

# Pengujian Distilator dengan Variasi Panjang Pipa terhadap Hasil Destilasi dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin

Adriansyah<sup>1</sup>, Faisal Mahmuddin<sup>1,\*</sup>, Syerly Klara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

\*Email: f.mahmuddin@unhas.ac.id

---

## Abstrak

Ketersediaan air tawar adalah salah satu permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat pesisir dan nelayan terutama bagi masyarakat di pulau-pulau kecil. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal dengan membuat desain dan prototipe distilator. Namun pada penelitian tersebut didapati masalah pada panjang pipa yang digunakan, sehingga berpengaruh terhadap hasil destilasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa terhadap hasil destilasi dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin. Penelitian ini menggunakan prototipe distilator dengan memvariasikan panjang pipa yaitu: 5 m, 7 m, dan 9 m untuk memperoleh banyaknya hasil destilasi. Dari hasil penelitian pada variasi panjang pipa 5 m memperoleh hasil destilasi sebesar 26 ml, variasi panjang pipa 7 m sebesar 50 ml, variasi panjang pipa 9 m sebesar 70 ml. Adapun volume hasil destilasi yang paling baik yaitu pada panjang pipa 9 m sebesar 70 ml dengan 1500 RPM selama 60 menit, laju perpindahan panas sebesar 26.53 W dengan efektivitas sebesar 78.13 %. Terjadi peningkatan hasil destilasi seiring penambahan ukuran panjang pipa dengan ukuran diameter yang sama sebesar 0.8 cm, sehingga luas selubung pipa juga semakin besar yang mempengaruhi laju perpindahan panas yang mengakibatkan suhu air laut semakin naik dan menghasilkan destilasi yang semakin besar pula.

## Abstract

**Distillator Testing with Pipe Length Variations on Distillation Output using Engine Exhaust Heat Energy.** The availability of fresh water is one of the problems faced by coastal communities and fishermen, especially those living on small islands. In previous research, a study was conducted by utilizing the heat from ship engine exhaust gases through the design and development of a distillator prototype. However, that study encountered issues related to the length of the pipe used, which affected the distillation results. The purpose of this study is to determine the effect of variations in pipe length on the distillation output by utilizing the thermal energy from exhaust gases. This research uses a distillator prototype with variations in pipe lengths of 5 m, 7 m, and 9 m to obtain the amount of distillate produced. The results show that for a pipe length of 5 m, the distillate obtained was 26 ml; for 7 m, it was 50 ml; and for 9 m, it reached 70 ml. The best distillation result was achieved with a pipe length of 9 m, producing 70 ml at 1500 RPM over 60 minutes, with a heat transfer rate of 26.53 W and an effectiveness of 78.13%. An increase in distillation output occurs with the increase in pipe length, while maintaining the same diameter of 0.8 cm. This increases the pipe surface area, which enhances the heat transfer rate, resulting in a higher seawater temperature and consequently greater distillation output.

*Kata Kunci: Distillator prototype; panjang pipa; energi mesin; panas gas buang*

---

## 1. Pendahuluan

Sebagian besar masyarakat pesisir, terutama yang berada di pulau-pulau kecil dan terpencil serta komunitas nelayan, mengalami krisis air tawar untuk kebutuhan minum, memasak, dan keperluan lainnya. Kondisi ini disebabkan oleh dominasi air asin di bumi, khususnya di wilayah pesisir, sehingga tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk konsumsi. Distribusi air di dunia menunjukkan bahwa sekitar 97,3% merupakan air laut, sedangkan sisanya adalah air tawar yang sebagian besar tidak dapat

dimanfaatkan karena berbentuk es di kutub (sekitar 2,1%), dan hanya sekitar 0,6% yang dapat digunakan secara langsung [1].

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan penerapan teknologi tepat guna untuk mengatasi kendala yang dihadapi, khususnya dalam membantu masyarakat nelayan memperoleh air bersih atau air tawar. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah destilasi atau penyulingan air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal.

Distilator yang memanfaatkan energi panas gas buang bekerja dengan mengubah air laut dari fase cair menjadi uap, kemudian mengkondensasikannya kembali menjadi air tawar. Suhu yang diperlukan untuk mengubah air laut menjadi uap adalah sekitar 100°C pada tekanan satu atmosfer (1 atm).

Panas gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel memiliki potensi energi termal yang cukup besar untuk dimanfaatkan. Hal ini dikarenakan sekitar 34–40% energi hasil pembakaran bahan bakar dalam mesin terbuang melalui gas buang [2].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan studi dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal melalui pembuatan prototipe distilator. Selain itu, penelitian tersebut juga menganalisis pengaruh bentuk dan kemiringan penutup distilator terhadap jumlah hasil destilasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi panas gas buang mesin dapat digunakan untuk menghasilkan uap yang selanjutnya dikondensasikan menjadi air tawar melalui proses destilasi. Namun, penelitian tersebut masih memiliki kendala pada panjang pipa yang digunakan, yang berpengaruh terhadap efektivitas distilator serta jumlah hasil destilasi yang diperoleh.

Pipa distilator memiliki peranan penting dalam proses perpindahan panas antara energi panas gas buang dan air yang akan didestilasi. Pipa dengan panjang yang lebih besar akan memberikan luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar serta mempengaruhi waktu kontak antara gas buang dan air di dalam distilator. Semakin panjang pipa yang digunakan, maka semakin lama waktu interaksi yang memungkinkan air menyerap panas dari gas buang. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini akan mengkaji “Penguji Distilator dengan Variasi Panjang Pipa terhadap Hasil Destilasi dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin.”

## **2. Tinjauan Pustaka**

### *2.1. Desalinasi*

Desalinasi adalah sebuah rangkaian proses pemisahan yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi garam yang terkandung di dalam air, sehingga menghasilkan produk air yang layak untuk dikonsumsi. Proses ini banyak dikembangkan terutama pada tingkat industri dan juga kapal untuk menghasilkan air tawar [3].

Proses desalinasi dengan cara teknologi desalinasi termal adalah sama dengan siklus alami air yaitu melalui proses perubahan fase. Desalinasi termal atau distilasi merupakan metode desalinasi dengan cara menguapkan air laut melalui pemanasan kemudian air dikondensasikan menjadi air tawar terdiri dari beberapa jenis yaitu, Multi Stage Flash (MSF), Multi Effect Distillation (MED), dan Vapor Compression

(VC), sedangkan untuk membran Teknologi desalinasi membran adalah sebuah metode untuk mengubah air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan sebuah membran untuk menahan atau merejeksi zat atau ion terlarut di dalam air laut sehingga menghasilkan air berkonsentrasi rendah (tawar) terdiri dari Electrodialisis dan Reverse Osmosis (RO) [3].

### *2.2. Distilasi air laut*

Pada proses destilasi, air laut dipanaskan hingga menguap, lalu dikondensasi untuk mendapatkan air tawar. Metode ini menghasilkan air dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi. Air laut mendidih pada suhu 100°C di tekanan atmosfer, namun titik didih bisa lebih rendah jika tekanan diturunkan. Penguapan memerlukan panas laten yang dilepaskan saat kondensasi dan bisa digunakan untuk memanaskan air laut [4].

Penguapan (evaporasi) adalah perubahan suatu zat cair menjadi uap. Penguapan juga bisa diartikan sebagai perpindahan massa zat cair ke atas dengan adanya gradien temperatur antara permukaan zat cair dengan udara di atasnya. Perpindahan kalor tersebut merupakan perpindahan kalor secara konveksi alami. Hal ini terjadi akibat adanya efek gaya apung yang bekerja pada fluida. Efek gaya apung tersebut merupakan mekanisme yang terjadi karena adanya gradient massa jenis. Massa jenis akan menurun apabila temperatur fluida meningkat, begitupun sebaliknya massa jenis akan meningkat apabila massa temperatur fluida menurun. Fluida yang ringan memiliki massa jenis yang rendah sehingga akan menempati posisi yang lebih atas. Temperatur fluida akan terus meningkat apabila terus diberikan panas dan massa jenisnya akan terus menurun sehingga terjadilah penguapan [5].

### *2.3. Pemanfaatan gas buang*

Motor bakar adalah salah satu jenis mesin kalor yang banyak digunakan saat ini. Sedangkan mesin kalor adalah mesin yang mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanis. Energi panas tersebut diperoleh dari hasil pembakaran. Jika dilihat dari cara memperoleh energi panas, mesin kalor dibedakan menjadi dua yaitu mesin dengan pembakaran dalam dan mesin dengan pembakaran luar [2].

Saat ini efisiensi termal yang optimal yang bisa dimanfaatkan hanya berkisar antara 25-30%, sedangkan sisanya hanya terbuang ke dalam berbagai bentuk seperti 30-35 % terbuang pada gas buang, 30-35% terbuang melalui sistem fluida pendingin, dan 5-10% terbuang akibat gesekan dan lain-lain. Melihat besarnya energi yang terbuang percuma atau tidak termanfaatkan dan semakin langkanya penyediaan energi maupun mahal biaya pemakaian energi,

maka dilakukan berbagai upaya dalam memanfaatkan berbagai energi alternatif termasuk pemanfaatan panas buang (limbah panas) dari mesin baik mesin bensin atau mesin diesel [6].

#### 2.4. Perpindahan kalor

Untuk analisa transfer panas yang sempurna, maka perlu memahami tiga mekanisme transfer panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu partikel ke partikel lainnya dimana keduanya saling bersentuhan. Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan kalor dari satu bagian fluida ke bagian fluida lainnya yang disebabkan oleh adanya pergerakan fluida itu sendiri. Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara dua badan tanpa melalui medium perantara [7].

Gas buang yang dihasilkan oleh mesin penggerak kapal mengalir secara turbulen pada saluran gas buang mesin. Energi panas yang dihasilkan oleh gas buang tersebut berpindah ke dinding heat exchanger secara konduksi, konveksi dan radiasi. Energi panas yang diterima oleh dinding luar heat exchanger kemudian diteruskan ke dinding dalam heat exchanger dengan cara perpindahan panas konduksi. Setelah itu, energi panas yang terdapat pada dinding dalam heat exchanger diteruskan ke air dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi [8].

Selain itu, pada gas buang dalam knalpot mesin juga terjadi proses perpindahan panas. Perpindahan panas tersebut merupakan proses perpindahan panas konveksi paksa karena pergerakan gas buang tersebut diakibatkan oleh gaya dorong torak di dalam mesin [9].

#### 2.5. Aliran fluida

Secara garis besar, jenis aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran tunak (steady) dan aliran tidak tunak (unsteady). Aliran tunak merupakan aliran fluida yang kecepatannya tidak berubah terhadap waktu, sehingga kecepatan pada setiap titik bernilai konstan dan tidak mengalami percepatan. Sebaliknya, aliran tidak tunak adalah aliran fluida yang kecepatannya mengalami perubahan terhadap waktu [10].

Menurut hukum Newton, aliran fluida berdasarkan karakteristik pergerakannya dapat dibedakan menjadi aliran laminar, turbulen, dan transisi. Aliran laminar merupakan aliran di mana fluida bergerak dalam lapisan-lapisan sejajar secara teratur, dengan setiap lapisan meluncur tanpa pencampuran yang signifikan. Pada kondisi ini, viskositas berperan dalam meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antar lapisan. Sementara itu, aliran turbulen ditandai oleh pergerakan partikel fluida yang tidak teratur akibat adanya pencampuran dan pusaran (eddy) antar

lapisan, sehingga terjadi pertukaran momentum dalam skala besar antar bagian fluida. Adapun aliran transisi merupakan kondisi peralihan dari aliran laminar menuju aliran turbulen [10].

Klasifikasi aliran tersebut juga dapat ditinjau berdasarkan nilai bilangan Reynolds. Aliran laminar terjadi pada nilai bilangan Reynolds kurang dari 2300 ( $Re < 2300$ ), aliran transisi berada pada rentang 2300 hingga 4000 ( $2300 < Re < 4000$ ), sedangkan aliran turbulen terjadi pada nilai bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ( $Re > 4000$ ) [10].

#### 2.6. Konduktivitas termal

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah suatu fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konduktivitas termal beberapa material di tampilkan pada Tabel 1 [10].

Tabel 1. Konduktivitas termal

Copper	385
Aluminium	202
Carbon Steel 1% C	43
Chrome Steel 20% Cr	22.5
Chrome Nickel Steel	16.3
Concrete	1.13
Glass	0.78
Water	0.556
Asbestos	0.11
Air	0.024

#### 2.7. Metode perhitungan

Jenis tahanan termal yang terjadi pada sistem alat penukar kalor yaitu:

Tahanan termal di bagian dalam pipa ( $R_i$ )

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{h_i \pi r_i} \quad (1)$$

dimana,

$h_i$  : koefisien perpindahan kalor dalam pipa ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$r_i$  : jari-jari dalam pipa (m)

$A_i$  : luas selubung dalam pipa ( $m^2$ )

Tahanan termal pipa ( $R_s$ )

$$R_s = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2 \pi k_p L} \quad (2)$$

dimana,

$d_o$  : diameter luar pipa (m)

$d_i$  : diameter dalam pipa (m)

$L$  : panjang pipa (m)

$k_p$  : konduktivitas termal pipa ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

Tahanan termal bagian luar pipa ( $R_o$ )

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o} = \frac{1}{h_o 2\pi r_o} \quad (3)$$

dimana,

$h_o$  : koefisien perpindahan kalor luar pipa ( $W/m^2\text{°C}$ )

$r_o$  : jari-jari luar pipa (m)

$A_o$  : panjang pipa (m)

$k_p$  : luas selubung luar pipa ( $m^2$ )

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan luar ( $U_o$ )

$$U_o = \frac{1}{[R_1 \times A_o / A_i] + [A_o \times R_S] + [R_o]} \quad (4)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan luar ( $U_i$ )

$$U_i = \frac{1}{[R_o \times A_i / A_o] + [A_i \times R_S] + [R_i]} \quad (5)$$

### 2.8. Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD)

Pada umumnya, suhu fluida dalam penukar kalor tidak konstan dan berbeda di titik yang berbeda saat panas mengalir dari fluida yang lebih dingin. Oleh karena itu, laju aliran panas dalam penukar kalor dengan tahanan termal yang konstan akan bervariasi sepanjang lintasan dan tergantung pada beda suhu antara fluida panas dan dingin pada penampang tertentu. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung perpindahan kalor dalam penukar kalor pipa ganda sejajar atau berlawanan arah.

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \quad (6)$$

dimana,

$U$  : koefisien perpindahan kalor menyeluruh ( $w/m^2\text{°C}$ )

$A$  : Luas permukaan perpindahan kalor ( $m^2$ )

$\Delta T_m$  : Beda suhu rata-rata ( $\text{°C}$ )

LMTD untuk aliran searah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta T_m = \frac{(Th_1 - Tc_1) - (Th_2 - Tc_2)}{\ln \frac{(Th_1 - Tc_1)}{(Th_2 - Tc_2)}} \quad (7)$$

dimana,

$Tc_1$  : temperatur fluida dingin (air laut) masuk ( $\text{°C}$ )

$Tc_2$  : temperatur fluida dingin (air laut) keluar ( $\text{°C}$ )

$Th_1$  : temperatur fluida panas (gas buang) masuk ( $\text{°C}$ )

$Th_2$  : temperatur fluida panas (gas buang) keluar ( $\text{°C}$ )

### 2.9. Efektivitas alat penukar kalor

Efektifitas didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan kalor yang nyata dengan perpindahan kalor maksimal yang mungkin terjadi.

Efektifitas perpindahan panas dihitung menggunakan persamaan:

$$\epsilon = \frac{Q_{akt}}{Q_{maks}} \quad (8)$$

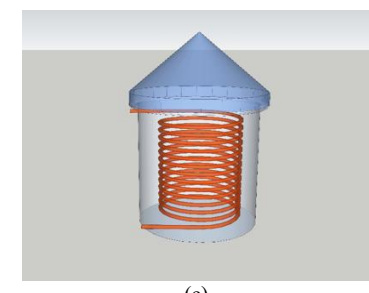
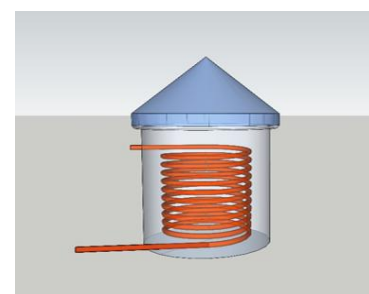
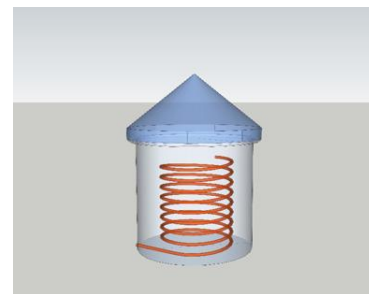
## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Lokasi penelitian

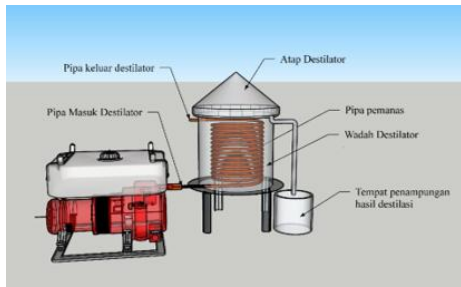
Penelitian dilakukan di Laboratorium Permesinan Kapal dan Laboratorium Sistem Bangunan Laut, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

### 3.2. Pembuatan prototipe distilator

Langkah awal dalam pembuatan prototipe distilator adalah dengan membuat desain dengan software SketchUp. Dimensi prototipe yang didesain memiliki bentuk tabung dengan tinggi 21 cm diameter 22 cm, panjang pipa pemanas dengan variasi 5, 7, dan 9 m (Gambar 1 dan 2) dan memiliki diameter 8 mm serta penutup distilator yang berbentuk kerucut. Adapun perbedaan variasi panjang pipa pada prototipe distilator ini ialah untuk memperoleh hasil yang optimal.



Gambar 1. Prototipe (a) 5 m, (b) 7 m, (c) 9 m



Gambar 2. Desain prototype dengan mesin

Selanjutnya prototype dibuat dan dirakit seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan prototype

### 3.3. Alat dan bahan

Dalam pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini diperlukan (Gambar 4).

- Merk Mesin : Starke Prima
- Tipe Mesin : 4 Tak
- Model : GX 420
- Rpm : 3600
- Daya Mesin : 16 HP
- Torsi : 29.3 N.m
- Kapasitas Tangki BB : 6,5 Liter
- Dimensi Utama : 530 x 490 mm x 510 mm
- Jumlah : 1 Unit



Gambar 4. Mesin stake prima

Adapun alat yang digunakan dalam pengambilan data menggunakan tachometer, thermometer gas buang, thermometer suhu air, stopwatch, dan gelas ukur.

### 3.4. Tahapan pengujian prototype

Dalam pengujian prototype yang dilakukan pada penelitian ini, tahap awal yang dilakukan adalah menyiapkan peralatan pengambilan data serta air laut sebagai bahan proses destilasi. Prototype kemudian dipasang pada mesin, selanjutnya air laut dimasukkan ke dalam wadah distilator. Mesin dioperasikan sebagai sumber panas melalui gas buang yang dihasilkan.

Selama pengujian, dilakukan pengukuran putaran mesin menggunakan tachometer dengan variasi putaran 1000 rpm, 1300 rpm, dan 1500 rpm. Selain itu, suhu gas buang pada pipa inlet dan outlet prototype diukur menggunakan termometer setiap 15 menit. Pengukuran suhu air di dalam wadah juga dilakukan menggunakan termometer air dengan interval waktu yang sama. Volume air tawar yang dihasilkan dari proses destilasi kemudian diukur sebagai parameter utama kinerja alat.

Prosedur pengambilan data yang sama diterapkan pada prototype lainnya, dengan perbedaan pada panjang pipa pemanas yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi panjang pipa terhadap hasil destilasi.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil pengujian prototype distilator

Pada setiap pengujian akan menggunakan beberapa variasi panjang pipa distilator. Kemudian dimasukkan air laut sebanyak 5.4 l kedalam wadah prototype, dengan putaran mesin 1000, 1300, dan 1500 selama 60 menit, dan tiap 15 menit dilakukan pengambilan data. Adapun data awal suhu air laut 28°C. Pengujian dilakukan selama 60 menit. Hasil pengujian berupa suhu dan volume air hasil destilasi ditunjukkan pada Tabel 2-7 untuk semua prototype.

Tabel 1. Hasil data pengujian prototype 1 panjang pipa 5m

Waktu (Menit)	1000 Rpm			1300 Rpm			1500 Rpm		
	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)
15	174	65	45	220	75	53	248	78	57
30	178	68	49	228	77	56	253	80	63
45	180	71	54	235	82	64	257	84	67
60	187	74	58	240	85	68	260	86	73

Tabel 3. Hasil data volume air destilasi pipa 5 m

RPM	V <sub>destilasi</sub> (ml)
1000	8
1300	13
1500	21

Tabel 4. Hasil data pengujian prototype 2 panjang pipa 7 m

Waktu (Menit)	1000 Rpm			1300 Rpm			1500 Rpm		
	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)	Th <sub>i</sub> (°c)	Th <sub>o</sub> (°c)	Tc <sub>o</sub> (°c)
15	174	62	49	220	72	57	248	74	62
30	178	64	52	228	75	63	253	76	68
45	180	68	56	235	77	67	257	79	71
60	187	72	61	240	81	70	260	83	76

Tabel 2. Hasil data volume air destilasi pipa 7 m

RPM	V <sub>destilasi</sub> (ml)
1000	15
1300	27
1500	43

Tabel 6. Hasil data pengujian prototipe 3 panjang pipa 9 m

Waktu (Menit)	1000 Rpm			1300 Rpm			1500 Rpm		
	Th <sub>i</sub> (°C)	Th <sub>o</sub> (°C)	Tc <sub>o</sub> (°C)	Th <sub>i</sub> (°C)	Th <sub>o</sub> (°C)	Tc <sub>o</sub> (°C)	Th <sub>i</sub> (°C)	Th <sub>o</sub> (°C)	Tc <sub>o</sub> (°C)
15	174	56	53	15	174	56	53	15	174
30	178	59	56	30	178	59	56	30	178
45	180	62	59	45	180	62	59	45	180
60	187	65	63	60	187	65	63	60	187

Tabel 7. Hasil data volume air destilasi pipa 9 m

RPM	V <sub>destilasi</sub> (ml)
1000	26
1300	50
1500	70

Berdasarkan Tabel 2-7 volume hasil destilasi yang paling besar yaitu pada panjang pipa 9 m sebesar 70 ml dengan putaran mesin 1500 lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya dengan volume hasil destilasi sebesar 65 ml dengan putaran dan diameter pipa pemanas yang sama.

#### 4.2. Analisa perhitungan perpindahan panas distilator

Hasil analisa perhitungan perpindahan panas distilator ditunjukkan pada Tabel 8-10.

Tabel 8. hasil pengujian prototipe distilator pada putaran 1000 RPM

Variable	P1	P2	P3
Thi (°C)	179,75	179,5	179,5
Tho (°C)	69,5	66,5	60,5
Tci (°C)	28	28	28
Tco (°C)	51,5	54,5	57,75
Ao m <sup>2</sup>	0,13	0,18	0,23
Ai (m <sup>2</sup> )	0,12	0,16	0,21
Ro (°C/W)	0,558	0,401	0,313
Rs (°C/W)	5,89 x 10 <sup>-6</sup>	4,21 x 10 <sup>-6</sup>	3,27 x 10 <sup>-6</sup>
Ri (°C/W)	0,250	0,178	0,139
Uo (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,210	1,689	2,165
Ui (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,300	1,814	2,325
Tm (°C)	62,74	55,08	37,91
Qo (W)	9,54	16,36	18,55
Qi (W)	9,54	16,36	18,55
ε (%)	48,38	53,38	74,23

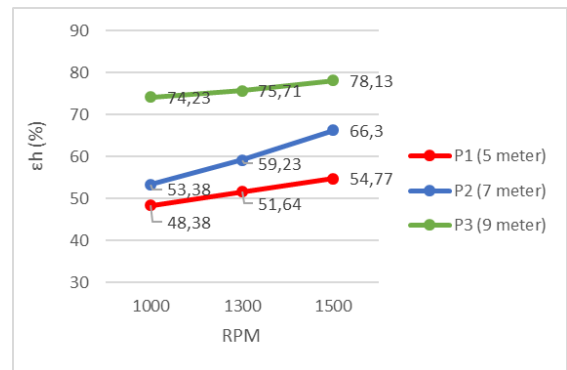
Tabel 9. hasil pengujian prototipe distilator pada putaran 1300 RPM

Variable	P1	P2	P3
Thi (°C)	230,75	230,75	230,75
Tho (°C)	79,75	76,25	69
Tci (°C)	28	28	28
Tco (°C)	60,25	64,25	68
Ao m <sup>2</sup>	0,13	0,18	0,23
Ai (m <sup>2</sup> )	0,12	0,16	0,21
Ro (°C/W)	0,523	0,373	0,290
Rs (°C/W)	5,89 x 10 <sup>-6</sup>	4,21 x 10 <sup>-6</sup>	3,27 x 10 <sup>-6</sup>
Ri (°C/W)	0,182	0,130	0,101
Uo (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,394	1,951	2,508
Ui (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,496	2,095	2,694
Tm (°C)	78,26	65,34	40,76
Qo (W)	13,70	22,42	23,11
Qi (W)	13,70	22,42	23,11
ε (%)	51,64	59,23	75,71

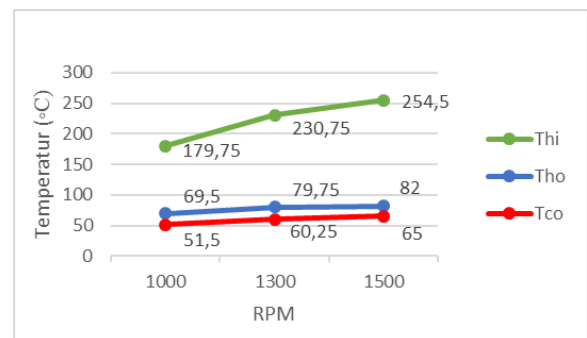
Tabel 10. Hasil pengujian prototipe distilator pada putaran 1500 RPM

Variable	P1	P2	P3
Thi (°C)	254,5	254,5	254,5
Tho (°C)	82	78	74
Tci (°C)	28	28	28
Tco (°C)	65	69,25	73
Ao m <sup>2</sup>	0,13	0,18	0,23
Ai (m <sup>2</sup> )	0,12	0,16	0,21
Ro (°C/W)	0,492	0,352	0,274
Rs (°C/W)	5,89 x 10 <sup>-6</sup>	4,21 x 10 <sup>-6</sup>	3,27 x 10 <sup>-6</sup>
Ri (°C/W)	0,135	0,097	0,075
Uo (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,568	2,193	2,822
Ui (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,684	2,355	3,031
Tm (°C)	80,90	66,92	41,58
Qo (W)	15,93	25,80	26,53
Qi (W)	15,93	25,80	26,53
ε (%)	54,77	66,30	78,13

Untuk memudahkan analisa pada Tabel 8-10, maka di plot dalam bentuk grafik (Gambar 5).



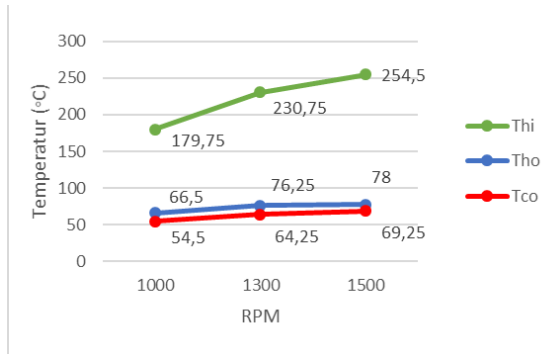
Gambar 5. Hubungan efektivitas (ε) Vs putaran mesin selama 60 menit



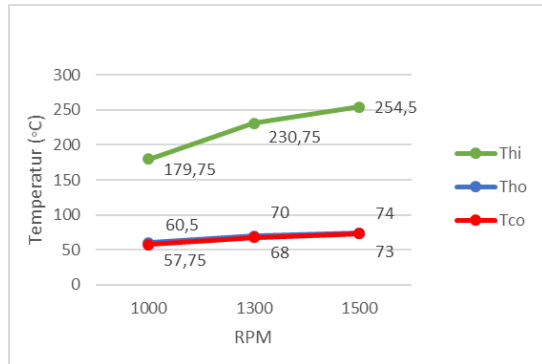
Gambar 6. Hubungan Thi, Tho dan Tco dengan panjang pipa 5 m Vs putaran mesin

Dapat dilihat pada Gambar 5, nilai efektivitas alat penukar kalor yang dihasilkan oleh distilator P3 (9 m) dengan Putaran mesin yang sama lebih besar dibandingkan dengan P2 (7 m) dan P1 (5 m). Hal ini disebabkan karena panjang pipa 9 m memiliki area permukaan yang lebih besar dan juga mempengaruhi waktu kontak antara energi panas gas buang dan air

dalam distilator dibandingkan panjang pipa pemanas 7 m dan 5 m dengan putaran mesin yang sama. Sehingga semakin panjang pipa pemanas yang digunakan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan air untuk berinteraksi dengan gas buang dalam menyerap panas.

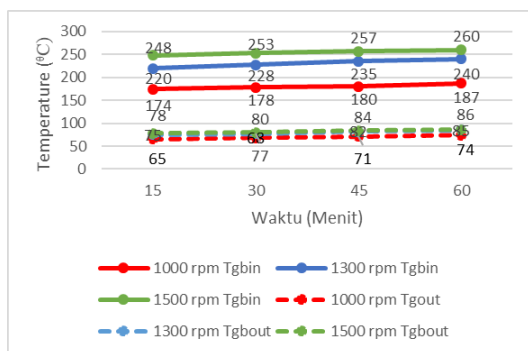


Gambar 7. Hubungan Thi, Tho dan Tco dengan panjang pipa 7 m Vs putaran mesin

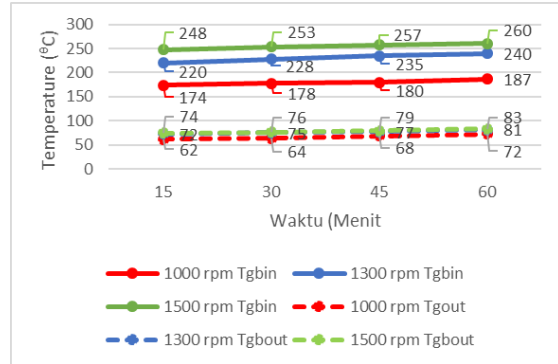


Gambar 8. Hubungan Thi, Tho dan Tco dengan panjang pipa 9 m Vs putaran mesin

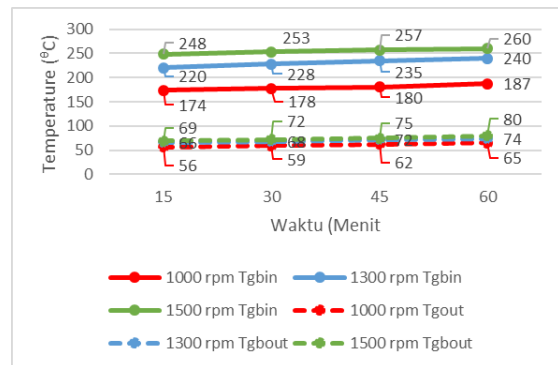
Berdasarkan Gambar 6, 7, dan 8 diperoleh bahwa temperature gas buang yang masuk distilator akan naik seiring bertambahnya RPM berbeda halnya dengan suhu gas buang keluar akan turun seiring bertambahnya panjang pipa pemanas distilator. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan waktu kontak pada pipa pemanas semakin bertambah dan area permukaan lebih besar yang mengakibatkan energi kalor yang diserap air yang didestilasi juga meningkat.



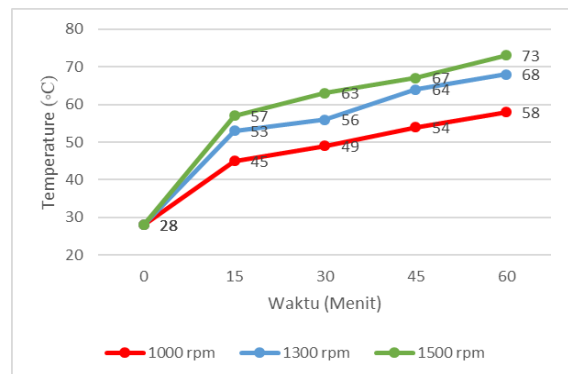
Gambar 9. Hubungan temperatur gas buang dengan panjang pipa 5 m Vs waktu



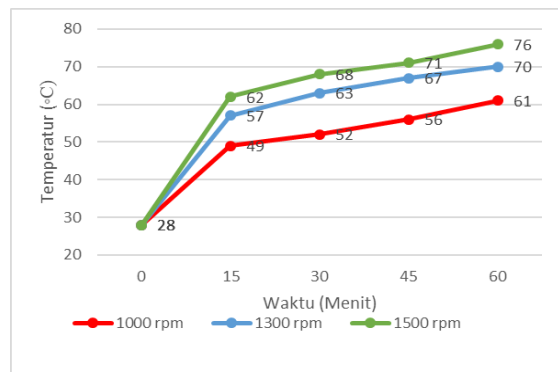
Gambar 10. Hubungan temperatur gas buang dengan panjang pipa 7 m Vs waktu



Gambar 11. Hubungan temperatur gas buang dengan panjang pipa 9 m Vs waktu

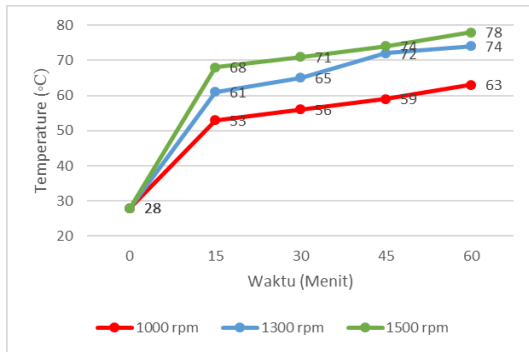


Gambar 12. Hubungan temperatur air laut pada panjang pipa 5 meter Vs waktu



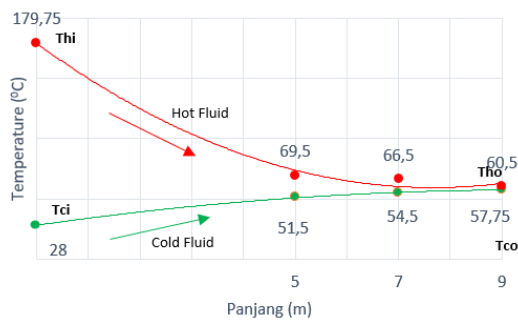
Gambar 13. Hubungan temperatur air laut pada panjang pipa 7 meter Vs waktu

Berdasarkan Gambar 9, 10 dan 11 diperoleh bahwa temperature gas buang yang masuk distilator akan naik seiring berjalannya waktu baik itu pada panjang pipa 5, 7, dan 9 m. Berbeda halnya pada temperature gas buang yang keluar pada distilator akan mengalami penurunan pada pertambahan panjang pipa pemanas yang disebabkan oleh bertambahnya luas selubung pipa yang mengakibatkan waktu kontak yang lebih lama dan menurunkan suhu gas buang yang keluar.

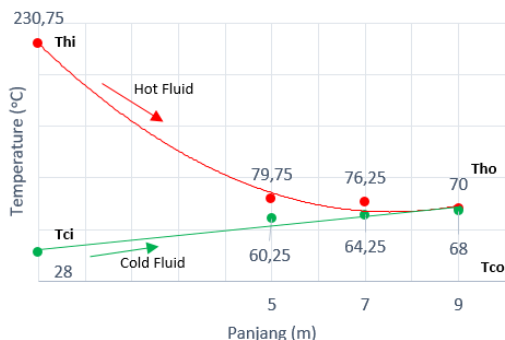


Gambar 14. Hubungan temperatur air laut pada panjang pipa 9 meter Vs waktu

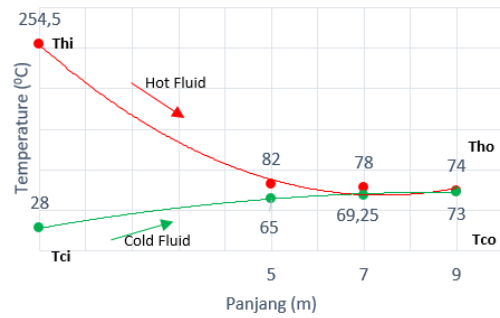
Berdasarkan Gambar 12, 13, dan 14 diperoleh bahwa temperature suhu air yang didestilasi akan naik seiring berjalannya waktu baik itu pada panjang pipa 5, 7, dan 9 m. Hal itu disebabkan oleh gas buang yang melewati pipa pemanas meningkat seiring bertambahnya RPM mesin yang mengakibatkan energi yang dilepaskan semakin tinggi.



Gambar 15. Hubungan perbedaan suhu dengan panjang pipa pada putaran 1000 RPM

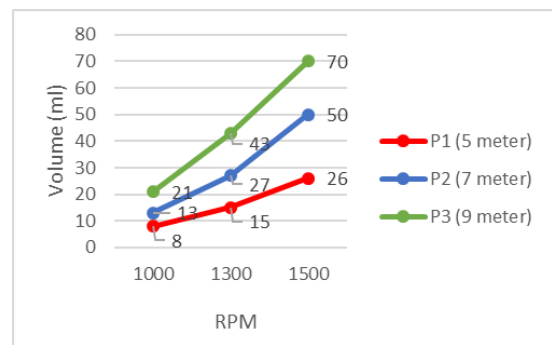


Gambar 16. Hubungan perbedaan suhu dengan panjang pipa pada putaran 1300 RPM



Gambar 17. Hubungan perbedaan suhu dengan panjang pipa pada putaran 1500 RPM

Berdasarkan Gambar 15, 16, dan 17 diperoleh bahwa grafik tersebut menunjukkan grafik aliran parallel. pada awal penukar panas, fluida panas memiliki suhu tinggi dan fluida dingin memiliki suhu rendah. Ketika fluida mulai bertukar panas, suhu fluida panas mengalami penurunan dan suhu fluida dingin mengalami kenaikan, tetapi perbedaan suhu menjadi lebih kecil menuju akhir penukar panas. Panjang pipa pemanas mempengaruhi banyaknya energi yang dapat ditukar antara kedua fluida.



Gambar 18. Hubungan volume air destilasi Vs panjang pipa pemanas selama 60 menit

Dapat dilihat pada Gambar 18, banyaknya air destilasi yang dihasilkan P3 (9 m) dengan RPM 1500 menghasilkan 70 ml lebih besar dibandingkan P2 (7 m) menghasilkan 43 ml dan P1 (5 m) menghasilkan 21 ml, karena area permukaan yang lebih besar sehingga waktu kontak energi panas gas buang dan air laut dalam distilator lebih lama. Suhu gas buang juga berpengaruh terhadap hasil destilasi dimana semakin besar suhu yang masuk maka pelepasan energi panas lebih besar ke air laut dan menghasilkan uap yang lebih banyak.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa panjang pipa berpengaruh terhadap jumlah hasil destilasi yang dihasilkan oleh distilator. Pada variasi panjang pipa 5 m diperoleh hasil destilasi sebesar 26 ml, pada panjang pipa 7 m sebesar 50 ml, dan pada panjang

pipa 9 m sebesar 70 ml. Terjadi peningkatan hasil destilasi seiring dengan bertambahnya panjang pipa pada diameter yang sama, yaitu 0,8 cm. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya luas permukaan perpindahan panas (luas selubung pipa), yang berdampak pada meningkatnya laju perpindahan panas, sehingga suhu air laut meningkat dan menghasilkan volume destilasi yang lebih besar.

Hasil destilasi tertinggi diperoleh pada variasi panjang pipa pemanas sebesar 9 meter, dengan volume destilasi sebesar 70 ml pada putaran mesin 1500 rpm selama 60 menit. Pada kondisi ini, laju perpindahan panas yang terjadi sebesar 26,53 W dengan efektivitas sistem sebesar 78,13%.

### Referensi

- [1] H. Effendi, *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius, 2003.
- [2] W. Arismunandar, *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB Press, 1988.
- [3] A. Nugroho, "Uraian Umum tentang Teknologi Desalinasi," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 6, no. 2, 2004.
- [4] N. I. Said, "Aplikasi Teknologi Osmosis Balik untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum di Kawasan Pesisir atau Pulau Terpencil," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 15–34, 2003.
- [5] L. Baride and Y. E. K. Maturbongs, "Desain Distilator Dua Atap Miring dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel," *J. INTEK*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [6] A. Mahmudi, "Kajian Potensi dan Pemanfaatan Panas Buang Mesin pada Kendaraan Bermotor," Politeknik Negeri Bandung, 2012.
- [7] J. P. Holman, *Perpindahan Kalor*, 6th ed. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [8] R. Tirtoatmodjo, "Pemanfaatan Energi Gas Buang Motor Diesel Stasioner untuk Pemanas Air," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 24–29, 1999.
- [9] S. Rahardjo, J. Al Fijar, and Purnomo, "Peluang Pemanfaatan Panas Gas Buang Mesin Diesel Untuk Memanasi Air," *Pros. Semin. Nas. Hasil-Hasil Penelit.*, 2004.
- [10] R. M. O. S. J. Wright, *Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1990.