Floating Plant	Rute	Unit Cost
1	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
2	B	A,B,D,E,F	C,G,H	X-C-G-H-X	32,796
3	B	A,B,D,E,G	C,E,G,H	X-C-E-G-H-X	32,200
4	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
5	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
6	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
7	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
8	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
9	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
10	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
11	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
12	B	A,C,D,F,G	B,E,H	X-H-E-B-X	32,649
13	B	A,B,D,E,G	C,E,G,H	X-H-G-E-C-X	32,165
14	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
15	B	A,D,F	B,C,E,G,H	X-H-G-E-C-B-X	32,202
16	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
17	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
18	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
19	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126
20	-	A,B,C,D,E,F,G,H	-	-	33,126



Gambar 6.2. Grafik Masing-Masing Model Terhadap Unit Cost (Rp/m³)

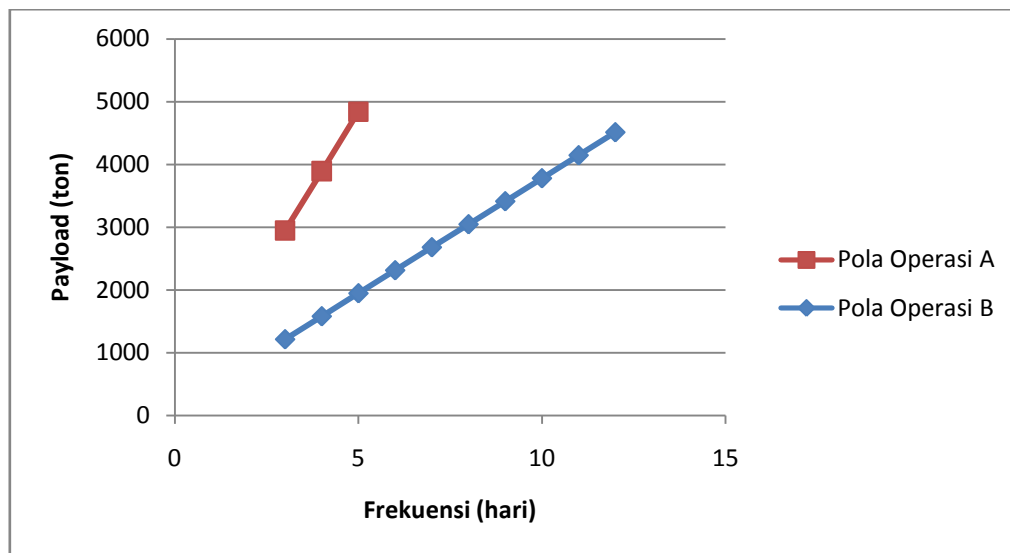
Tabel 6.3. Hasil Perhitungan optimisasi

Keterangan	Kapal	Shore Plant			
Model terpilih	13B	-	-	-	-
Titik yang dilayani	C,E,G,H	A	B	D	F
Rute	X-H-G-E-C-X	-	-	-	-
Payload (ton)	1,313	-	-	-	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1,440	1,118.00	399	1,087	991
Frekuensi Suplai (hari)	3	-	-	-	-
Port Time (jam)	13.80	-	-	-	-
Sea Time (Jam)	57.27	-	-	-	-
TRT (jam)	70.97	-	-	-	-
Trip/Year	117	-	-	-	-
Unit Cost (Rp/m3)	38,819	28,046.45	37,181.12	28,460	29,786
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.035	-	-	-	-
Unit Cost Total(Rp/m3)					32,165



Gambar 6.3. Ilustrasi Rute Kapal Desalinasi Air Laut

Tidak terpilihnya pola operasi A disebabkan karena dengan menerapkan pola operasi A ukuran kapal menjadi sangat besar karena yang menjadi dasar dalam perhitungan *payload* adalah jumlah seluruh permintaan pada titik yang dilayani sehingga nilai investasi awal menjadi besar. Gambar 6.4, yaitu pada frekuensi suplai dan rute yang sama, pola operasi A mempunyai *payload* yang lebih besar daripada pola operasi B sehingga pola operasi B jauh lebih kompetitif daripada pola operasi A.



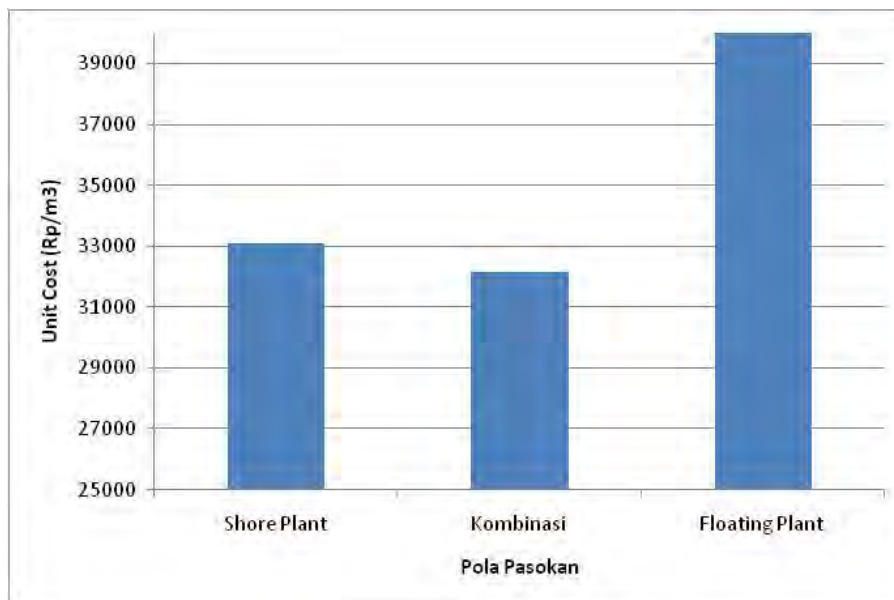
Gambar 6.4. Perbedaan Payload Antara Pola Operasi A dan B

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 $1.680 \text{ m}^3/\text{hari}$ 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 $1.680 \text{ m}^3/\text{hari}$, dan frekuensi suplai 3 hari sekali. Kapal 3 mempunyai *payload* 2.604, melayani titik C,F,G dengan rute $X \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow X$, kapasitas alat desalinasi yang dipasang adalah $1.800 \text{ m}^3/\text{hari}$, dan frekuensi suplai 3 hari sekali (Tabel 6.4).

Tabel 6.4. 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 (m3/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/m3)	38.761	48.166	43.470
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0,035	0,043	0,038
Unit Cost Total (Rp/m3)	43.470		

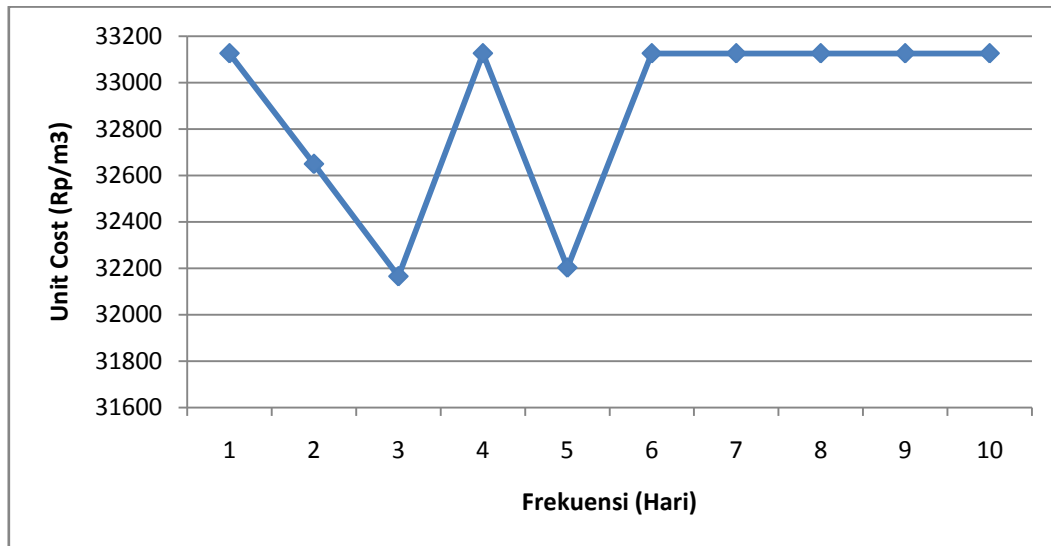
Gambar 6.5 menunjukkan perbandingan antara pola pasokan air dengan menggunakan *shore plant*, *floating plant*, dan kombinasi antara keduanya. Dapat dilihat bahwa dengan mengkombinasikan *shore plant* dan *floating plant* diperoleh *unit cost* terkecil dengan perbandingan 26% lebih rendah daripada penggunaan *floating plant* seluruhnya dan 3% lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *shore plant* seluruhnya.



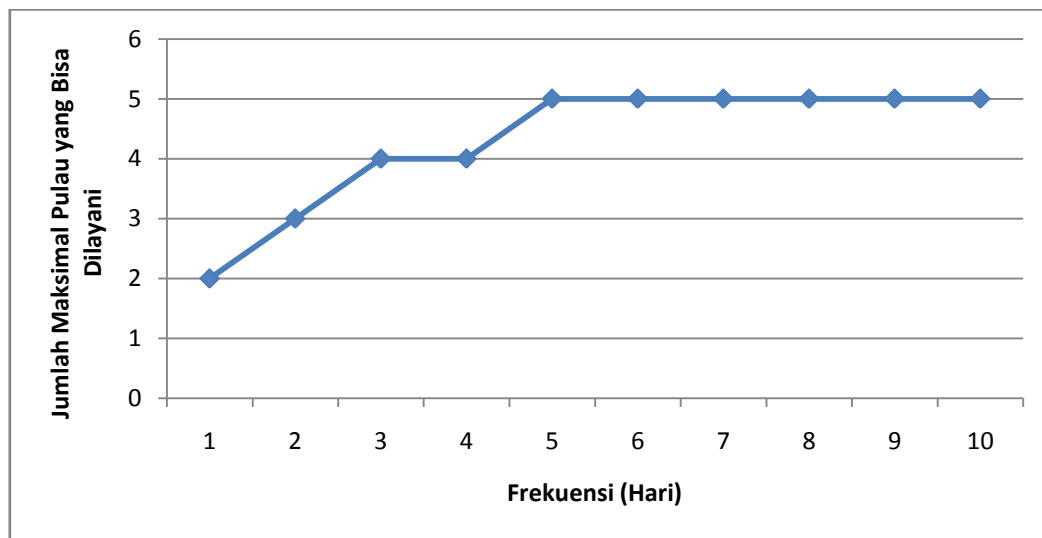
Gambar 6.5. Perbandingan Biaya Pola Pasokan Air

Ditinjau dari variasi frekuensi suplai dapat dilihat bahwa *unit cost* terendah terjadi ketika frekuensi suplai 3 hari. Pada frekuensi suplai 4 hari terjadi kenaikan biaya namun menurun kembali ketika frekuensi ditambah menjadi 5 hari (Gambar 6.6). Kenaikan biaya ini disebabkan karena ketika frekuensi suplai dinaikkan dari 3 hari

menjadi 4 hari sekali tidak terdapat adanya penambahan pulau yang terlayani sehingga untuk rute yang sama ukuran kapal akan menjadi lebih besar karena *payload* kapal menjadi semakin besar (Gambar 6.7).

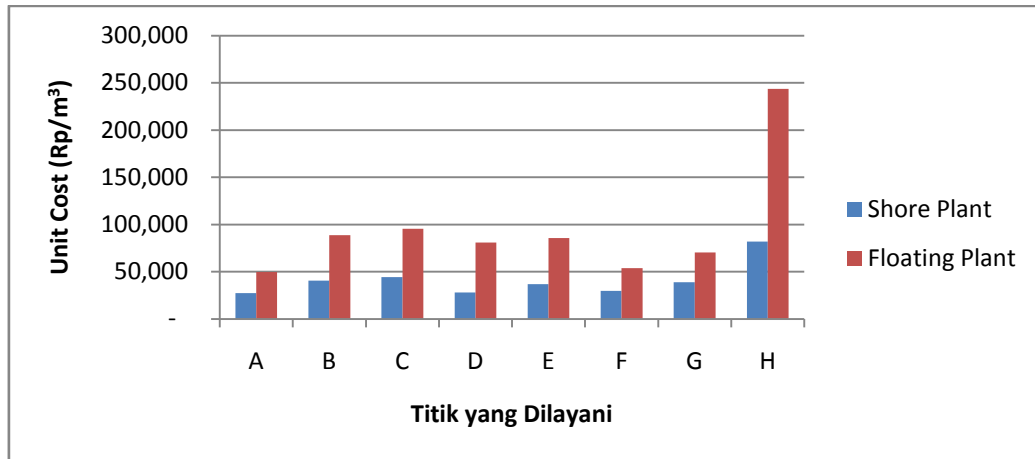


Gambar 6.6. Grafik Frekuensi Suplai Terhadap *Unit Cost*



Gambar 6.7. Grafik Frekuensi Suplai Terhadap Jumlah Pulau yang Bisa Dilayani

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 6.8. Jika *floating plant* digunakan hanya untuk mensuplai 1 titik saja maka *unit cost* (Rp/m³) akan menjadi sangat mahal. Rata-rata *unit cost shore plant* 54% lebih murah daripada penggunaan *floating plant* untuk mensuplai satu titik saja.



Gambar 6.8. Perbandingan *Unit Cost* (Rp/m³) SP dan FP di Masing-Masing Titik

6.2 Variasi Jumlah Kapal

Perhitungan dengan memvariasikan jumlah kapal dilakukan untuk mengetahui perubahan *unit cost* jika dilakukan penambahan jumlah kapal yang beroperasi. Hal ini dapat dihitung dengan menambahkan batasan (*constrain*) jumlah kapal pada model BIP. Jika jumlah kapal dimisalkan dengan n maka model matematis BIP menjadi:

$$X_j \begin{cases} 1, \text{ bila opsi } j \text{ dipilih} \\ 0, \text{ bila opsi } j \text{ tidak dipilih} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize unit cost} = & (116.252.880.439X_1 + 55.041.504.929X_2 + 48.843.921.045X_3 + \\ & 114.598.149.877X_4 + 65.975.846.347X_5 + 109.352.580.568X_6 \\ & + 64.248.539.247X_4 + 32.773.954.397X_5 + 139.836.023.473X_6 \\ & + 217.528.672.238X_7 + 138.158.877.617X_8 + \\ & 141.639.572.649X_9 + \dots + 293.250.673.636X_{948} + \\ & 243.251.844.712X_{949} + 319.357.282.682X_{950}) / (18.326.879) \end{aligned}$$

Subject to:

$$u_A, u_B, u_C, u_D, u_E, u_F, u_G, u_H = 1$$

$$X_j \text{ adalah boolean untuk } j = 1, 2, 3, \dots, 950$$

$$\sum_{j=1}^{950} X_j = n \quad (6.1)$$

nilai n (jumlah kapal) divariasikan dari 1 sampai 8. Asumsi yang digunakan dalam memvariasikan jumlah kapal adalah satu pulau maksimal dilayani dengan menggunakan satu kapal. Oleh karena itu jumlah variasi dibatasi sampai dengan 8 karena dalam Tugas Akhir ini jumlah pulau yang dilayani adalah 8.

Tabel 6.5. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 1 Unit

Keterangan	Kapal	Shore Plant			
Model terpilih	13B	-	-	-	-
Titik yang dilayani	C,E,G,H	A	B	D	F
Rute	X-H-G-E-C-X	-	-	-	-
Payload (ton)	1,313	-	-	-	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1,440	1,118.00	399	1,087	991
Frekuensi Suplai (hari)	3	-	-	-	-
Port Time (jam)	13.80	-	-	-	-
Sea Time (Jam)	57.27	-	-	-	-
TRT (jam)	70.97	-	-	-	-
Trip/Year	117	-	-	-	-
Unit Cost (Rp/m3)	38,819	28,046	37,181	28,460	29,786
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.035	-	-	-	-
Unit Cost Total(Rp/m3)	32,165				

Tabel 6.5 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 1 unit. Hasilnya adalah titik C,E,G,H dilayani kapal dengan rute X-H-G-E-C-X dan titik lainnya yaitu A,B,D,F dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp32.165.

Tabel 6.6. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 2 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Shore Plant	
Model terpilih	12B	12B	-	-
Titik yang dilayani	B,E	C,G,H	D	F
Rute	X-B-E-X	X-H-G-C-X	-	-
Payload (ton)	876	823	-	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	960	960	1,087	991
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	-	-
Port Time (jam)	8.80	8.76	-	-
Sea Time (Jam)	38.28	37.53	-	-
TRT (jam)	47.08	46.28	-	-
Trip/Year	175	175	-	-
Unit Cost (Rp/m3)	42,422	42,770	28,460	29,786
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.0384	0.0395	-	-
Unit Cost Total(Rp/m3)	33,633			

Tabel 6.6 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 2 unit. Hasilnya adalah titik B,E dilayani kapal dengan rute X-B-E-X, titik C,G,H dilayani kapal dengan rute X-H-G-C-X dan titik lainnya yaitu D,F dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp33.633.

Tabel 6.7. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 3 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Shore Plant	
Model terpilih	12B	12B	12B	-	-
Titik yang dilayani	A,E	B,C	G,H	D	F
Rute	X-E-A-X	X-B-C-X	X-H-G-X	-	-
Payload (ton)	1,991	778	835	-	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1,680	1,320	1,080	1,087	991
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	-	-
Port Time (jam)	9.24	7.86	7.08	-	-
Sea Time (Jam)	38.52	22.89	23.31	-	-
TRT (jam)	47.76	30.75	30.39	-	-
Trip/Year	175	175	175	-	-
Unit Cost (Rp/m3)	38,761	47,437	57,212	28,460	29,786
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.0348	0.0718	0.0850	-	-
Unit Cost Total(Rp/m3)	38,043				

Tabel 6.7 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 3 unit. Hasilnya adalah titik A,E dilayani kapal dengan rute X-E-A-X, titik B,C dilayani kapal dengan rute X-B-C-X, titik G,H dilayani kapal dengan rute X-H-G-X dan titik lainnya yaitu D,F dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp38.043.

Tabel 6.8. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 4 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Shore Plant
Model terpilih	2B	12B	12B	12B	-
Titik yang dilayani	F	E,A	B,C	G,H	D
Rute	X-F-X	X-E-A-X	X-B-C-X	X-H-G-X	-
Payload (ton)	1,725	1,991	778	835	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1,080	1,680	1,320	1,080	1,087
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	2	-
Port Time (jam)	8.06	9.24	7.86	7.08	-
Sea Time (Jam)	38.54	38.52	22.89	23.31	-
TRT (jam)	46.60	47.76	30.75	30.39	-
Trip/Year	175	175	175	175	-
Unit Cost (Rp/m3)	53,920	38,761	47,437	57,212	28,460
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.0485	0.0348	0.0718	0.0850	-
Unit Cost Total(Rp/m3)	42,878				

Tabel 6.8 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 4 unit. Hasilnya adalah titik F dilayani kapal dengan rute X-F-X, titik A,E dilayani kapal dengan rute X-E-A-X, titik B,C dilayani kapal dengan rute X-B-C-X, titik G,H dilayani kapal dengan rute X-H-G-X dan titik lainnya yaitu D dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp42.878.

Tabel 6.9. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 5 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Kapal 5	Shore Plant
Model terpilih	2B	2B	12B	12B	8A	-
Titik yang dilayani	F	G	E,A	B,C	H	D
Rute	X-F-X	X-G-X	X-E-A-X	X-B-C-X	X-H-X	-
Payload (ton)	1,725	778	1,991	778	776	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1,080	480	1,680	1,320	120	1,087
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	2	8	-
Port Time (jam)	8.06	6.44	9.24	7.86	164.34	-
Sea Time (Jam)	38.54	39.43	38.52	22.89	155.79	-
TRT (jam)	46.60	45.87	47.76	30.75	47.44	-
Trip/Year	175	175	175	175	44	-
Unit Cost (Rp/m3)	53,920	70,263	38,761	47,437	217,841	28,460
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.0485	0.0617	0.0348	0.0718	0.1926	-
Unit Cost Total(Rp/m3)						47,847

Tabel 6.9 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 5 unit. Hasilnya adalah titik F dilayani kapal dengan rute X-F-X, titik G dilayani kapal dengan rute X-G-X, titik A,E dilayani kapal dengan rute X-E-A-X, titik B,C dilayani kapal dengan rute X-B-C-X, titik H dilayani kapal dengan rute X-H-X dan titik lainnya yaitu D dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp47.847.

Tabel 6.10. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 6 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Kapal 5	Kapal 6	Shore Plant
Model terpilih	2B	2B	2B	2B	3A	8A	-
Titik yang dilayani	B,E	A	F	G	C	H	D
Rute	X-B-E-X	X-A-X	X-F-X	X-G-X	X-C-X	X-H-X	-
Payload (ton)	876	1,946	1,725	778	788	776	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	960	1,200	1,080	480	360	120	1,087
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	2	3	8	-
Port Time (jam)	8.80	7.67	8.06	6.44	58.64	164.34	-
Sea Time (Jam)	38.28	37.77	38.54	39.43	52.13	155.79	-
TRT (jam)	47.08	45.44	46.60	45.87	47.44	47.44	-
Trip/Year	175	175	175	175	117	44	-
Unit Cost (Rp/m3)	42,422	50,186	53,920	70,263	92,406	217,841	28,460
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.0384	0.0460	0.0485	0.0617	0.0918	0.1926	-
Unit Cost Total(Rp/m3)							53,171

Tabel 6.10 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 6 unit. Hasilnya adalah titik B,E dilayani kapal dengan rute X-B-E-X, titik A dilayani kapal dengan rute X-A-X, titik F dilayani kapal dengan rute X-F-X, titik G dilayani kapal dengan rute X-G-X, titik C dilayani kapal dengan rute X-C-X, titik H dilayani kapal dengan rute X-H-X dan titik lainnya yaitu D dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp53.171.

Tabel 6.11. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 7 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Kapal 5	Kapal 6	Kapal 7	Shore Plant
Model terpilih	2B	2B	2B	3A	3A	3A	8A	-
Titik yang dilayani								D
Rute	X-A-X	X-F-X	X-G-X	X-B-X	X-C-X	X-E-X	X-H-X	-
Payload (ton)	1,946	1,725	778	1,027	788	1,223	776	-
Kapasitas Alat Desalinasi (m ³ /hari)	1,200	1,080	480	480	360	480	120	1,087
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	3	3	3	8	-
Port Time (jam)	7.67	8.06	6.44	58.19	58.64	68.14	164.34	-
Sea Time (Jam)	37.77	38.54	39.43	50.92	52.13	61.20	155.79	-
TRT (jam)	45.44	46.60	45.87	47.44	47.44	47.44	47.44	-
Trip/Year	175	175	175	117	117	117	44	-
Unit Cost (Rp/m ³)	50,186	53,920	70,263	87,805	92,406	84,037	217,841	28,460
Unit Cost (Rp/m ³ mil)	0.0460	0.0485	0.0617	0.0893	0.0918	0.0711	0.1926	-
Unit Cost Total(Rp/m ³)								60,871

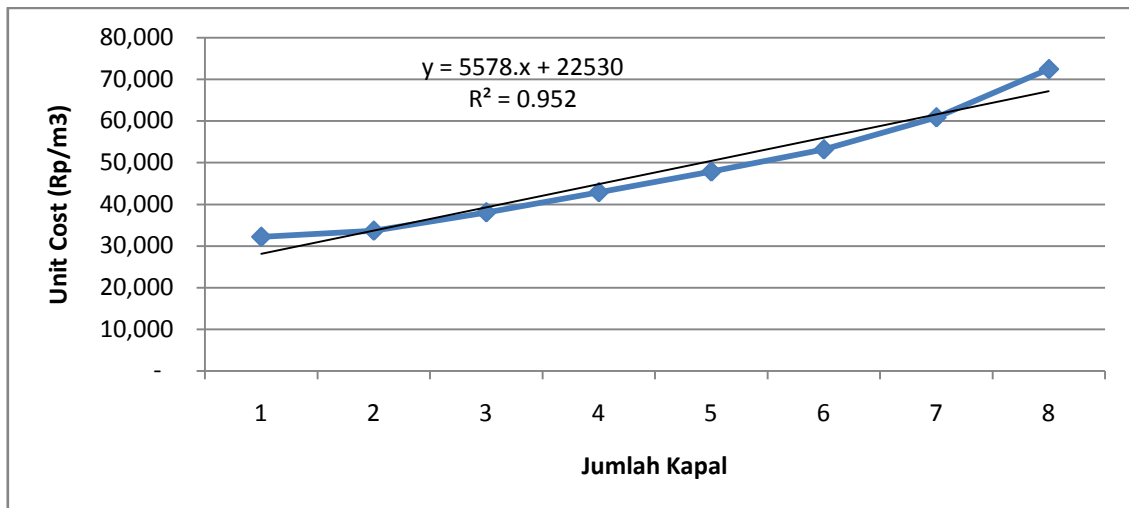
Tabel 6.11 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 7 unit. Hasilnya adalah titik A dilayani kapal dengan rute X-A-X, titik F dilayani kapal dengan rute X-F-X, titik G dilayani kapal dengan rute X-G-X, titik B dilayani kapal dengan rute X-B-X, titik C dilayani kapal dengan rute X-C-X, titik H dilayani kapal dengan rute X-H-X dan titik lainnya yaitu D dilayani dengan *shore plant*. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp60.871.

Tabel 6.12. Hasil Optimisasi dengan Jumlah Kapal 8 Unit

Keterangan	Kapal 1	Kapal 2	Kapal 3	Kapal 4	Kapal 5	Kapal 6	Kapal 7	Kapal 8
Model terpilih	2B	2B	2B	4B	3A	3A	3A	8A
Titik yang dilayani								
Rute	X-A-X	X-F-X	X-G-X	X-D-X	X-B-X	X-C-X	X-E-X	X-H-X
Payload (ton)	1,946	1,725	778	3,663	1,027	788	1,223	776
Kapasitas Alat Desalinasi (m ³ /hari)	1,200	1,080	480	1,080	480	360	480	120
Frekuensi Suplai (hari)	2	2	2	4	3	3	3	8
Port Time (jam)	7.67	8.06	6.44	11.54	58.19	58.64	68.14	164.34
Sea Time (Jam)	37.77	38.54	39.43	81.73	50.92	52.13	61.20	155.79
TRT (jam)	45.44	46.60	45.87	93.27	47.44	47.44	47.44	47.44
Trip/Year	175	175	175	88	117	117	117	44
Unit Cost (Rp/m ³)	50,186	53,920	70,263	81,201	87,805	92,406	84,037	217,841
Unit Cost (Rp/m ³ mil)	0.0460	0.0485	0.0617	0.0684	0.0893	0.0918	0.0711	0.1926
Unit Cost Total(Rp/m ³)								72,458

Tabel 6.12 menyajikan hasil optimisasi dengan jumlah kapal 8 unit. Hasilnya adalah titik A dilayani kapal dengan rute X-A-X, titik F dilayani kapal dengan rute X-F-X, titik G dilayani kapal dengan rute X-G-X, titik B dilayani kapal dengan rute X-B-X, titik C dilayani kapal dengan rute X-C-X, titik H dilayani kapal dengan rute X-H-X dan titik D dilayani kapal dengan rute X-D-X. Hasil optimisasi menunjukkan *unit cost* total (Rp/m³) adalah Rp72.458.

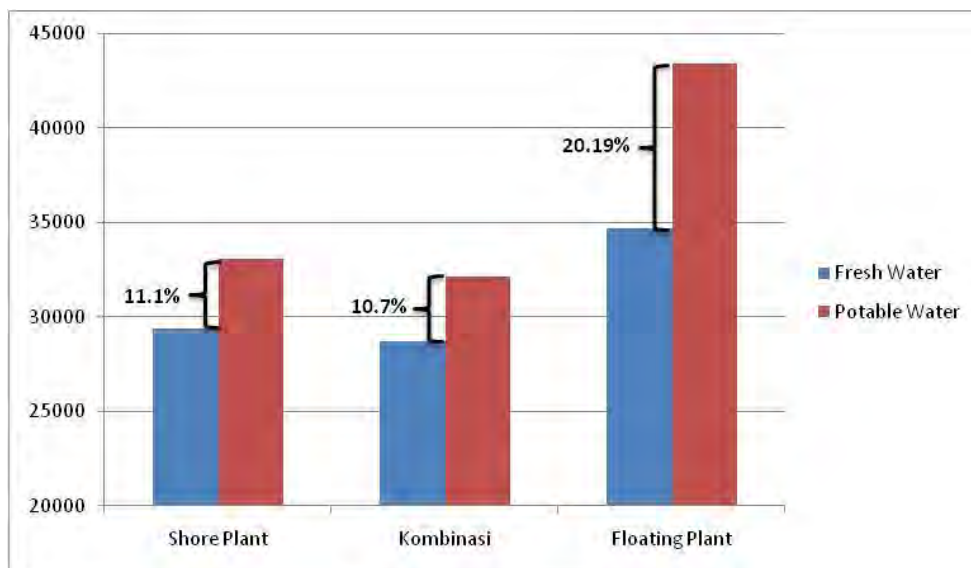
Gambar 6.9 menunjukkan grafik jumlah kapal yang dioperasikan dan *unit cost*. Hasil analisis dengan memvariasikan jumlah kapal yang dioperasikan menunjukkan bahwa semakin banyak kapal yang dioperasikan biaya produksi per unit (Rp/m³) akan menjadi semakin besar. Sehingga jumlah kapal yang paling optimum untuk dioperasikan adalah satu unit.



Gambar 6.9. Grafik Jumlah Kapal yang Dioperasikan dan *Unit Cost* (Rp/m³)

6.3 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 6.10). 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 6.10. Perbandingan Harga Antara *Fresh Water* dan *Potable Water*

Untuk produksi *potable water* yang memiliki TDS kurang dari 100 ppm, RO memiliki kemampuan *recovery rate* sampai 50% terhadap *feed water*. Sehingga untuk menghasilkan air yang memiliki TDS kurang dari 1000 ppm, RO dengan spesifikasi yang sama kira-kira memiliki *recovery rate* sampai dengan 70% - 80%.¹ Berikut ini adalah contoh perhitungan kapasitas RO untuk produksi *fresh water*.

Misal kebutuhan air yang harus dipenuhi = 1000 m³/hari.

Recovery rate untuk produksi *fresh water* = 75%

Kapasitas RO *fresh water* = (1000/*recovery_rate*)/2
 = (1000/75%)/2
 = 667 m³/hari

Feed water yang diperlukan = 667 x 2
 = 1.333 m³/hari

Selain itu pergantian membran untuk produksi *fresh water* bisa lebih lama daripada *potable water*, yaitu kira – kira 18 bulan sekali untuk RO yang memproduksi *fresh water* dan 12 bulan sekali untuk RO yang memproduksi *potable water*.² Hal ini disebabkan membran RO untuk memproduksi *potable water* bekerja lebih keras daripada membran RO untuk memproduksi *fresh water* karena kriteria standar air yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan.

6.4 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 (Tabel 6.13). 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%.³

¹ Informasi diperoleh dari Bapak Sulistyو selaku teknisi perusahaan water treatment di Indonesia

² Informasi diperoleh dari Bapak Sulistyو selaku teknisi perusahaan water treatment di Indonesia

³ Nilai tersebut diperoleh berdasarkan pengalaman ketika melakukan kerja praktek di PT. Pertamina Shipping

Tabel 6.13. Parameter dalam perhitungan aliran kas

No.	Parameter	Keterangan	Nilai
1	<i>Effective rate</i>	suku bunga efektif dari Bank Indonesia	6,75%
2	<i>Total debt</i>	Prosentase pinjaman bank terhadap total investasi	70%
3	<i>Equity</i>	Prosentase modal sendiri terhadap total investasi	30%
4	<i>Corporate Tax</i>	pajak yang dikenakan ke perusahaan ketika memiliki profit	30%
5	MARR	Prosentase <i>time value of money</i> / bunga subyektif untuk menghitung kelayakan proyek	10%
6	Inflasi	Merupakan Prosentase kenaikan biaya tiap satu tahun	5%
7	Margin Profit	Prosentase keuntungan yang diperoleh terhadap <i>unit cost</i>	15%

Dengan mengacu pada parameter dalam Tabel 6.13, aliran kas dihitung dengan menggunakan model DCF *analysis* dan NPV dihitung dengan menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found.** Depresiasi dihitung dengan metode *straight line* (SL) menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found.** dan pajak dihitung menggunakan Persamaan **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** Rangkuman hasil analisis aliran kas disajikan pada Tabel 6.14 dan selengkapnya dapat dilihat di Lampiran 2.

Tabel 6.14. Analisis Aliran Kas

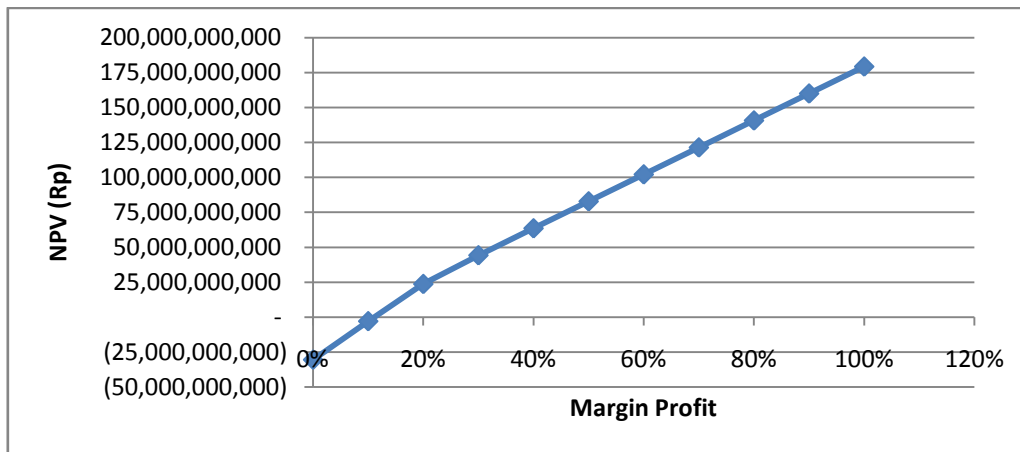
Tahun	Price/m3	CashFlow	Control BEP
0		-33.247.299.484	-33.247.299.484
1	31.435	4.475.832.968	-28.771.466.516
2	31.945	4.625.926.436	-24.145.540.080
3	32.489	4.783.524.577	-19.362.015.503
4	33.068	4.949.002.625	-14.413.012.877
5	33.683	5.122.754.576	-9.290.258.301
6	34.335	5.305.194.124	-3.985.064.177
7	35.025	5.496.755.650	1.511.691.473 BEP
8	35.754	5.697.895.252	7.209.586.726
9	36.523	5.909.091.834	13.118.678.560
10	37.334	6.130.848.245	19.249.526.805
11	38.188	6.363.692.477	25.613.219.282
12	39.086	6.608.178.920	32.221.398.203
13	40.030	6.864.889.686	39.086.287.889
14	41.022	7.134.435.990	46.220.723.879
15	42.062	18.491.141.520	64.711.865.398
NPV		10.772.784.047	

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.

6.4.1 Analisis Sensitivitas

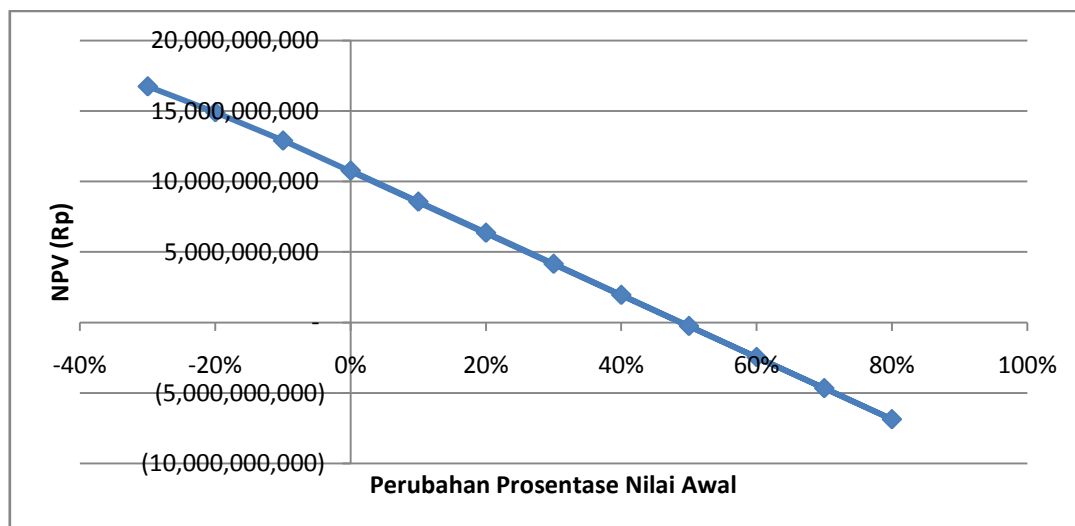
Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai dari suatu parameter pada suatu saat untuk selanjutnya dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap akseptabilitas suatu alternatif investasi (Pujawan, 2009). Dalam tugas akhir ini parameter yang diubah adalah *margin profit*, jumlah pinjaman, dan ongkos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

Gambar 6.11 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 6.11. Pengaruh Perubahan *Profit Margin* Terhadap NPV

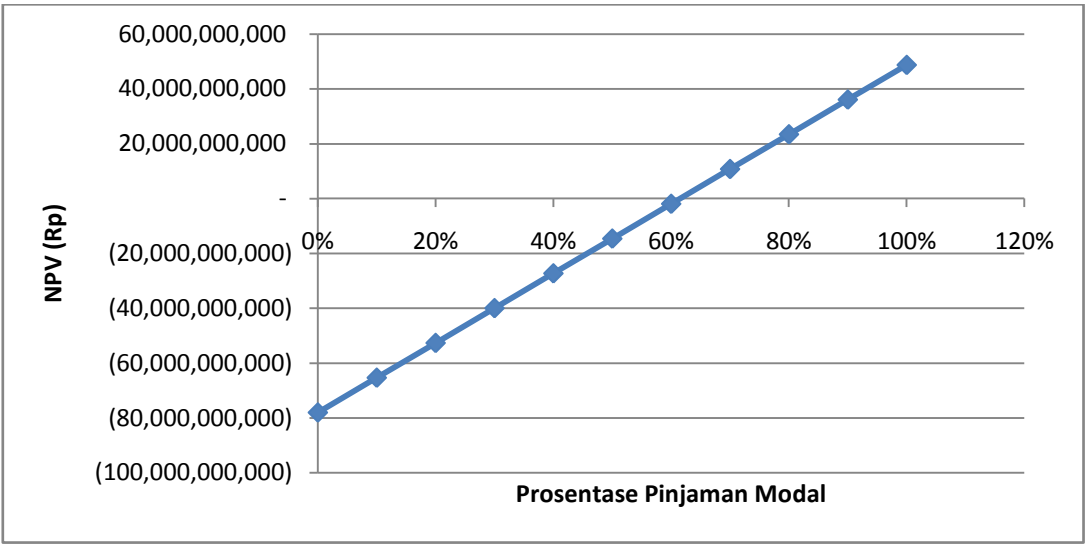
Gambar 6.12 menunjukkan hubungan prosentase perubahan nilai investasi awal terhadap NPV. Besarnya investasi awal diubah pada interval -50% sampai 80%. Investasi akan menjadi tidak layak bila perubahan nilai investasi awal menyebabkan nilai NPV berubah menjadi lebih kecil dari nol. NPV akan sama dengan 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 6.12. Hubungan Prosentase Perubahan Nilai Investasi Awal Terhadap NPV

Gambar 6.13 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 diestimasi sebesar Rp -77.577.032.128.



Gambar 6.13. Hubungan Prosentase Perubahan Pinjaman Modal Terhadap NPV

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebutuhan air bersih penduduk diestimasi dengan jumlah penduduk dan konsumsi air bersih per liter/hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2025 kebutuhan air bersih penduduk kepulauan seribu adalah 3.748 m³/hari, dengan jumlah 838 m³/hari di P. Untung Jawa, 299 m³/hari di P. Lancang, 230 m³/hari di P. Pari, 814 m³/hari di P. Tidung, 359 m³/hari di P. Pramuka, 742 m³/hari di P. Panggang, 335 m³/hari di P. Harapan, dan 87 m³/hari di P. Bira.
2. 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.
3. 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/m³. Biaya ini 11% lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi air minum.
4. 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*. Analisis sensitivitas terhadap *profit margin* menunjukkan bahwa investasi menjadi tidak layak apabila *profit margin* kurang dari 13.09%, analisis sensitivitas terhadap nilai investasi awal menunjukkan bahwa investasi menjadi tidak layak apabila investasi yang dibutuhkan lebih dari Rp165.013.254.818 atau meningkat sebesar 49% dari investasi awal yang diestimasikan sebesar Rp110.824.331.612

7.2 **Saran**

Adapun beberapa saran untuk penelitian ini adalah:

1. 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.
2. Diperlukan adanya observasi lokasi untuk penempatan dermaga apung, mengingat kondisi alam Kepulauan Seribu yang dikelilingi oleh karang.
3. Konsep kapal desalinasi air laut ini juga bisa diaplikasikan di wilayah lain di Indonesia, contohnya daerah Nusa Tenggara yang selalu mengalami krisis air bersih ketika musim kemarau.

LAMPIRAN 1

DATA ALAT DESALINASI

Tabel 1A. Data Alat Desalinasi

Kapasitas (m ³ /day)	Jumlah Membran	Total Power (kW)	Price (Rp)	Membran Replacement Cost Cost (Rp)	Ukuran (m)		
					Panjang	Lebar	Tinggi
96	4	18	1,143,800,000	25,800,000	3	1	1
120	5	24	1,247,000,000	32,250,000	4	1	1
144	6	24.35	1,401,800,000	37,926,000	4	1	1
192	8	24.7	1,548,000,000	50,568,000	3	1	1.6
216	9	35.2	1,763,000,000	56,889,000	4	1	1.2
240	10	35.2	1,866,200,000	63,210,000	3	1	2
288	12	37	1,986,600,000	73,272,000	4	1	1.6
360	15	49	2,279,000,000	91,590,000	4	1	2
432	18	61	3,053,000,000	109,908,000	4	1.4	2
480	20	61	3,741,000,000	122,120,000	6	1.4	2
576	24	95.5	3,999,000,000	146,544,000	5	1.5	2
648	27	95.5	4,411,800,000	155,574,000	4	1.8	2
720	30	95.5	4,996,600,000	172,860,000	6	1.5	2
840	35	112.5	5,607,200,000	201,670,000	6	1.5	2
960	40	131	5,985,600,000	230,480,000	6	1.8	2
1008	42	137	6,355,400,000	242,004,000	6	1.5	2
1272	53	161	7,095,000,000	305,386,000	6	1.5	2
1440	60	183	7,559,400,000	345,720,000	6	2	2
1728	72	217	8,204,400,000	414,864,000	6	2	2
2016	84	230	9,047,200,000	484,008,000	6	2	2
2184	91	243	9,821,200,000	524,342,000	6	3	2
2400	100	255	10,638,200,000	576,200,000	6	3	2

Sumber: Hasil Survey

Tabel 2A. Data Kapal Pembanding

No	Ship Name	LOA	LPP	B	T	H	GT	NT	DWT	Year	ME Power (kW)	Genset Power (kW)
1	MEGA ONE	34.5	31.82	9.2	2.136	2.6	218	107	400	1984	354	80
2	CENDERASA SINAR	44	42	7.5	3.02	3.6	307	161	500	1976	552	150
3	AMAL	39.5	37.85	10	3	4.2	443	133	539	1999	806	80
4	DRAGOEIRO	48.88	44.7	8	2.985	3.3	332	166	568	1982	588	120
5	PEGASUS ENDURANCE	49.79	46.63	9.2	2.85	4.3	510	153	593	1980	441	120
6	GLOBAL GEM	51.5	47	8.5	3.402	3.8	473	152	600	1981	588	152
7	NORVARG	49.9	46.97	12	4.413	5.2	788	423	1000	1990	882	400
8	LMS RAMBODA	64.5	61.03	10.25	4	5	1085	325	1063	1980	1011	210
9	ELCARIM	63.87	58.24	10	3.96	4.5	737	324	1088	1988	956	350
10	PROSPER 8	59.95	56	9.8	3.871	4.3	660	372	1197	1979	828	340
11	JANA	64.7	60	10.2	4.155	5	845	401	1214	1995	735	280
12	HENG TAT	69.34	64.89	11.7	3.7	5.2	1164	366	1323	2005	750	170
13	HAJI ABBAS	68.6	62	10.6	4.546	5.2	949	334	1440	1980	1324	240
14	STAR ARUBA	66.76	63	10.4	4.006	5	737	458	1453	1987	735	442
15	ANIC I	70.99	65.96	10.1	4.502	5.8	1151	419	1531	1972	824	342
16	Seychelles Paradise	76.52	72	11.2	4.214	5	999	580	1641	1983	1343	300
17	PRINCESS MARYAM	67.8	63.71	13.2	4.2	5.2	1545	485	1786	2009	956	400
18	STAR SERVICE	74.5	70	11.2	4.512	5.4	1006	587	1849	1986	1250	306
19	Naniwa Maru	66	62.65	14	4.4	5.65	1291	815	2217	1992	1060	450
20	KINSHU MARU	70.95	66	13	5.081	5.8	1360	753	2400	1986	1545	580
21	VINGA SAFIR	80.02	74.17	12.3	4.698	5.5	1372	808	2430	1983	1618	700
22	KOKUEI MARU NO. 3	80	71.9	12.75	5.19	6.2	1685	715	2653	1999	1499	450
23	GRUMANT	81.4	76	12	4.731	5.45	1345	711	2841	1981	1471	550
24	ISLAND CHALLENGER	83.1	74.9	14	5.712	6.85	2021	607	2992	1976	1839	700
25	AL MUNTAZAH	77.53	73.25	14	5.284	6.5	1896	815	3091	1988	1764	861
26	DENDRO	77.5	73.2	14	5.327	6.5	1897	1014	3389	1982	1766	838
27	OW BALTIC	75.8	70.81	13.8	5.392	6.5	1796	1112	3465	1994	1764	680
28	ANNETTE ESSBERGER	83.4	79.5	12.9	5.65	7.45	2143	969	3600	2004	1520	720
29	DERYA D	90	85.53	14.4	6.135	7	2634	1101	3743	1992	2200	800
30	NERMIN TELLI	91.85	84.55	13.6	6.224	6.44	2690	964	3914	1982	1800	961
31	SEAMASTER	91.7	84.55	13.6	6.418	8.64	2699	1059	4028	1984	1800	858
32	NIVARIA	90.38	83.23	13.8	6.18	7.28	2526	1288	4114	2007	2207	900
33	ANTRACYTH	96.61	88.8	14.2	6.2	7.65	2815	1183	4250	2003	2400	1190
34	CHELSEA I	86.5	80.8	15.2	6.45	8.8	2910	1322	4470	1989	2360	920
35	ANWAR	105	97.6	15.2	6.48	8.5	3358	1568	4517	1989	1075	1215
36	CHRISTIAN ESSBERGE	99.93	94.25	15.4	6.588	8.15	3557	1402	4705	2000	3550	1167
37	AEGEAN DAISY	105.45	98.13	15.2	6.152	8.6	3370	1581	4935	1977	2942	1438

Sumber: (Germanischer Lloyd)

Tabel 3A. Inisiasi Jumlah Kombinasi

Kombinasi	Shore Plant (SP)								Floating Plant (FP)								Rute											
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	C	B	X		
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	X	B	D	G	H	F	E	C	X			
3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	C	X			
4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	B	X			
5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	X	A	B	C	F	G	H	E	X			
6	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	X	B	C	F	H	G	D	A	X			
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	X	B	C	E	H	G	D	A	X			
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	X	B	C	E	F	H	D	A	X			
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	X	B	C	E	F	G	D	A	X			
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	X	B	C	E	F	D	A	X				
11	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	X	B	C	E	G	D	A	X				
12	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	X	B	C	E	H	D	A	X				
13	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	X	A	D	G	F	C	B	X				
14	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	X	B	C	F	H	D	A	X				
15	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	X	B	C	G	H	D	A	X				
16	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	X	A	B	C	F	G	E	X				
17	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	X	A	B	C	F	H	E	X				
18	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	X	A	B	C	E	G	H	X				
19	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	X	A	B	C	F	G	H	X				
20	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	X	A	B	D	F	G	E	X				
21	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	X	A	D	H	F	E	B	X				
22	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	X	A	D	G	H	E	B	X				
23	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	X	A	D	G	H	F	B	X				
24	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	X	E	H	G	F	B	A	X				
25	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	X	C	E	F	G	D	A	X				
26	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	X	C	E	F	H	D	A	X				
27	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	X	C	E	H	G	D	A	X				
28	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	X	C	F	H	G	D	A	X				
29	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	X	E	H	G	F	C	A	X				
30	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	A	X				
31	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	X	B	D	G	F	E	C	X				
32	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	X	B	D	H	F	E	C	X				
33	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	X	B	D	H	G	E	C	X				
34	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	X	B	D	G	H	F	C	X				
35	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	X	B	C	F	G	H	E	X				
36	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	B	X				
37	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	C	X				
38	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	X	B	C	E	D	A	X					
39	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	X	B	C	F	D	A	X					
40	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	X	B	C	G	D	A	X					
41	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	B	C	H	D	A	X					
42	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	X	A	B	C	F	E	X					
43	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	X	A	B	C	E	G	X					
44	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	X	A	B	C	E	H	X					
45	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	X	A	B	C	F	G	X					
46	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	X	A	B	C	F	H	X					
47	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	X	A	B	C	G	H	X					
48	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	X	A	D	F	E	B	X					
49	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	X	A	D	G	E	B	X					
50	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	X	A	D	H	E	B	X					
51	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	X	A	D	G	F	B	X					

Tabel 4A. Inisiasi Jumlah Kombinasi (Lanjutan)

Kombinasi	Shore Plant (SP)								Floating Plant (FP)								Rute							
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H								
52	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	X	A	D	H	F	B	X	
53	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	X	A	D	G	H	B	X	
54	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	X	A	B	F	G	E	X	
55	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	X	A	B	F	H	E	X	
56	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	X	A	B	E	G	H	X	
57	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	X	A	B	F	G	H	X	
58	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	X	A	D	F	E	C	X	
59	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	X	A	D	G	E	C	X	
60	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	X	A	D	H	E	C	X	
61	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	X	C	F	G	D	A	X	
62	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	X	C	F	H	D	A	X	
63	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	X	A	D	H	G	C	X	
64	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	X	E	G	F	C	A	X	
65	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	X	E	H	F	C	A	X	
66	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	X	A	C	E	G	H	X	
67	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	X	A	C	F	G	H	X	
68	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	X	E	F	G	D	A	X	
69	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	X	E	F	H	D	A	X	
70	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	X	A	D	G	H	E	X	
71	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	X	A	D	F	G	H	X	
72	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	X	A	E	F	G	H	X	
73	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	X	B	D	F	E	C	X	
74	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	X	B	D	G	E	C	X	
75	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	X	B	D	H	E	C	X	
76	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	X	B	D	G	F	C	X	
77	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	X	B	D	H	F	C	X	
78	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	X	B	D	H	G	C	X	
79	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	X	B	C	F	G	E	X	
80	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	X	B	C	F	H	E	X	
81	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	X	B	C	E	G	H	X	
82	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	X	B	C	F	G	H	X	
83	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	X	E	F	G	D	B	X	
84	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	X	E	F	H	D	B	X	
85	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	X	E	H	G	D	B	X	
86	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	X	B	D	F	G	H	X	
87	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	X	B	F	G	H	E	X	
88	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	X	E	F	G	D	C	X	
89	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	X	E	F	H	D	C	X	
90	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	X	E	H	G	D	C	X	
91	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	X	C	D	F	G	H	X	
92	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	X	C	F	G	H	E	X	
93	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	X	
94	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	X	B	C	D	A	X		
95	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	X	A	B	C	E	X		
96	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	X	B	F	C	A	X		
97	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	X	A	B	C	G	X		
98	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	X	A	B	C	H	X		
99	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	X	A	D	E	B	X		
100	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	X	B	F	D	A	X		
101	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	X	A	D	G	B	X		
102	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	X	B	H	D	A	X		
103	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	X	A	B	F	E	X		
104	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	X	A	B	E	G	X		

Tabel 8A. Biaya Pelabuhan

NO	JENIS JASA	TARIF (Rp)	KETERANGAN
1	JASA LABUH		
	- Kapal niaga	73,-	per GT/kunjungan
	- Kapal bukan niaga	37,-	per GT/kunjungan
2	JASA TAMBAT		
	- Dermaga (Besi, Besi/Kayu)	68,-	per GT/etmal
	- Breasting Dolphin dan Pelampung	35,-	per GT/etmal
	- Pinggiran	23,-	per GT/etmal
3	PEMANDUAN		
	- Tarif pokok	78.400,-	per kapal/gerakan
	- Tarif tambahan	22,-	per GT/kapal/gerakan
4	PENUNDAAN		
4.1	Kapal s.d 3.500 GT		
	- Tarif tetap	186.000,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.2	Kapal 3.501 s.d 8.000 GT		
	- Tarif tetap	465.000,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.3	Kapal 8.001 s.d 14.000 GT		
	- Tarif tetap	736.250,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.4	Kapal 14.001 s.d 18.000 GT		
	- Tarif tetap	968.750,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.5	Kapal 18.001 s.d 26.000 GT		
	- Tarif tetap	1.550.000,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.6	Kapal 26.001 s.d 40.000 GT		
	- Tarif tetap	1.550.000,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.7	Kapal 40.001 s.d 75.000 GT		
	- Tarif tetap	1.550.000,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	3,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
4.8	Kapal di atas 75.000 GT		
	- Tarif tetap	2.092.500,-	per kapal yang ditunda/jam
	- Tarif variabel	4,-	per GT/kapal yang ditunda/jam
5	KEPIL DARAT		
5.1	PENGEPILAN		
	a. Di dermaga LOA 30 s/d 50 M	102.700,-	ikat/lepas per kapal
	LOA 51 s/d 100 M	194.000,-	ikat/lepas per kapal
	LOA 101 M ke atas	285.000,-	ikat/lepas per kapal
	b. Di bouy LOA 51 s/d 100 M	285.000,-	ikat/lepas per kapal
	LOA 101 s/d 150 M	399.300,-	ikat/lepas per kapal
	LOA 151 M ke atas	570.375,-	ikat/lepas per kapal
5.2	SHIFTING		
	a. Dalam satu dermaga tanpa penundaan	102.700,-	sekali gerakan ke kapal
	b. Antar dermaga dengan penundaan	194.000,-	sekali gerakan ke kapal
	c. Antar bouy dengan penundaan	285.000,-	sekali gerakan ke kapal

Sumber: (Pelabuhan Indonesia II, 2011)

Tabel 9A. Perhitungan Biaya Infrastruktur Alat Desalinasi Darat

Titik	Demand (m3/hari)	Demand+Safety Stock (m3/hari)	Ukuran Tangki						
			Tinggi (m)	Jari-Jari (m)	Volume (m3)	Luas Alas	Luas Selimut	Luas Permukaan (m2)	Berat Baja (kg)
A	860	1118	16	5	1256	79	502	581	91201
B	307	399.1	8	4	401.92	50	201	251	39438
C	236	306.8	9	3.5	346.185	38	198	236	37097
D	836	1086.8	18	4.5	1144.53	64	509	572	89846
E	369	479.7	10	4	502.4	50	251	301	47326
F	762	990.6	16	4.5	1017.36	64	452	516	80972
G	344	447.2	12	3.5	461.58	38	264	302	47449
H	90	117	7	2.5	137.375	20	110	130	20335

Tabel 10A. Perhitungan Biaya Infrastruktur Alat Desalinasi Darat (lanjutan)

Titik	Kebutuhan Lahan Untuk Tangki				Luas Lahan Total			
	Panjang (m)	Lebar (m)	Keliling (m)	Luas (m2)	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m2)	Keliling (m)
A	14	14	56	196	28.4	33.07	937	123
B	12	12	48	144	25.595	30.3472	777	112
C	11	11	44	121	24.6	30.35	746	110
D	13	13	52	169	27.351	33.065	904	121
E	12	12	48	144	26.0	33.07	859	118
F	13	13	52	169	27.351	33.065	904	121
G	11	11	44	121	25.0	33.07	826	116
H	9	9	36	81	22.849	25.953	593	98

Tabel 11A. Perhitungan Biaya Infrastruktur Alat Desalinasi Darat (lanjutan)

Titik	Bangunan Alat Desalinasi									
	Kapasitas m3/hari	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Keliling (m)	Luas (m2)	Jumlah Kolom	Jumlah Balok	Lebar atap (m)	luas atap (m)
A	1200	23.065	7.651	7.0066	61.432	176.47	22	22	8.83	407.54
B	424	20.3472	7.27	7.032	55.2344	147.924144	18	18	8.39	341.62
C	363	20.3472	7.27	7.032	55.2344	147.924144	18	18	8.39	341.62
D	1200	23.065	7.651	7.0066	61.432	176.470315	22	22	8.83	407.54
E	515	23.065	7.651	7.032	61.432	176.470315	22	22	8.83	407.54
F	1060	23.065	7.651	7.0066	61.432	176.470315	22	22	8.83	407.54
G	515	23.065	7.651	7.032	61.432	176.470315	22	22	8.83	407.54
H	121	15.953	7.524	6.8288	46.954	120.030372	16	16	8.69	277.20

Tabel 13A. Rekapitulasi Biaya Infrastruktur Alat Desalinasi Darat

	Jenis Pekerjaan	HSPK	Satuan	A	B	C	D
Persiapan Lahan	Pembelian Lahan	2,000,000	m2	1,874,851,630	1,553,473,168	1,492,778,768	1,808,721,630
	Pembersihan Lapangan Berat	3,000	m2	2,812,277	2,330,210	2,239,168	2,713,082
	Perataan Tanah	5,513	m2	5,167,560	4,281,760	4,114,471	4,985,289
	Pembuatan pagar sementara seng gelombang tinggi 2 m	25,960	m	3,188,657	2,904,463	2,852,544	3,136,738
Bangunan	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Deform (Ulir) 100 kg	3,619,035	m3	200,002,335	163,638,274	163,638,274	200,002,335
	Sewa Peralatan:	96,880	m	42,627,200	34,876,800	34,876,800	42,627,200
	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Polos 160 kg	4,001,407	m3	141,225,919	118,380,948	118,380,948	141,225,919
	Pekerjaan Besi Baja Profil WF <= 200 s/d 400mm	22,445	kg	592,548,000	484,812,000	484,812,000	592,548,000
	Pekerjaan Besi Baja Profil WF <= 200 s/d 400mm	22,445	kg	54,366,279	44,481,501	44,481,501	54,366,279
	Pemasangan Kuda kuda Baja Profil WF	20,253	kg	62,554,258	48,632,088	48,632,088	62,554,258
	Pekerjaan Besi Baja Profil WF <= 200	22,445	kg	105,920,177	93,439,368	93,439,368	105,920,177
	Pemasangan Atap Seng Gelombang BJLS 30	77,712	m2	31,670,806	26,547,676	26,547,676	31,670,806
	Pasang Bataco	96,530	m2	106,722,024	96,791,867	95,633,507	105,563,664
	Pengecatan 3x Serta Menggosok (Tanpa Meni)	36,918	m2	40,816,116	37,018,302	36,575,284	40,373,098
	Pengurugan Pasir Untuk Paving	122,940	m3	3,329,836	2,867,770	2,822,606	3,292,554
	Pemasangan Paving Stone (Blok) Tbl.8 cm Warna Abu-2 Tiqa berlian	53,950	m2	29,224,769	25,169,379	24,772,998	28,897,562
	Generator	1,979,991,000		902,268,000	554,400,000	437,166,000	902,268,000
	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Polos 160 kg	4,001,407	m3	156,855,164	115,240,528	96,834,055	135,247,564
Tangki Air	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Deform (Ulir) 130 kg	3,619,035	m3	18,182,030	18,182,030	18,182,030	18,182,030
	Pekerjaan Pabrikasi dan Pemasangan Baja (ELEKTRODE)	7378	Kg	672,883,191	290,976,515.20	273,699,784.61	662,880,873.69
	BIAYA TOTAL			5,329,417,773	3,953,775,842	3,737,402,482	5,228,985,432

Tabel 15A. Perhitungan Biaya Infrastruktur Depo Kapal Desalinasi Air Laut

Titik	Volume Tangki yang dibutuhkan	Material Tangki									Kebutuhan Lahan untuk Tangki			Kebutuhan Lahan 1	
		h	r	Jumlah	Luas Alas	Luas Selimut	Luas Permukaan	berat (kg)	Volume (m3)	Volume Total	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m2)	Panjang (m)	Lebar (m)
A	13404	22	10	2	314	1382	1696	532,418	6,908	13,816	44	22	968	44	27
B	4787	19	9	1	254	1074	1328	208,531	4,832	4,832	20	20	400	20	25
C	3677	19	8	1	201	955	1156	181,417	3,818	3,818	18	18	324	18	23
D	13021	21	10	2	314	1319	1633	512,699	6,594	13,188	44	22	968	44	27
E	5745	18.5	10	1	314	1162	1476	231,701	5,809	5,809	22	22	484	22	27
F	11872	23.5	9	2	254	1328	1583	496,924	5,977	11,954	40	20	800	40	25
G	5362	24	8.5	1	227	1281	1508	236,754	5,445	5,445	19	19	361	19	24
H	1398	18	5	1	79	565	644	101,061	1,413	1,413	12	12	144	12	17

Tabel 16A. Rekapitulasi Biaya Infrastruktur Depo Kapal Desalinasi Air Laut

	Jenis Pekerjaan	HSPK	Satuan	A	B	C	D
Persiapan Lahan	Pembelian Lahan	2,000,000	m2	704,000,000	1,000,000,000	828,000,000	704,000,000
	Pembersihan Lapangan Berat	3000	m2	1,056,000	1,500,000	1,242,000	1,056,000
	Perataan Tanah	5512.5	m2	1,940,400	2,756,250	2,282,175	1,940,400
Tangki Air	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Polos 160 kg	4,001,407	m3	193,668,110	320,112,579	259,291,189	193,668,110
	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Deform (Ulir) 130 kg	3,619,035	m3	36,364,061	18,182,030	18,182,030	36,364,061
	Pekerjaan Pabrikasi dan Pemasangan Baja (ELEKTRODE)	7378	Kg	1,964,091,478	1,538,538,324	1,338,491,970	1,891,347,349
	TOTAL			2,901,120,049	2,881,089,183	2,447,489,364	2,828,375,920

Tabel 16A. Rekapitulasi Biaya Infrastruktur Depo Kapal Desalinasi Air Laut (lanjutan)

	Jenis Pekerjaan	HSPK	Satuan	E	F	G	H
Persiapan Lahan	Pembelian Lahan	2,000,000	m2	1,188,000,000	600,000,000	912,000,000	408,000,000
	Pembersihan Lapangan Berat	3000	m2	1,782,000	900,000	1,368,000	612,000
	Perataan Tanah	5512.5	m2	3,274,425	1,653,750	2,513,700	1,124,550
Tangki Air	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Polos 160 kg	4,001,407	m3	387,336,220	160,056,289	288,901,602	115,240,528
	Beton Bertulang 1 Pc : 2 Ps : 3 Kr (K225) dengan Pemakaian Besi Beton Deform (Ulir) 130 kg	3,619,035	m3	18,182,030	36,364,061	18,182,030	18,182,030
	Pekerjaan Pabrikasi dan Pemasangan Baja (ELEKTRODE)	7378	Kg	1,709,487,027	1,833,152,046	1,746,768,393	745,627,320
	TOTAL			3,308,061,702	2,632,126,146	2,969,733,726	1,288,786,429

Tabel 17A. Perhitungan Biaya Total

No	Model	Titik yang Dilayani							Payload (ton)	Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	Frekuensi Suplai (Hari)	Port Time (Jam)	Sea Time (Jam)	TRT (Jam)	Trip/ Year
369	10B	X	B	H	X				3,330	600	10	13.45	172.03	185.48	35
370	10B	X	C	E	X				4,007	840	10	15.60	186.34	201.94	35
371	10B	X	C	G	X				3,745	840	10	16.70	179.35	196.05	35
372	10B	X	C	H	X				2,559	480	10	13.34	176.35	189.69	35
373	10B	X	E	G	X				4,018	960	10	17.25	192.63	209.88	35
374	10B	X	E	H	X				3,985	600	10	13.38	198.22	211.60	35
375	10B	X	G	H	X				3,723	600	10	14.10	187.74	201.85	35
376	10B	X	B	X					3,319	480	10	11.86	165.50	177.35	35
377	10B	X	C	X					2,548	360	10	11.43	169.45	180.88	35
378	10B	X	E	X					3,973	480	10	12.01	198.69	210.70	35
379	10B	X	G	X					3,711	480	10	12.51	186.08	198.59	35
380	10B	X	H	X					967	120	10	9.19	194.03	203.22	35
381	12B	X	H	E	B	X			887	1080	2	9.44	38.07	47.51	175
382	12B	X	H	E	C	X			876	960	2	8.93	38.84	47.77	175
383	12B	X	H	G	C	X			823	960	2	8.76	37.53	46.28	175
384	12B	X	E	A	X				1,991	1680	2	9.24	38.52	47.76	175
385	12B	X	H	A	X				1,957	1320	2	8.05	37.92	45.96	175
386	12B	X	C	B	X				801	1560	2	7.86	19.63	27.48	175
387	12B	X	E	B	X				921	1440	2	8.80	25.82	34.63	175
388	12B	X	H	B	X				790	1440	2	6.82	15.92	22.74	175
389	12B	X	B	C	X				778	1320	2	7.86	22.89	30.75	175
390	12B	X	F	C	X				1,770	1560	2	9.32	34.56	43.88	175
391	12B	X	G	C	X				936	2160	2	8.12	15.58	23.70	175
392	12B	X	H	G	X				835	1080	2	7.08	23.31	30.39	175
393	13B	X	H	G	E	C	X		1,313	1440	3	13.80	57.17	70.97	117
394	13B	X	H	B	A	X			2,907	1680	3	12.84	58.52	71.36	117
395	13B	X	H	C	A	X			2,896	1560	3	12.38	59.43	71.81	117
396	13B	X	H	E	A	X			2,919	1800	3	13.23	57.31	70.54	117
397	13B	X	E	C	B	X			1,291	1200	3	11.29	60.11	71.40	117
398	13B	X	G	C	B	X			1,212	1200	3	13.45	58.54	72.00	117
399	13B	X	H	C	B	X			1,061	840	3	10.74	59.62	70.36	117
400	13B	X	H	D	B	X			2,829	1680	3	12.68	58.10	70.78	117
401	13B	X	H	E	B	X			1,280	1080	3	10.12	56.20	66.32	117
402	13B	X	G	F	B	X			2,616	1920	3	12.83	58.29	71.12	117
403	13B	X	H	F	B	X			2,582	1560	3	11.21	58.81	70.02	117
404	13B	X	H	D	C	X			2,817	1560	3	12.22	58.96	71.18	117
405	13B	X	G	E	C	X			1,302	1320	3	11.58	56.98	68.57	117
406	13B	X	H	E	C	X			1,268	960	3	9.55	57.33	66.88	117
407	13B	X	G	F	C	X			2,604	1800	3	12.38	59.04	71.42	117
408	13B	X	H	F	C	X			2,571	1440	3	10.75	59.79	70.54	117
409	13B	X	H	G	C	X			1,190	960	3	11.14	55.37	66.50	117
410	13B	X	H	F	E	X			2,593	1680	3	11.60	58.00	69.60	117
411	13B	X	H	G	E	X			1,280	1080	3	10.41	59.28	69.69	117
412	13B	X	B	A	X				2,896	1560	3	12.26	58.52	70.79	117
413	13B	X	C	A	X				2,885	1440	3	11.81	59.51	71.32	117
414	13B	X	E	A	X				2,907	1680	3	12.66	57.23	69.88	117
415	13B	X	H	A	X				2,874	1320	3	10.87	56.32	67.19	117
416	13B	X	C	B	X				1,128	1560	3	9.79	28.53	38.32	117
417	13B	X	E	B	X				1,313	1440	3	9.40	37.83	47.23	117
418	13B	X	H	B	X				1,117	1440	3	8.23	22.97	31.19	117
419	13B	X	B	C	X				1,106	1320	3	9.79	33.41	43.20	117
420	13B	X	F	C	X				2,582	1560	3	10.18	50.92	61.10	117
421	13B	X	G	C	X				1,302	2160	3	10.18	22.45	32.63	117
422	13B	X	H	C	X				900	1560	3	7.47	17.86	25.33	117
423	13B	X	B	D	X				2,817	1560	3	12.11	58.79	70.89	117
424	13B	X	H	G	X				1,201	1080	3	8.62	33.58	42.20	117
425	14B	X	H	G	C	B	X		1,590	1320	4	16.91	77.53	94.44	88
426	14B	X	H	G	F	B	X		3,439	2040	4	18.53	77.18	95.71	88
427	14B	X	H	G	D	C	X		3,753	2040	4	18.54	77.33	95.87	88
428	14B	X	H	G	E	C	X		1,706	1440	4	17.56	75.61	93.17	88
429	14B	X	E	B	A	X			3,858	2040	4	16.51	78.13	94.65	88

Tabel 19A. Perhitungan Biaya Total (lanjutan)

No	Reverse Osmosis Plant				Depo		Shore Facilities	Total Cost
	RO Prices	M&S	Chemical Cost	Membran Rep.	Capital Cost	Operating Cost		
369	4,266,682,929	1,280,004,879	8,438,128,317	2,354,016,729	4,169,875,612	2,880,000,000	25,081,225,764	270,076,707,051
370	5,823,242,150	1,746,972,645	12,853,124,247	3,276,016,922	5,755,551,067	2,880,000,000	31,052,840,272	334,362,572,378
371	5,823,242,150	1,746,972,645	12,330,639,521	3,276,016,922	5,417,223,090	2,880,000,000	28,679,106,743	311,717,710,460
372	3,957,042,150	1,187,112,645	6,922,922,613	1,902,166,922	3,736,275,793	2,880,000,000	19,090,016,515	217,619,433,322
373	6,201,642,150	1,860,492,645	15,152,057,039	3,733,966,922	6,277,795,428	2,880,000,000	31,065,971,225	342,360,438,555
374	4,266,682,929	1,280,004,879	9,744,340,130	2,354,016,729	4,596,848,131	2,880,000,000	31,025,921,251	330,565,826,174
375	4,266,682,929	1,280,004,879	9,221,855,405	2,354,016,729	4,258,520,155	2,880,000,000	28,590,692,316	305,642,579,195
376	3,957,042,150	1,187,112,645	6,531,059,069	1,902,166,922	2,881,089,183	1,440,000,000	25,068,742,847	260,544,647,635
377	2,495,042,150	748,512,645	5,015,853,365	1,444,216,922	2,447,489,364	1,440,000,000	19,078,946,648	206,555,447,768
378	3,957,042,150	1,187,112,645	7,837,270,882	1,902,166,922	3,308,061,702	1,440,000,000	31,012,134,273	323,929,537,674
379	3,957,042,150	1,187,112,645	7,314,786,157	1,902,166,922	2,969,733,726	1,440,000,000	28,577,331,871	298,003,078,775
380	1,463,042,150	438,912,645	1,907,069,248	554,116,922	1,288,786,429	1,440,000,000	11,145,543,322	121,077,246,766
381	6,726,364,489	2,017,909,347	16,275,399,199	4,173,616,344	7,477,937,315	4,320,000,000	8,344,696,026	145,056,663,186
382	6,201,642,150	1,860,492,645	14,760,193,495	3,733,966,922	7,044,337,496	4,320,000,000	8,341,074,050	141,639,572,649
383	6,201,642,150	1,860,492,645	14,237,708,769	3,733,966,922	6,706,009,519	4,320,000,000	8,321,693,791	138,026,094,921
384	8,291,849,947	2,487,554,984	26,124,236,274	6,420,664,996	6,209,181,751	2,880,000,000	15,602,823,525	229,520,967,950
385	7,414,323,709	2,224,297,113	20,194,034,640	5,095,616,537	4,189,906,478	2,880,000,000	15,569,070,269	215,232,283,860
386	8,033,646,048	2,410,093,815	11,546,912,433	5,993,215,959	5,328,578,547	2,880,000,000	8,312,197,982	124,458,317,890
387	7,775,442,150	2,332,632,645	14,368,329,951	5,565,766,922	6,189,150,886	2,880,000,000	9,255,195,562	139,926,077,987
388	7,775,442,150	2,332,632,645	8,438,128,317	5,565,766,922	4,169,875,612	2,880,000,000	8,307,134,536	115,887,702,253
389	7,414,323,709	2,224,297,113	11,546,912,433	5,095,616,537	5,328,578,547	2,880,000,000	8,301,887,431	124,155,002,615
390	8,033,646,048	2,410,093,815	21,212,879,855	5,993,215,959	5,079,615,510	2,880,000,000	15,353,230,186	209,435,243,134
391	9,573,086,828	2,871,926,048	12,330,639,521	8,276,865,767	5,417,223,090	2,880,000,000	9,264,492,819	135,184,651,649
392	6,726,364,489	2,017,909,347	9,221,855,405	4,173,616,344	4,258,520,155	2,880,000,000	8,326,202,511	119,587,986,890
393	7,775,442,150	2,332,632,645	22,074,979,652	5,565,766,922	10,014,071,221	5,760,000,000	12,567,212,768	194,233,673,572
394	8,291,849,947	2,487,554,984	26,725,093,708	6,420,664,996	7,070,995,661	4,320,000,000	21,275,945,856	290,040,745,466
395	8,033,646,048	2,410,093,815	25,209,888,005	5,993,215,959	6,637,395,842	4,320,000,000	21,265,395,483	287,516,353,215
396	8,575,364,489	2,572,609,347	28,031,305,522	6,921,316,344	7,497,968,180	4,320,000,000	21,286,295,679	292,054,411,601
397	6,984,568,388	2,095,370,516	19,384,183,315	4,601,065,381	8,636,640,250	4,320,000,000	12,641,613,777	186,797,466,441
398	6,984,568,388	2,095,370,516	18,861,698,590	4,601,065,381	8,298,312,273	4,320,000,000	12,541,252,924	182,439,092,541
399	5,823,242,150	1,746,972,645	13,453,981,681	3,276,016,922	6,617,364,976	4,320,000,000	10,965,168,988	158,279,279,419
400	8,291,849,947	2,487,554,984	26,202,608,983	6,420,664,996	6,998,251,532	4,320,000,000	21,198,108,877	286,070,759,866
401	6,726,364,489	2,017,909,347	16,275,399,199	4,173,616,344	7,477,937,315	4,320,000,000	12,627,718,496	178,017,750,140
402	8,833,568,388	2,650,070,516	30,042,871,715	7,348,765,381	8,482,949,055	4,320,000,000	20,591,603,711	283,879,025,157
403	8,033,646,048	2,410,093,815	24,635,154,807	5,993,215,959	6,802,001,758	4,320,000,000	19,111,751,797	264,560,163,502
404	8,033,646,048	2,410,093,815	24,687,403,279	5,993,215,959	6,564,651,713	4,320,000,000	21,186,174,210	283,450,625,141
405	7,414,323,709	2,224,297,113	20,167,910,404	5,095,616,537	8,725,284,792	4,320,000,000	12,655,348,413	187,440,809,900
406	6,201,642,150	1,860,492,645	14,760,193,495	3,733,966,922	7,044,337,496	4,320,000,000	12,613,663,189	174,710,344,640
407	8,575,364,489	2,572,609,347	28,527,666,011	6,921,316,344	8,049,349,236	4,320,000,000	20,577,103,304	281,085,686,866
408	7,775,442,150	2,332,632,645	23,119,949,103	5,565,766,922	6,368,401,939	4,320,000,000	19,101,070,872	262,029,552,454
409	6,201,642,150	1,860,492,645	14,237,708,769	3,733,966,922	6,706,009,519	4,320,000,000	11,618,409,315	165,257,236,874
410	8,291,849,947	2,487,554,984	25,941,366,620	6,420,664,996	7,228,974,278	4,320,000,000	20,562,415,971	274,384,392,493
411	6,726,364,489	2,017,909,347	17,059,126,287	4,173,616,344	7,566,581,857	4,320,000,000	12,627,718,496	180,924,292,979
412	8,033,646,048	2,410,093,815	24,818,024,460	5,993,215,959	5,782,209,232	2,880,000,000	21,265,395,483	283,284,230,592
413	7,775,442,150	2,332,632,645	23,302,818,757	5,565,766,922	5,348,609,413	2,880,000,000	21,254,645,145	280,850,657,262
414	8,291,849,947	2,487,554,984	26,124,236,274	6,420,664,996	6,209,181,751	2,880,000,000	21,275,945,856	285,078,069,423
415	7,414,323,709	2,224,297,113	20,194,034,640	5,095,616,537	4,189,906,478	2,880,000,000	21,243,695,428	270,200,748,987
416	8,033,646,048	2,410,093,815	11,546,912,433	5,993,215,959	5,328,578,547	2,880,000,000	11,551,469,869	146,900,889,336
417	7,775,442,150	2,332,632,645	14,368,329,951	5,565,766,922	6,189,150,886	2,880,000,000	12,567,212,768	164,743,030,823
418	7,775,442,150	2,332,632,645	8,438,128,317	5,565,766,922	4,169,875,612	2,880,000,000	11,538,722,466	137,518,121,821
419	7,414,323,709	2,224,297,113	11,546,912,433	5,095,616,537	5,328,578,547	2,880,000,000	11,525,815,512	147,134,018,947
420	8,033,646,048	2,410,093,815	21,212,879,855	5,993,215,959	5,079,615,510	2,880,000,000	19,111,751,797	247,964,958,857
421	9,573,086,828	2,871,926,048	12,330,639,521	8,276,865,767	5,417,223,090	2,880,000,000	12,655,572,692	158,081,559,265
422	8,033,646,048	2,410,093,815	6,922,922,613	5,993,215,959	3,736,275,793	2,880,000,000	8,348,807,864	112,751,165,841
423	8,033,646,048	2,410,093,815	24,295,539,735	5,993,215,959	5,709,465,103	2,880,000,000	21,186,174,210	280,131,175,274
424	6,726,364,489	2,017,909,347	9,221,855,405	4,173,616,344	4,258,520,155	2,880,000,000	11,630,107,779	143,454,092,052
425	7,414,323,709	2,224,297,113	20,768,767,838	5,095,616,537	9,587,098,702	5,760,000,000	14,840,895,365	212,088,954,595
426	9,314,882,929	2,794,464,879	31,949,940,963	7,849,416,729	9,771,735,484	5,760,000,000	27,207,614,267	348,749,903,466
427	9,314,882,929	2,794,464,879	32,002,189,436	7,849,416,729	9,534,385,439	5,760,000,000	28,687,999,759	365,344,287,558
428	7,775,442,150	2,332,632,645	22,074,979,652	5,565,766,922	10,014,071,221	5,760,000,000	15,268,983,269	219,816,925,474
429	9,314,882,929	2,794,464,879	32,655,295,343	7,849,416,729	9,090,270,934	4,320,000,000	28,798,206,349	367,505,738,667

Tabel 20A. Parameter Perhitungan

Parameter	Nilai
effective rate	6%
total debt	70%
equity	30%
Corporate Tax	30%
MARR	10%
Inflasi	5%
Margin Profit	15%

Tabel 21A. Perhitungan Aliran Kas

Tahun	Debt	Equity	Voyage Cost	Operation Cost	Membran	RO Maintenance	Chemical Cost	Revenue	Depreciation
0	-77.577.032.128	-33.247.299.484							
1			-2.699.040.649	-8.321.209.331	-1.592.015.011	-750.957.254	-6.649.240.137	34.314.719.421	-7.388.288.774
2			-2.833.992.682	-8.737.269.798	-1.671.615.762	-788.505.117	-6.981.702.144	35.465.436.008	-7.388.288.774
3			-2.975.692.316	-9.174.133.288	-1.755.196.550	-827.930.373	-7.330.787.251	36.673.688.424	-7.388.288.774
4			-3.124.476.931	-9.632.839.952	-1.842.956.377	-869.326.892	-7.697.326.614	37.942.353.461	-7.388.288.774
5			-3.280.700.778	-10.114.481.950	-1.935.104.196	-912.793.236	-8.082.192.945	39.274.451.751	-7.388.288.774
6			-3.444.735.817	-10.620.206.047	-2.031.859.406	-958.432.898	-8.486.302.592	40.673.154.954	-7.388.288.774
7			-3.616.972.608	-11.151.216.350	-2.133.452.376	-1.006.354.543	-8.910.617.722	42.141.793.318	-7.388.288.774
8			-3.797.821.238	-11.708.777.167	-2.240.124.995	-1.056.672.270	-9.356.148.608	43.683.863.600	-7.388.288.774
9			-3.987.712.300	-12.294.216.025	-2.352.131.245	-1.109.505.884	-9.823.956.038	45.303.037.396	-7.388.288.774
10			-4.187.097.915	-12.908.926.827	-2.469.737.807	-1.164.981.178	-10.315.153.840	47.003.169.881	-7.388.288.774
11			-4.396.452.811	-13.554.373.168	-2.593.224.697	-1.223.230.237	-10.830.911.532	48.788.308.992	-7.388.288.774
12			-4.616.275.451	-14.232.091.827	-2.722.885.932	-1.284.391.749	-11.372.457.109	50.662.705.057	-7.388.288.774
13			-4.847.089.224	-14.943.696.418	-2.859.030.229	-1.348.611.336	-11.941.079.964	52.630.820.926	-7.388.288.774
14			-5.089.443.685	-15.690.881.239	-3.001.981.740	-1.416.041.903	-12.538.133.962	54.697.342.588	-7.388.288.774
15			-5.343.915.869	-16.475.425.301	-3.152.080.827	-1.486.843.998	-13.165.040.660	56.867.190.334	-7.388.288.774

Tabel 22A. Perhitungan Aliran Kas (lanjutan)

Loan Repayment	EBIT	Interest	Taxable Income	Tax	Net Income After Tax	Salvage Value	Unit Cost/m3	Price/m3	CashFlow	Control BEP
-5.171802.142	1.742.166.122	-4.654.621.928	-2.912.455.806		-2.912.455.806		-27.335	31.435	-33.247.299.484	-33.247.299.484
-5.171802.142	1.892.259.589	-4.654.621.928	-2.762.362.338		-2.762.362.338		-27.778	31.945	4.475.832.968	-28.771.466.516
-5.171802.142	2.049.857.731	-4.654.621.928	-2.604.764.197		-2.604.764.197		-28.251	32.489	4.625.926.436	-24.145.540.080
-5.171802.142	2.215.335.779	-4.654.621.928	-2.439.286.149		-2.439.286.149		-28.755	33.068	4.783.524.577	-19.362.015.503
-5.171802.142	2.389.087.730	-4.654.621.928	-2.265.534.198		-2.265.534.198		-29.290	33.683	4.949.002.625	-14.413.012.877
-5.171802.142	2.571.527.278	-4.654.621.928	-2.083.094.650		-2.083.094.650		-29.857	34.335	5.122.754.576	-9.290.258.301
-5.171802.142	2.763.088.804	-4.654.621.928	-1.891.533.124		-1.891.533.124		-30.456	35.025	5.305.194.124	-3.985.064.177
-5.171802.142	2.964.228.406	-4.654.621.928	-1.690.393.522		-1.690.393.522		-31.090	35.754	5.496.755.650	1.511.691.473
-5.171802.142	3.175.424.988	-4.654.621.928	-1.479.196.940		-1.479.196.940		-31.759	36.523	5.697.895.252	7.209.586.726
-5.171802.142	3.397.181.399	-4.654.621.928	-1.257.440.529		-1.257.440.529		-32.464	37.334	5.909.091.834	13.118.678.560
-5.171802.142	3.630.025.631	-4.654.621.928	-1.024.596.297		-1.024.596.297		-33.207	38.188	6.130.848.245	19.249.526.805
-5.171802.142	3.874.512.074	-4.654.621.928	-780.109.854		-780.109.854		-33.988	39.086	6.363.692.477	25.613.219.282
-5.171802.142	4.131.222.840	-4.654.621.928	-523.399.088		-523.399.088		-34.809	40.030	6.608.178.920	32.221.398.203
-5.171802.142	4.400.769.143	-4.654.621.928	-253.852.784		-253.852.784		-35.671	41.022	6.864.889.686	39.086.287.889
-5.171802.142	4.683.792.762	-4.654.621.928	29.170.835	-8.751.250	20.419.584	11.082.433.161	-36.576	42.062	7.134.435.990	46.220.723.879
NPV									18.491.141.520	10.772.784