



**TUGAS AKHIR (MN 091482)  
ANALISIS PERBANDINGAN POLA  
PASOKAN AIR BERSIH DI WILAYAH KEPULAUAN**



**Gede Wahyu Yoga Dana (4107.100.049)**

**Dosen Pembimbing  
I.G.N. Sumanta Buana, S.T., M Eng**



# Latar Belakang

## Permasalahan

- Di Indonesia, pemenuhan kebutuhan air bersih pada tahun 2004 hanya sekitar 47% dari jumlah penduduk (SUSENAS).
  - Pada tahun 2015 diperkirakan hanya sekitar 56% populasi mendapat akses air bersih, (target MDG adalah 73%). (Wikipedia, 2010)
- 
- Wilayah Kepulauan Seribu tidak terjangkau oleh jaringan pipa PDAM Jaya.
  - Tidak tersedianya sumber hidrologi permukaan seperti sungai dan mata air.
  - air tanah yang ada berasa payau karena telah terinfiltrasi oleh air laut.

## Solusi

- Menyediakan alat desalinasi dalam skala besar di pulau-pulau yang berpenghuni.
- Mengaplikasikan teknologi desalinasi air laut yang berbasis di tengah laut.

## Objek Penelitian

Pada penelitian ini akan dibahas pola pasokan yang paling layak diterapkan di wilayah kepulauan, yaitu dengan menggunakan kapal desalinasi air laut, menggunakan alat desalinasi, atau dengan mengkombinasikan kedua pola pasokan tersebut.

## Rumusan Masalah

- Berapa kebutuhan air bersih penduduk?
- Bagaimana konsep pasokan air bersih dengan menggunakan kapal desalinasi air laut (*floating plant*), menggunakan alat desalinasi air laut darat (*shore plant*), atau kombinasi keduanya?
- Bagaimana model pasokan air bersih yang paling sesuai untuk wilayah kepulauan?
- Bagaimana kelayakan investasi dari model pasokan air bersih yang terpilih?



## Tujuan

- Mengidentifikasi kebutuhan (*demand*) air bersih penduduk.
- Merencanakan pola pasokan air bersih dengan menggunakan kapal desalinasi air laut (*floating plant*), menggunakan alat desalinasi darat (*shore plant*) di masing-masing pulau, atau kombinasi keduanya.
- Merencanakan pola pasokan air bersih yang paling sesuai untuk wilayah kepulauan.
- Mengidentifikasi kelayakan investasi dari model pasokan air bersih yang terpilih.

## Batasan Masalah

- Daerah penelitian adalah pulau di Kepulauan Seribu yang berpenghuni saja, yaitu pulau Untung Jawa, Pulau Lancang Besar, Pulau Tidung, Pulau Pramuka, Pulau Panggang, Pulau Karya, Pulau harapan, dan Pulau Bira.
- Aspek Teknis dari peralatan desalinasi dan instalasi di atas geladak kapal tidak dibahas.
- Alat angkut yang dibahas hanya satu jenis alat angkut saja, yaitu kapal tanker.
- Spesifikasi teknis kapal yang digunakan hanya dilihat dari segi ukuran utama, kapasitas angkut, dan kecepatan dinas rata-rata.
- Maksimum kargo yang dapat diangkut oleh kapal desalinasi air laut (*Effective load Factor*) adalah 100 % dari kapasitasnya.

## Hal-Hal yang Telah Diteliti

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



## Hal-hal yang belum diteliti terkait dengan operasi kapal dan diteliti dalam Tugas Akhir ini

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

# Metodologi Penelitian

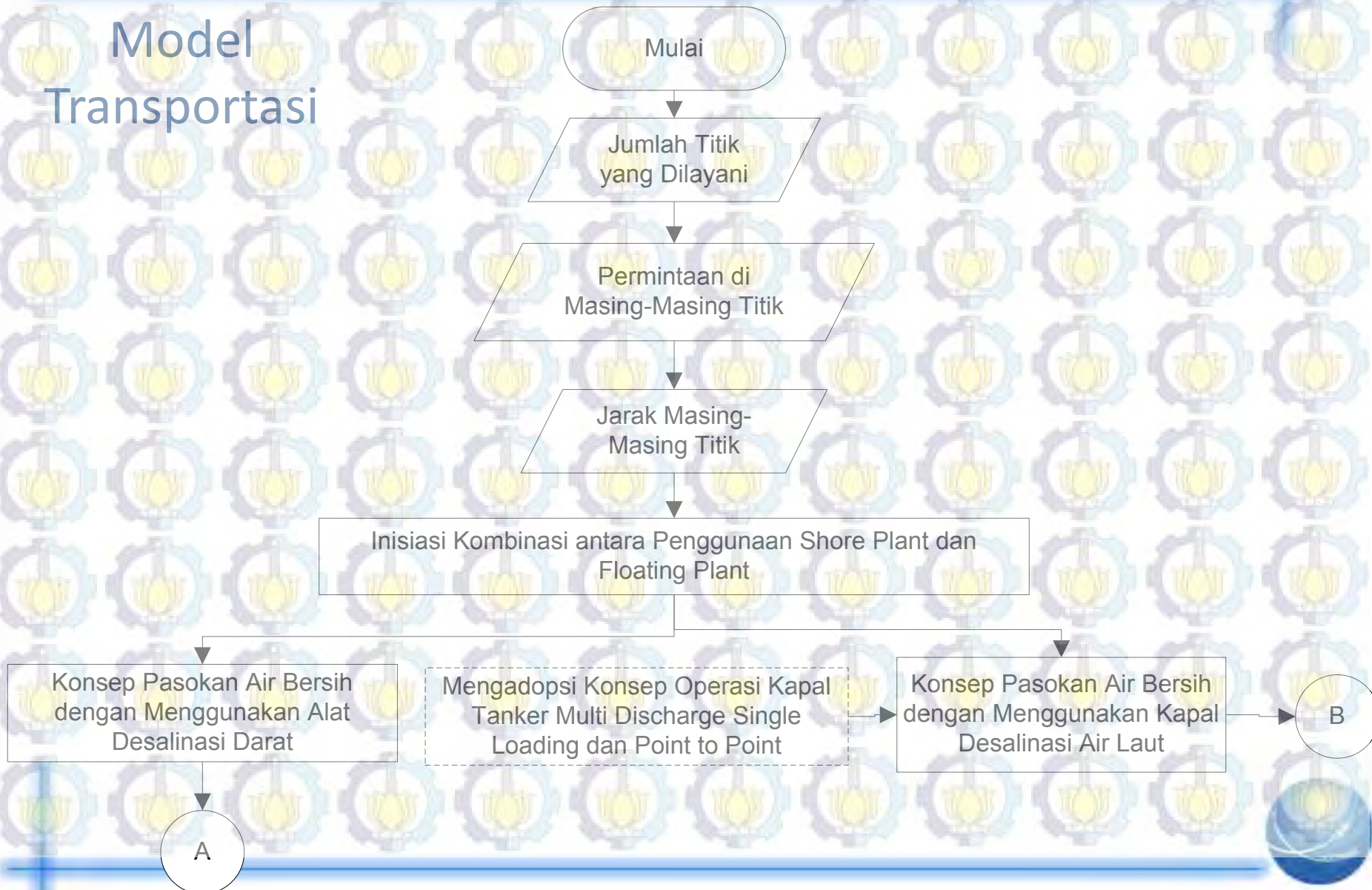




# Metodologi Penelitian



# Model Transportasi



# Model Transportasi

Perencanaan Rute, Penjadwalan, dan Pola Operasi Kapal Desalinasi Air Laut

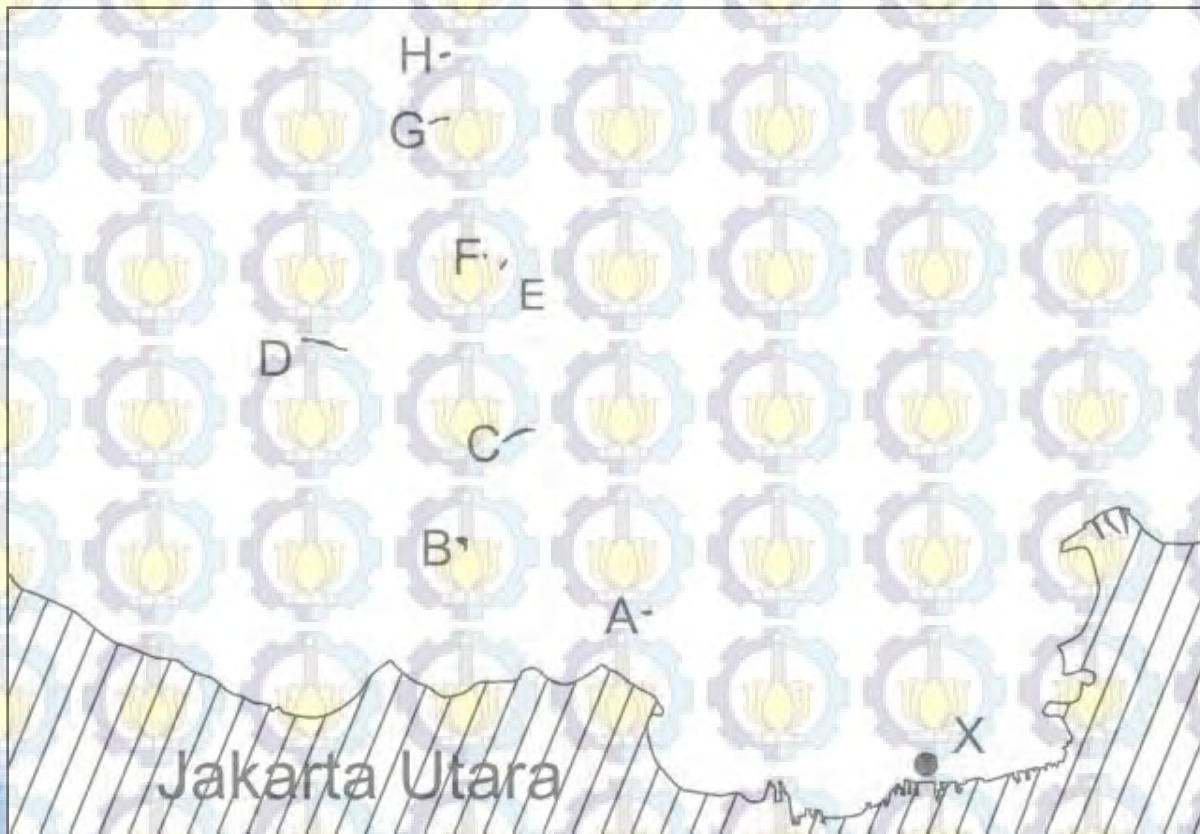




# Model Transportasi



# Lokasi Penelitian



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

# Peramalan Jumlah Penduduk

Kriteria	Linear Trend Model	Ekspsonential 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

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



# Estimasi Kebutuhan Air Bersih

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%

No	Nama Pulau	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Tawar/Hari	
			Liter	m <sup>3</sup>
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
<b>Total</b>		<b>26,030</b>	<b>3,748,320</b>	<b>3,748</b>

Sumber: Biro Pusat Statistik, 2010

rata-rata konsumsi air = 144 liter/hari (Direktorat Pengembangan Air Minum ,2006)



## Estimasi dengan Metode Regresi

- Kapasitas Produksi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ) Vs Price
  - Kapasitas Produksi Vs Kebutuhan Tenaga
  - Kapasitas Produksi Vs Membran Cost (Rp)
  - DWT Vs LPP
  - DWT Vs B
  - DWT Vs H
  - DWT Vs T
  - DWT Vs Main Engine Power
  - DWT Vs Genset Power
  - DWT Vs GT
- hasil survei*
- (Germanischer Lloyd)*



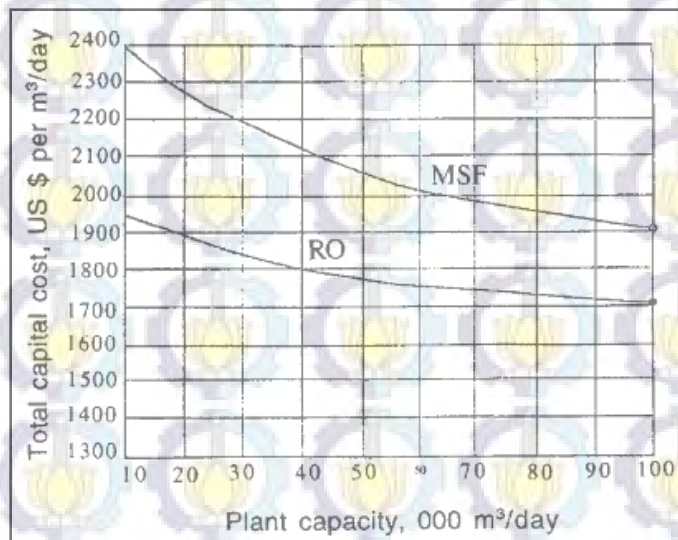
## Perencanaan Operasi

- Fasilitas distribusi muatan (air) dari kapal ke darat
- Alat Desalinasi
- Radius aman pembuangan limbah
- Armada
- Frekuensi suplai



## Alat Desalinasi

- Jenis alat desalinasi yang digunakan adalah *reverse osmosis* (RO).
- Metode desalinasi dengan RO merupakan yang paling murah (Darwish *et al*, 1989).



Biaya Modal RO jauh lebih rendah daripada MSF. Permasalahan korosi juga lebih sedikit ditemukan pada unit RO daripada MSF (Ibrahim *et al*, 1995)

Sumber: Ibrahim *et al* (1995)



## Radius Aman Pembuangan Limbah

- Pembuangan limbah cair (kategori Y) harus dilakukan dalam kondisi berlayar dengan kecepatan minimal 7 knot.
- Lewat *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).



## Kriteria Kapal Desalinasi Air Laut

- Kapal tanker dipilih 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 (water standart, 2009).
- Kecepatan kapal ketika beroperasi harus  $>7$  knot sesuai dengan peraturan IMO.



## Perencanaan Rute Kapal Desalinasi

Kondisi operasi:

- Kendaraan harus kembali ke pelabuhan utama untuk mengisi bahan bakar dan perbekalan ABK.
- Setiap titik yang disuplai dengan menggunakan kapal desalinasi (*floating plant*) hanya dikunjungi satu kali dalam satu periode pengiriman.

Kondisi operasi kapal desalinasi ini sama dengan konsep *traveling salesman problem* (TSP).

Metode Mixed Integer Programming (MIP) digunakan untuk menyelesaikan konsep TSP (Jiang, 2010).



# Traveling Salesman Problem

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

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

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

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

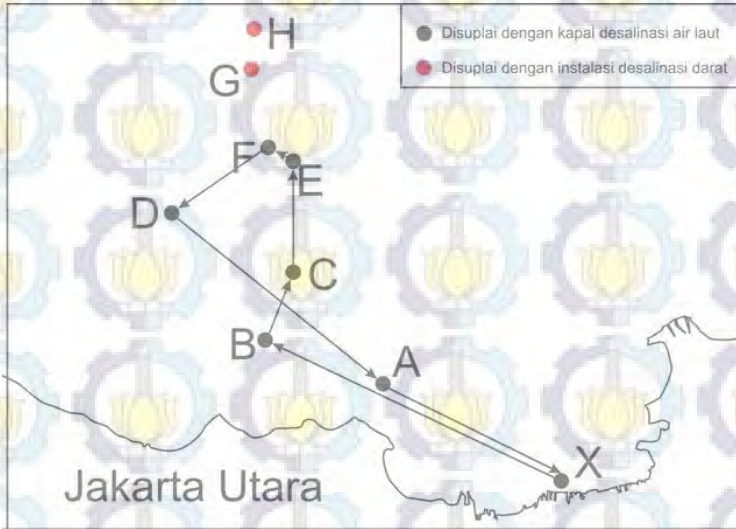
$$x_{ij} = (1, 0) \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

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

Sumber: (Jiang, 2010)



# 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	X	A	D	G	H	F	E	C	B	X		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	E	C	B	X	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	X	B	D	G	H	F	E	C	X		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	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	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	1	X	A	B	C	F	G	H	E	X		
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	X	B	C	F	H	G	D	A	X		
7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	X	B	C	E	H	G	D	A	X		
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	X	B	C	E	F	H	D	A	X		
9	0	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	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	X	B	C	E	F	D	A	X			
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	X	B	C	E	H	D	A	X			
12	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	X	B	C	E	H	D	A	X			
13	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	X	A	D	G	F	C	B	X			
14	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	X	B	C	F	H	D	A	X			
15	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	X	B	C	G	H	D	A	X			
16	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	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	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	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	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	1	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	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	1	X	A	D	G	H	F	E	B	X		
23	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	X	A	D	G	H	F	B	X			
24	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	X	E	H	G	F	B	A	X			
25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	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	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	1	X	C	E	H	G	D	A	X			
28	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	X	C	F	H	G	D	A	X			
29	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	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	1	X	E	F	H	G	D	A	X			
31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	X	B	D	G	F	E	C	X			
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	X	B	D	H	F	E	C	X			
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	X	B	D	H	G	E	C	X			
34	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	X	B	D	G	H	F	C	X			
35	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	X	B	C	F	G	H	E	X			
36	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	X	E	F	H	G	D	B	X			
37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	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	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	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	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	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	0	X	A	B	C	F	E	X				
43	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	X	A	B	C	E	G	X				

## Perencanaan Pola Operasi

- Point to point
- Multi discharge single loading





# Analisis Biaya

No	Jenis Biaya	Metode Estimasi
<b>1</b>	<b>BIAYA KAPAL</b>	
	Biaya Modal	Kurva Regresi Watson (1998)
	Biaya Operasional	Stopford (1997) dan Watson (1998)
	Biaya Pelayaran	Parson (2003) dan regresi GT
	Biaya Bongkar Muat	-
<b>2</b>	<b>BIAYA ALAT DESALINASI</b>	
	Harga Alat Desalinasi	Regresi Kapasitas Produksi Vs Harga
	Biaya Penggantian Membran	Regresi Kapasitas Produksi Vs Membran Cost
	Biaya Operasional	Regresi Kapasitas Produksi Vs Kebutuhan Tenaga
	Biaya Bahan Kimia	Estimasi El-Dessouky & Ettouney (2002)
	Biaya Perawatan	Estimasi El-Dessouky & Ettouney (2002)
<b>3</b>	<b>BIAYA INFRASTRUKTUR</b>	
	Biaya Pembangunan Depo	Cost Breakdown (HSPK)
	Biaya Operasional Depo	Cost Breakdown
	Biaya Dermaga Terapung	Galilea (2009)



# Pengembangan Model Optimasi

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

$$\text{Minimize } z = \sum_{j=1}^n x_j c_j$$

*Subject to:*

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

(Hillier & Hiller, 2008)



# Pengembangan Model Operasi

No	Model	Frekuensi	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

# Analisis dan Pembahasan

- Pola operasi terpilih “point to point”

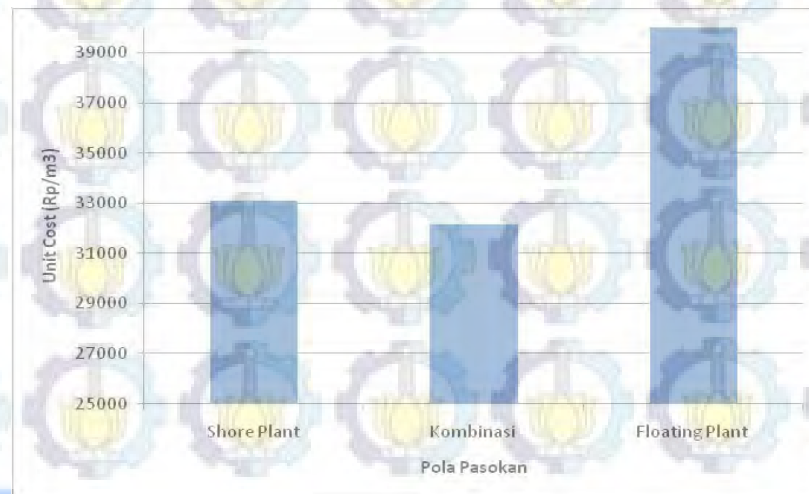
Keterangan	Nilai
Model terpilih	13B
Titik yang dilayani	C,E,G,H
Rute	X-H-G-E-C-X
Payload (ton)	1313
Kapasitas Alat Desalinasi (m3/hari)	1440
Frekuensi Suplai (hari)	3
Port Time (jam)	13.80
Sea Time (Jam)	57.27
TRT (jam)	70.97
Trip/Year	117
Unit Cost (Rp/m3)	38.819
Unit Cost (Rp/m3 mil)	0.035
Unit Cost Total(Rp/m3)	32.165





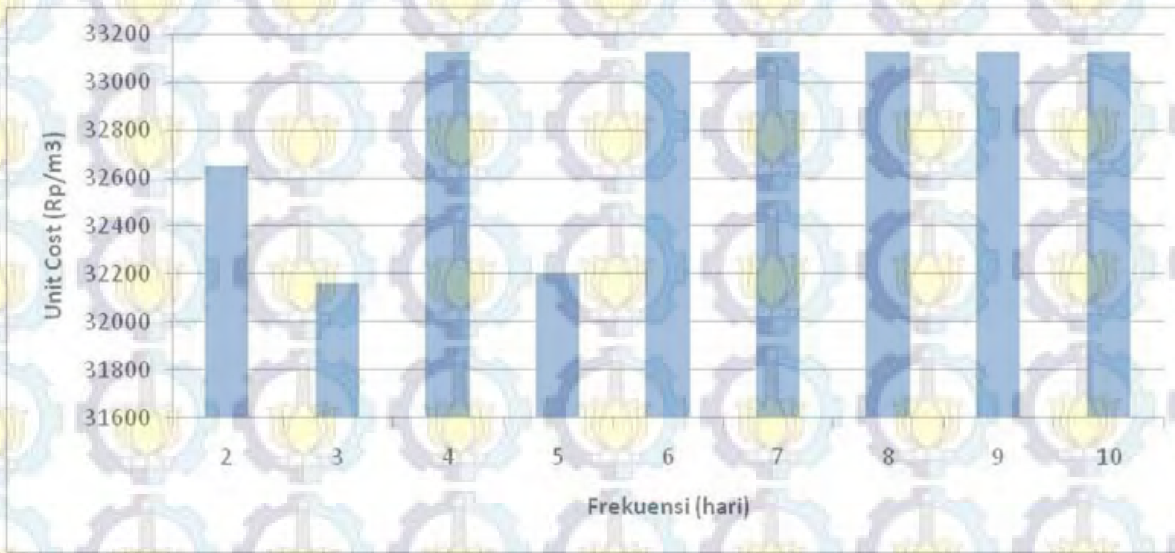
# Analisis dan Pembahasan

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

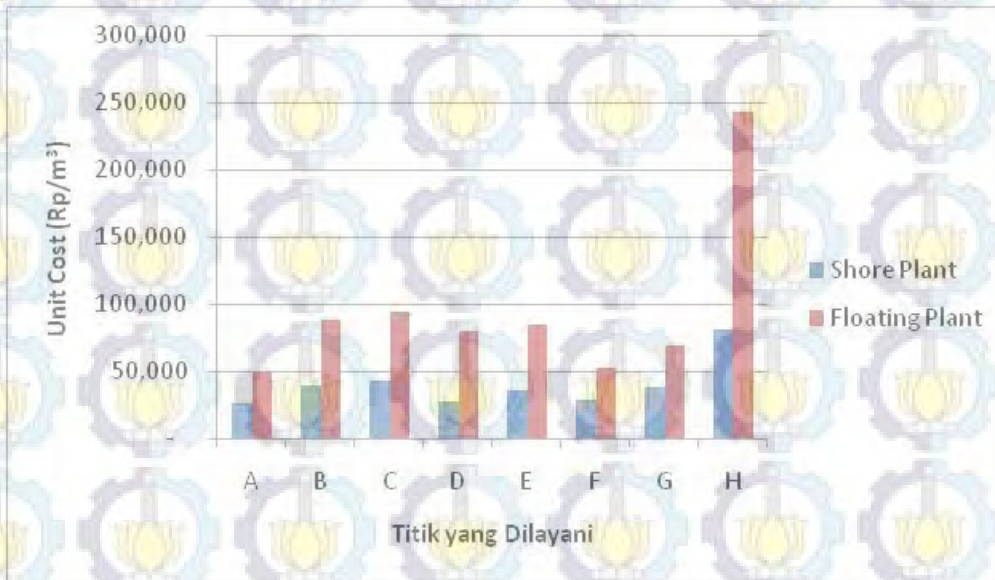




# Analisis dan Pembahasan



## Analisis dan Pembahasan

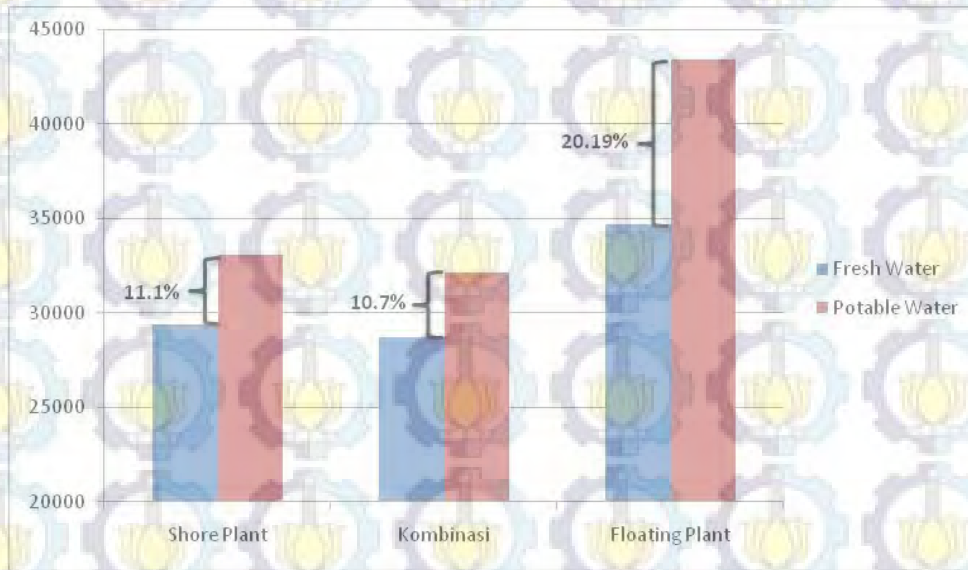


Rata-rata *unit cost shore plant* 54% lebih murah daripada penggunaan *floating plant* untuk mensuplai satu lokasi saja.

Floating desalination plant lebih efektif jika digunakan untuk mensuplai beberapa lokasi sekaligus.



## Analisis dan Pembahasan



- Untuk memproduksi air dalam jumlah yang sama, kapasitas RO untuk produksi *fresh water* lebih kecil sekitar 33% jika dibandingkan kapasitas RO untuk produksi *potable water*.
- Pergantian membran untuk produksi *fresh water* bisa lebih lama daripada *potable water*, kira – kira 18 bulan sekali. Sedangkan RO yang memproduksi *potable water* harus mengganti membran setiap 12 bulan sekali.





## Kesimpulan

- 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  $3.748 \text{ m}^3/\text{hari}$ ,
- Konsep pasokan dengan menggunakan kapal desalinasi air laut adalah dengan menggunakan 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.



## Kesimpulan

- Hasil analisis menunjukkan bahwa biaya minimum diperoleh dengan mengoperasikan kapal desalinasi air laut untuk mensuplai titik C,E,G,H (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.
- Dengan mengkombinasikan kedua metode ini, untuk memproduksi air minum (*potable water*) memerlukan biaya minimum sebesar Rp32.165/m<sup>3</sup>, 26% lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan *floating plant* dan 3% lebih kecil bila dibandingkan dengan menggunakan *shore plant*.
- Sedangkan nilai *unit cost* jika produksi air hanya berupa *fresh water* adalah Rp28.718/m<sup>3</sup>. Biaya produksi *fresh water* lebih murah 11% dibandingkan dengan biaya produksi *potable water*.



ITS

*Analisis Perbandingan Pola  
Pasokan Air Bersih di Wilayah Kepulauan*

**TERIMA KASIH**

