

## ANALISA PEMANFAATAN POTENSI SUHU AIR LAUT DAN SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK

Andi Adam Azwardan<sup>1)</sup>, Rizky Try Rachma Dani<sup>2)</sup>

Mahasiswa Konsentrasi Teknik Pengolahan Gas, Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, LNG Academy – Politeknik Negeri Jakarta,

### ABSTRACT

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) power-plant system can be classified into three types, those are open cycle, closed cycle, and hybrid cycle. OTEC close cycle consists of some components, such as evaporator, condenser, turbine, pump and electric generator. Generally, the working fluid used in this system is ammonia that has boiling temperature around  $-33,18^{\circ}\text{C}$  which is considerably low compared to water  $100^{\circ}\text{C}$  at 1 atm. Ammonia will undergo evaporating process because the heat transfer occurs between ammonia and warm seawater with temperature around  $26-32^{\circ}\text{C}$ . In condenser ammonia will be condensed into saturated liquid due to the heat transfer with cold seawater at temperature around  $4-8^{\circ}\text{C}$ . Ammonia then will be pumped into evaporator and the cycle is repeated. The result of this research shows that ammonia as working fluid to be applied on OTEC power plant closed cycle. At design with the temperature cold seawater out from condenser  $6,25^{\circ}\text{C}$ , it produces the net power 0,7 MW at ratio between warm seawater and cold seawater mass flow rate 0,5, with value of warm seawater mass flow rate 250 kg/s and cold seawater mass flow rate 500 kg/s.

**Keywords:** : *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), Close Cycle, Turbin and pump.*

### 1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan adalah sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang secara kontinu terus menerus selalu ada, Energi terbarukan akan menggantikan energi fosil yang lambat laun akan punah/habis seperti (minyak bumi, gas alam dan batubara). Sumber daya energi tersebut dapat dikembangkan dan dilakukan dengan aman dan tidak mengancam kehidupan biota laut. Dimana sumber daya energi kelautan merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari laut dan perairan. Indonesia. Indonesia adalah negara kepulauan yang wilayahnya sebagian besar adalah laut, selat dan teluk. Potensi energi kelautan sangat besar di negara yang memiliki lautan yang luas. Beberapa sumber daya energi kelautan, seperti: energi pasang surut air laut, gelombang laut (ombak), arus laut (arus bawah laut) dan energi panas laut. Di Indonesia, semua energi kelautan tersebut masih dalam tahap penelitian, sedangkan di beberapa Negara (Eropa, Amerika Serikat, Kanada, Jepang, Korea, India dan Afrika) energi-energi ini sudah dikembangkan. Dari energi terbarukan yang ada di Indonesia *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)* merupakan konversi energi panas suhu air laut menjadi energi listrik memanfaatkan siklus perbedaan suhu temperature air laut dengan suhu laut kedalaman, perairan wilayah pulau tarakan dan bunyu adalah daerah yang dilalui khatulistiwa dimana daerah tersebut menghasilkan perbedaan air suhu permukaan dan air suhu kedalaman. Pemanfaatan potensi suhu panas air laut sebagai sumber energi terbarukan menghasilkan daya pada pompa, turbin dan generator menghasilkan energi listrik. Beberapa hal yang akan dilakukan dalam penelitian yakni Perhitungan daya turbin dan daya pompa dan daya generator. Lokasi penelitian adalah di wilayah Indonesia Tengah (khususnya perairan wilayah Bontang) dan data yang dipakai adalah data sekunder.

### 2. METODE PENELITIAN / PELAKSANAAN PENGABDIAN

Konsep penelitian ini dalam bentuk diagram alir seperti pada gambar 2.1. Pada diagram alir dijelaskan tentang konsep dari penelitian memberikan gambaran energi terbarukan dengan suhu panas air laut sebagai pengganti bahan bakar fosil yaitu minyak, gas alam, batu bara dan lain-lainnya yang diperkirakan atau diprediksi akan habis. Maka dari itu energi terbarukan suhu panas air laut adalah solusi untuk mengatasi kelangkaan atau habisnya bahan bakar yang dapat diperbaharui pada tahun yang akan datang. Didalam penelitian ini difokuskan pada energi terbarukan suhu panas air laut dimana suhu panas air laut adalah sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui tidak pernah punah ataupun habis dan menghitung besar daya yang dihasilkan oleh turbin maupun pompa pada siklus, (Abdul K., 1995).

<sup>1</sup> Korenspondensi: andiadamad@gmail.com



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Energi Terbarukan.

#### a. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin, pompa dan generator menghasilkan daya listrik.

#### b. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini bahwa turbin, pompa dan generator melalui siklus menghasilkan daya listrik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

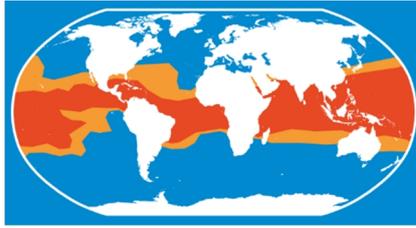
Potensi energi air laut belum banyak diketahui masyarakat pada umumnya adalah sebagai potensi energi baru terbarukan dimana potensi suhu air laut dan samudra dapat menghasilkan energi listrik. Dalam hal banyak negara maju melakukan penelitian dan pengembangan potensi energi baru terbarukan guna untuk menghasilkan energi listrik.

Energi Panas Laut *Thermal Energy Conversion (OTEC)* adalah pembangkit listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur suhu air laut di permukaan dan suhu air laut dalam dimana lautan yang meliputi dua pertiga luas permukaan bumi, menerima panas yang berasal dari penyinaran matahari. Selain dari pada itu, air lautan juga menerima panas yang berasal dari panas bumi yaitu magma, yang terletak dibawah dasar laut. Energi termal ini dapat dimanfaatkan dengan mengkonversinya menjadi energi listrik dengan suatu teknologi yang disebut *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*, atau *Konversi Energi Panas Laut (KEPL)*. Suatu jumlah energi yang besar yang diserap oleh lautan dalam bentuk panas yang berasal dari penyinaran matahari dan yang berasal dari magma yang terletak dibawah dasar laut. Suhu permukaan air laut disekitar garis khatulistiwa berkisar antara 25 sampai 300 C. Selisih suhu ini dapat dimanfaatkan untuk menjalankan mesin penggerak berdasar prinsip termodinamika, dengan mempergunakan suatu zat kerja yang mempunyai titik mendidih yang rendah; pada dasarnya mesin penggerak ini dapat digunakan untuk pembangkitan listrik. Beberapa keuntungan dari sistem OTEC antara lain

1. Sumber daya energi *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)* merupakan sumber terbarukan secara alamiah.
2. Tidak ada dampak terhadap lingkungan, bahkan dari sisi ekologi berdampak positif karena akan memperkaya nutrisi pada permukaan air laut.
3. Tidak menghasilkan gas rumah kaca ataupun limbah lainnya.
4. Tidak membutuhkan bahan bakar yang besar, biaya operasional relatif rendah
5. Produksi listrik stabil

Selain kelebihan terdapat kekurangan dari sistem ini yaitu biaya investasi awal *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)* masih terlalu mahal.

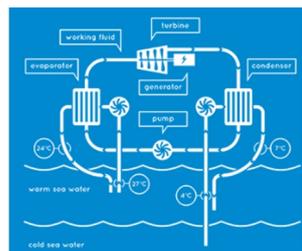
Perairan di Indonesia merupakan perairan yang termasuk dalam wilayah kawasan laut tropis. Dimana perairan Indonesia menghasilkan potensi sumber panas air laut di Indonesia sangat banyak manfaatnya terutama dalam bidang sumber energi terbarukan seperti *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*. Pada gambar menunjukkan peta yang berisikan kondisi perairan laut di seluruh dunia.



Gambar 2. Penyebaran Panas Permukaan laut didunia  
(Sumber : otecnews.org)

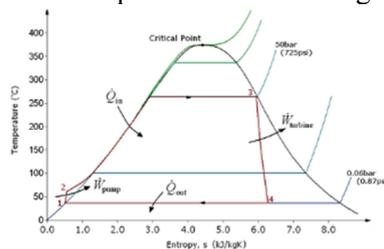
#### Prinsip Kerja *Ocean Thermal Energy Conversion*(OTEC)

Sistem power *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) dapat dibagi kedalam dua kategori siklus tertutup (*closed cycle*) dan siklus terbuka (*open cycle*). Pada siklus tertutup (*closed cycle*), fluida kerja (*working fluid*) di pompa ke dalam evaporator setelah mengalami kondensasi. Pada Siklus terbuka (*Open cycle*) merupakan pelopor dari variasi siklus *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC), dimana pada siklus terbuka (*Open cycle*) berhubungan pada penggunaan air laut sebagai fluida kerja (*working fluid*). Sebuah skema di bawah merupakan gambaran umum komponen-komponen yang ada di model *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) siklus terbuka. Siklus tersebut merupakan dasar dari siklus Rankine yang mengkonversi energi panas (*thermal energy*) dari air hangat permukaan menjadi energi listrik. Dalam siklusnya, air laut yang hangat dilewatkan kedalam ruang evaporasi, dimana bagian dari air laut di konversi ke dalam uap bertekanan rendah. Uapnya kemudian dilewatkan melalui turbin, dimana mengekstraksi energi, lalu kemudian keluar kedalam kondensator. Sebaliknya, air yang mengalami kondensasi dapat digunakan sebagai desalinisasi air karena tidak dikembalikan kedalam evaporator.



Gambar 3. *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) siklus tertutup (*closed cycle*)  
(Sumber: otecnews.org)

Siklus Tertutup (*Closed cycle*) merupakan proses dimana heat digunakan untuk mengevaporasikan fluida pada tekanan yang tetap di dalam sebuah tangki pemanas atau *evaporator*, dimana uap masuk ke piston mesin atau turbin dan berekspansi melakukan kerja. Uap keluar kemudian masuk ke dalam suatu wadah dimana heat ditransfer dari uap ke cairan pendingin, menyebabkan uap terkondensasi menjadi cair lalu cairan tersebut dipompa kembali ke dalam evaporator untuk melengkapi siklus.

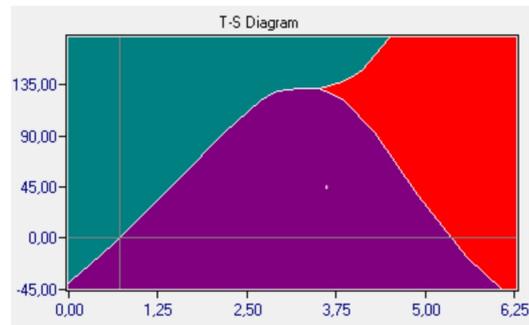


Gambar 4. Siklus Rankine yang diterapkan pada *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC)  
(Sumber: chrismcmahon.net)

Siklus Rankine pada gambar.4 menunjukkan perbedaan tekanan dan suhu dari waktu ke waktu pada saat berlangsungnya sistem *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC), dimana fluida kerja (*working fluid*) yang mengalir ke evaporator akan di evaporasikan terlebih dahulu hingga suhu dan tekanan tertentu sehingga dapat menggerakkan turbin lalu dialirkan kembali ke kondensator untuk dijadikan cair kembali dengan suhu dan tekanan yang telah diatur, (Avery et.al, 1994)

Tabel 1. Karakteristik Fluida Penggerak Ammonia

No	Properties	Nilai	Satuan
1	Rumus kimia	NH3	
2	Massa molekul	17,031	g/mol
3	Titik didih (1atm)	-33,18	oC
4	Temperatur kritikal	132,4	oC
5	Tekanan kritikal	11333	kPa
6	Densitas kritikal	225	kg/m3



Gambar 5. diagram T-S Ammonia

Perhitungan Tekanan dan Daya Pompa Air Laut

Dari persamaan Energi Grade Line (EGL) dan Head Loss pada pipa didapatkan rumusan seperti berikut,

$$(P_1\rho + \alpha_1 V_1^2 + gz_1) - (P_2\rho + \alpha_2 V_2^2 + gz_2) = \Sigma hl + \Sigma h_{lm}$$

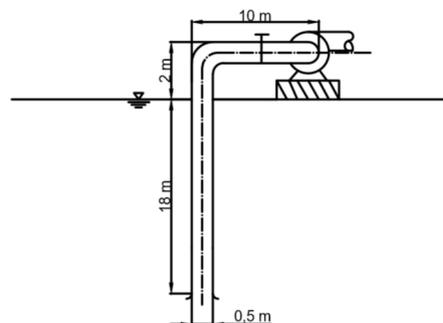
Dimana, P (tekanan),  $\rho$  (massa jenis fluida), v (kecepatan fluida), g (percepatan gravitasi), z (ketinggian), hl (head loss mayor), dan h<sub>lm</sub> (head loss minor).

$\Sigma hl = fLDV^2$ , dimana f (friction factor), L (panjang pipa), D (diameter pipa)

$\Sigma h_{lm} = KV^2 + fLeDV^2$ , dimana K (loss coefficient), LeD (equivalent length of pipe)

Dengan Asumsi yang digunakan adalah aliran dalam keadaan *steady*, aliran berupa *incompressible flow*, viskositas dinamik dan massa jenis air laut konstan. Melalui rumusan diatas akan dihitung kebutuhan daya pompa untuk air laut hangat dan air laut dingin pada setiap variasi laju aliran massa yang digunakan. Dengan parameter yang sudah ditetapkan seperti berikut,

$P_2 = 0$  (gage) Pa,  $g = 9,81\text{m/s}^2$ ,  $z_1 = 0$ ,  $z_2 = 2\text{m}$ ,  $\rho = 1025\text{ kg/m}^3$ , L = 20 m (vertikal) dan 10m (horisontal), D = 0,5m, f = 0,02 (untuk smooth pipes), K = 0,28 (rounded entrance), LeD = 8 (gate valve) dan 30 (standart elbow 90°) berdasarkan buku introduction to fluid mechanics, Fox and Mc Donald. Dengan mengambil contoh perhitungan pada laju aliran massa 250 kg/s atau pada rasio 0,5 didapatkan kecepatan linear menurut rumusan berikut,



Gambar 6. Skema Pompa Air Laut Hangat

$$\dot{m}w = \rho \cdot v \cdot A$$

$$v = \frac{\dot{m}w}{\rho \cdot A} = \frac{250}{1025 \times 0.19625} = 1.24m/s$$

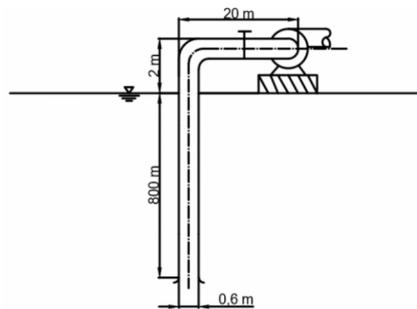
Dengan meninjau sistem diatas,  $v_1=v_2$  maka persamaan menjadi seperti pada berikut :

$$\left(\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g z = f \frac{L V^2}{D 2} + K \frac{V^2}{2} + f \frac{L V^2}{D 2}\right)$$

$$P_1 - P_2 = \left(f \frac{L V^2}{D 2} + K \frac{V^2}{2} + f \frac{L V^2}{D 2} + g z\right) \rho$$

$$= \left(0.027 \frac{30}{0.5} \frac{1.24^2}{2} + 0.28 \frac{1.24^2}{2} + 0.027(8 + 30) \frac{1.24^2}{2} + 9.81 \times 2\right) 1025$$

$$= 0.224 \rho \quad (g) = 1.24 \rho \quad (a)$$



Gambar 7. Skema Pompa Air Laut Dingin

$P_2 = 0$  (gage) Pa,  $g = 9,81m/s^2$ ,  $z_1 - z_2 = 2m$ ,  $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ ,  $L = 802 \text{ m}$  (vertikal) dan  $20m$  (horisontal),  $D = 0,6m$ ,  $f = 0,024$  (untuk smooth pipes),  $K = 0,28$ (rounded entrance),  $L_e D = 8$  (gate valve) dan  $30$  (standart elbow 90o ) berdasarkan buku introduction to fluid mechanics, Fox and Mc Donald. Dengan mengambil contoh perhitungan pada laju aliran massa  $500 \text{ kg/s}$  didapatkan kecepatan linear menurut rumusan berikut,

$$\dot{m}w = \rho \cdot v \cdot A$$

$$v = \frac{\dot{m}w}{\rho \cdot A} = \frac{500}{1025 \times 0.19625} = 1.72m/s$$

Dengan meninjau sistem diatas,  $v_1=v_2$  maka persamaan menjadi seperti pada berikut :

$$\left(\frac{P_1 - P_2}{\rho} - g z = f \frac{L V^2}{D 2} + K \frac{V^2}{2} + f \frac{L V^2}{D 2}\right)$$

$$P_1 - P_2 = \left(f \frac{L V^2}{D 2} + K \frac{V^2}{2} + f \frac{L V^2}{D 2} + g z\right) \rho$$

$$= \left(0.024 \frac{822}{0.6} \frac{1.72^2}{2} + 0.28 \frac{1.72^2}{2} + 0.024(8 + 30) \frac{1.72^2}{2} + 9.81 \times 2\right) 1025$$

$$= 1.81 \rho \quad (ab)$$

Air laut masuk evaporator pada temperatur  $28^\circ C$  dan masuk kondenser pada temperatur  $5^\circ C$ . Berdasarkan persamaan termodinamika untuk menghitung daya pompa dengan laju alir masa  $250 \text{ kg/s}$ , diperoleh rumusan seperti berikut,

$$W_p = v \cdot (P_2 - P_1)$$

$$W_{p1} = 250 \frac{k}{s} \cdot \left(0.0010038 \frac{m^3}{k} (1.8) \cdot \frac{10^5 k}{ms^2} \cdot \frac{1K}{10^3 W}\right) = 31 k$$

Sedangkan untuk menghitung daya pompa air laut dingin, digunakan parameter seperti berikut,  $\dot{m}_{cw}$  merupakan laju aliran massa air laut dingin sebesar 500 kg/s,  $v_1$  sebesar 0,001 m<sup>3</sup>/kg, dan tekanan pompa  $\Delta P$  sebesar 1,81 bar. Dari data ini diperoleh,

$$\dot{W}_{p1} = 5000 \frac{k}{s} \cdot \left( 0.001 \frac{m^3}{k} (1.8) \cdot \frac{10^5 k}{ms^2} \cdot \frac{1K}{10^3 W} \right) = 90 k$$

Perhitungan akan dilakukan pada Tc out Kondenser 6,25°C ratio 0,5 dengan  $\dot{m}_{ww}$  250kg/s dan  $\dot{m}_{cw}$ =500kg/s. Laju aliran massa fluida  $\dot{m}_{wf}$  sebesar 185,25 kg/s. Analisa dimulai dari bagian masuk turbin, tekanannya adalah 8,57 bar pada temperatur 26,5oC pada kondisi superheated. Dengan menggunakan *Computer Aided Termodinamic Table* untuk ammonia diperoleh  $h_1=1643,1$  kJ/kg dan  $s_1=5,9181$ kJ/kg.K.

Kondisi 2 ditetapkan oleh  $P_2 = 7,2$  bar dan entropi spesifik konstan untuk ekspansi yang adiabatik dan reversibel secara internal melalui turbin. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap jenuh dari *Computer Aided Termodinamic Table*, kualitas pada kondisi 2 adalah

$$x_2 = \frac{s_2 - s}{s - s} = \frac{5.9181 - 1.7139}{5.9102 - 1.7139} = 1.0019$$

$$h_2 = hf + x_2 hf = 411.57 + 1.0019 \cdot 1207,63 = 1621.5 k /k$$

Kondisi 3 berada pada daerah subcooled dengan tekanan 7,2 bar dan temperatur 12°C sehingga  $h_3 = 399,14$  kJ/kg.

Kondisi 4 ditetapkan oleh tekanan boiler  $P_4$  dan entropi spesifik  $s_4 = s_3$ . Enthalpi spesifik  $h_4$  dapat dihitung melalui interpolasi dalam tabel cairan hasil kompresi. Akan tetapi, karena data cairan hasil kompresi relatif jarang dijumpai, adalah lebih mudah untuk menggunakan persamaan berikut untuk mendapatkan  $h_4$ .

$$h_4 = h_3 + \frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_3 + v_3(P_4 - P_3) = 399.14 \frac{k}{k} + \frac{0.0016081 m^3}{k} (8.57 - 7.2) \cdot \frac{10^5}{m} \cdot \frac{1k}{10^3 N} = 399.36 k /k$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}_w \cdot (h_1 - h_2) = \frac{185.25k}{s} \cdot \frac{(1643.1 - 1621.5)k}{k} = 4006.89K$$

Kerja yang dilakukan oleh pompa fluida kerja adalah,

$$\dot{W}_p = \dot{m}_w \cdot (h_4 - h_3) = \frac{185.25k}{s} \cdot \frac{(399.36 - 399.14)k}{k} = 40.89W$$

Kalor yang diserap oleh evaporator adalah

$$\dot{Q}_{i1} = \dot{m}_w \cdot (h_1 - h_4) = \frac{185.25k}{s} \cdot \frac{(1643.1 - 399.36)k}{k} = 230435.89W$$

Maka diperoleh efisiensi termal sebesar

$$\eta = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_p - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2}}{\dot{Q}_{i1}} = \frac{(4006.89 - 40.8 - 90 - 31.05)}{230435.89} \times 100\% = 1.66\%$$

Generator adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik. Generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai prinsip kerja. Pada listrik yang mempunyai prinsip kerja. Pada pembangkit listrik panas laut digunakan generator arus bolak-balik (AC) maka daya yang dibangkitkan generator tersebut adalah.

$$\dot{W}_n = \dot{W}_t - \dot{W}_p - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2} = 4006.89 - 40.8 - 90 - 31.05 = 3845.04 W$$

$$\dot{W}_n = \dot{m}_w \dot{W}_n = 185.25 \times 3845.04 = 712293.66 W = 0.71229366 MW.$$

#### **4. KESIMPULAN**

- 1) Perbedaan Tekanan pada pompa air laut hangat sebesar 1.24 bar dan daya pompa sebesar 31 kW. Pada pompa air laut dingin memiliki perbedaan tekanan 1.81 bar dan daya pompa sebesar 90 kW.
- 2) Kerja yang dihasilkan oleh turbin sebesar 4006.89 kW , kerja yang dilakukan oleh pompa fluida kerja 40.89W dan kalor yang diserap oleh evaporator sebesar 230435.89W dengan efisiensi termal sebesar 1.66%.
- 3) Daya yang dibangkitkan generator adalah 0.71229366 MW.

#### **5. DAFTAR PUSTAKA**

Avery, W.H. and Wu Chih, 1994. *Renewable Energi From the Ocean: a guide to OTEC*. Oxford University Press, Inc. New York.

General Electric, 1983. *Close cycle OTEC power plan final report*, General Electric Co, Schenectady, N.Y.

Kadir Abdul 1995, *Energi : sumber daya, inovasi, tenaga listrik dan potensi ekonomis*, edisi kedua, cetakan pertama 1995.

Majalah Energi dan Listrik *Pemberdayaan Potensi Panas Laut Sebagai Sumber Daya Ketenaga listrikan Pulau Ambon* , Volume X no. 3, 1-9 September 2000.

Rahmat, Y., 2008. *OTEC: Ocean Thermal Energi Conversion (OTEC)*, Institut Teknologi Bandung, Press, Bandung.

#### **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya.