

(Jurnal ini memuat tulisan hasil reuiv, penelitian, dan pemikiran tentang bidang teknik mesin dan aplikasinya)

RANCANG BANGUN ALAT DESALINASI AIR LAUT SKALA LAB TIPE *MULTI STAGE FLASH*

Dwi Rahmalina^{1*}, Erlanda Augupta Pane², Raka Chandra Herdyana³, Dio Pratama Dirgahayu Putra⁴, Reza Abdu Rahman⁵

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, DKI Jakarta, 12640, Indonesia

¹drahmalina@univpancasila.ac.id

²erlanda.pane@univpancasila.ac.id

³rakaherdyana21@gmail.com

⁴diojakanamio77@gmail.com

⁵reza.a@univpancasila.ac.id

Abstrak— Indonesia merupakan negara maritim, dimana wilayah perairan lebih luas dibandingkan wilayah daratan karena terdiri dari beberapa pulau. Luasnya wilayah perairan khususnya laut memotivasi untuk desalinasi dengan memanfaatkan air laut yang berlimpah. Desalinasi merupakan proses pengolahan air untuk memisahkan garam dari larutan garam untuk menghasilkan air minum atau air yang rendah TDS nya. Teknologi yang digunakan menggunakan *Thermal Energy* sebagai sumber panas dengan menggunakan prinsip *Phase Change Material* (PCM). Penelitian ini menggunakan metode perancangan Pahl-Beitz. Hasil rancangan dibuat berdasarkan nilai varian pada varian 1 adalah 3,36, varian 2 adalah 3,22 dan varian 3 adalah 3,14, dan mendapatkan nilai terpilih pada varian 1 dengan bobot nilai 3,36. Variant yang dipilih dilakukan uji kekuatan terhadap panas pada komponen untuk memastikan aman dan dapat dilakukan tahap manufaktur. Proses pembuatan alat desalinasi air laut dilakukan dengan metode perancangan *Design For Manufacture and Assembly* (DFMA), setiap proses pengerjaan alat mengacu pada *Standard Operation Procedure* (SOP) yang sudah ditentukan dan proses perakitan dikerjakan secara berurutan sesuai menurut *Operation Process Chart* (OPC). Pembuatan alat desalinasi air laut dilakukan dengan banyak proses, mulai pemotongan bahan hingga pengelasan dan *Assembly* komponen. Data hasil analisa perhitungan pada pipa, diperoleh nilai tegangan aksial sebesar 3811,96kN/m². Hasil perhitungan tegangan akibat tekanan dalam pipa sebesar 317,5kN/m² tegangan sirkumferensial sebesar 635kN/m². Ketebalan minimum pada pipa sebesar 2,0875mm. perhitungan kecepatan aliran pipa bundar sebesar 9,96m/s. Komponen pada alat ini terdiri dari alat desalinasi air laut 41 tahapan proses pengerjaan.

Kata Kunci— Desalinasi ; *Multi Stage Flash* ; *Phase Change Material* (PCM)

Abstract— Indonesia is a maritime country, where the water area is wider than the land area because it consists of several islands. The large area of water, especially the sea, motivates desalination by utilizing abundant sea water. Desalination is a water treatment process to separate salt from a salt solution to produce drinking water or water with low TDS. The technology used uses *Thermal Energy* as a heat source using the *Phase Change Material* (PCM) principle. This research uses the Pahl-Beitz design method. The results of the design are based on the value of the variant in variant 1 is 3.36, variant 2 is 3.22 and variant 3 is 3.14, and the selected value is variant 1 with a weight value of 3.36. The selected variant is tested for strength against heat on the components to ensure it is safe and can be carried out in the manufacturing stage. The process of making seawater desalination tools is carried out using the *Design For Manufacture and Assembly* (DFMA) design method, each process of working on the tool refers to the *Standard Operation Procedure* (SOP) that has been determined and the assembly process is carried out sequentially according to the *Operation Process Chart* (OPC). The manufacture of seawater desalination equipment is carried out by many processes, from material cutting to welding and component assembly. The data from the calculation analysis on the pipe, obtained the axial stress value of 3811.96kN/m². The results of the calculation of stress due to pressure in the pipe of 317.5kN/m² circumferential stress of 635kN/m². The minimum thickness of the pipe is 2.0875mm. the calculation of the circular pipe flow velocity is 9.96m/s. The components in this tool consist of a seawater desalination tool with 41 stages of the process.

Keywords— Desalination ; *Multi Stage Flash* ; *Phase Change Material* (PCM)

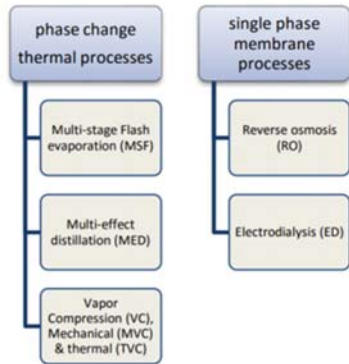
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim, dimana wilayah perairan lebih luas dibandingkan wilayah daratan karena terdiri dari beberapa pulau. Namun hal ini tidak menjamin akan sumber air bersih, karena masih banyak warga pesisir yang kesulitan mendapat sumber air bersih untuk kebutuhan sehari-hari. Khusus pada pedesaan di pesisir pantai yang kesulitan

mendapat sumber air bersih meskipun terdapat sumber air laut yang melimpah, hal ini menimbulkan inovasi untuk mencoba teknologi baru yang diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan sumber air bersih tersebut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka diperlukan alat desalinasi ini diperlukan untuk mengubah air laut menjadi air tawar dimana air yang dihasilkan dari proses desalinasi dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Sistem desalinasi yang lebih efisien dengan menggunakan energi terbarukan yaitu sumber

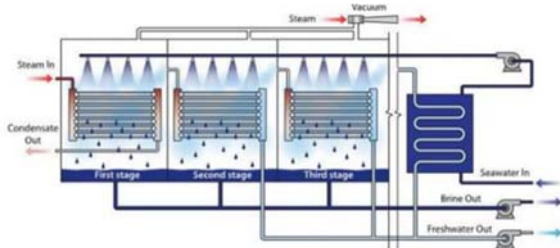
panas dari sinar matahari. Sinar matahari yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan limbah sangat efektif untuk alat desalinasi sehingga sangat berpotensi baik terhadap lingkungan dan keberhasilan alat.

Sistem desalinasi terbagi menjadi dua kategori yaitu desalinasi termal yang menggunakan panas untuk menguapkan air bersih-air laut, dan desalinasi membran (*reverse osmosis*), yang menggunakan tekanan tinggi dari pompa untuk memisahkan air bersih dari air laut [1]. Dua sistem teknologi desalinasi tersebut memiliki keuntungan dan kelebihan tersendiri dalam pengoperasiannya. Proses teknologi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr 1. Teknologi Desalinasi Utama [1]

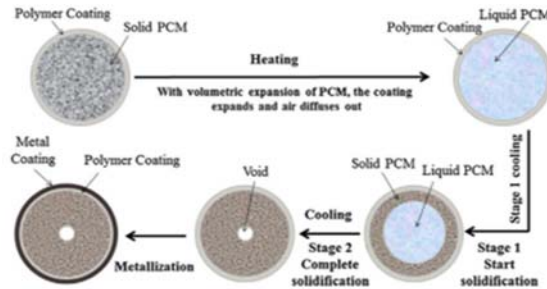
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode desalinasi teknologi *Multi Stage Flash* (MSF) yang termasuk ke dalam metode desalinasi termal. Prinsip pada MSF adalah kolom berseri yang menghasilkan uap dari umpan air laut. Uap dipanaskan dan dikondensasi dengan penukar panas melalui pipa tertutup [2]. Kelebihan dari MSF adalah tidak ada risiko penurunan transfer panas dan kemudahan untuk mengontrol korosi dibandingkan proses MED. Namun, rasio daya guna MSF rendah dibandingkan proses lain karena konsumsi energi yang lebih tinggi [3]. Metode MSF banyak dipilih karena desain konsep sistem konversi energi yang menggunakan energi termal sebagai energi panasnya, konsepnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gbr 2. Skema Teknologi Desalinasi Thermal [1]

Metode ini juga menggunakan *Phase Change Material* (PCM) sebagai metode penyimpan panas sementara dalam bentuk substansi yang mampu melepaskan atau menyerap energi termal selama proses peleburan dan pematatan.

Phase Change Material (PCM) adalah hasil rekayasa ilmiah untuk penyimpanan kalor laten. Panas diserap ketika bahan yang berubah fasa dari cair ke padat [4]. Penyimpanan kalor PCM memiliki keunggulan pada kepadatan material karena *heat of fusion* pada proses peleburan lebih besar daripada kalor sensibel atau panas spesifiknya. Metode PCM menggunakan material paraffin yang memiliki kondisi temperature konstan, dan memiliki kapasitas penyimpanan thermal yang besar serta harganya ekonomis [5]. Gambar 3 menunjukkan proses terjadinya enkapsulasi pada PCM.



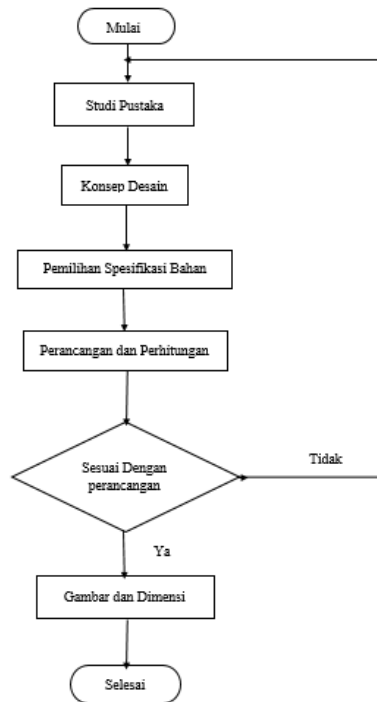
Gbr 3. Proses Enkapsulasi [5]

Sumber energi thermal dari PCM menggunakan *composite wax* yaitu parafin yang dapat-meningkatkan kemampuan PCM sebagai sumber penyimpan energi termal panas yang dihasilkan dari *solar collector*.

Solar collector atau CSP ini sendiri memiliki prinsip kerja dengan menyerap panas matahari menggunakan *reflector* berbentuk parabolik untuk memfokuskan cahaya matahari menuju *receiver* yang terletak pada sepanjang garis fokus dari parabola itu sendiri. Panas matahari dipantulkan oleh *reflector* kemudian diterima oleh absorber berupa pipa berbentuk spiral dimana pada pipa spiral tersebut terdapat fluida sebagai *thermal storage*. Penerapan energi *thermal storage* tersebut membuat aliran fluida didorong oleh pompa agar selalu tersalurkan panas yang diserap oleh fluida [6]. Panas matahari yang diterima oleh *receiver* pipa spiral membuat fluida diteruskan untuk pemanfaatan dalam menghasilkan air bersih seperti pada contoh kasus desalinasi air laut untuk memanfaatkan energi thermal yang digunakan untuk memanaskan air laut guna menciptakan uap air yang dapat dimanfaatkan sebagai proses desalinasi itu sendiri.

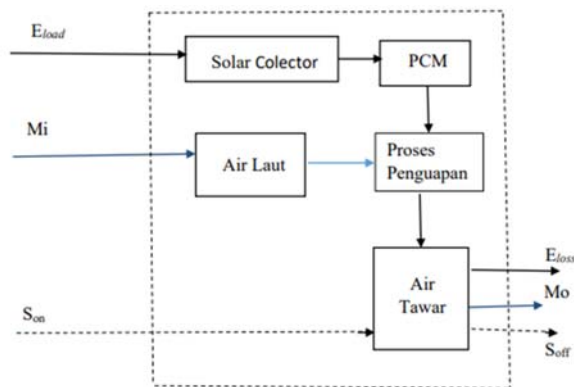
METODE

Perancangan alat desalinasi dalam melakukan konsep menggunakan diagram alir yang dapat ditunjukkan sesuai dengan Gambar 4.



Gbr 4. Diagram Alir Perancangan

Perancangan sistem kerja alat desalinasi tersebut juga dibuat dalam bentuk blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 5. Sistem kerja alat desalinasi air laut ini diciptakan dalam bentuk skala lab.

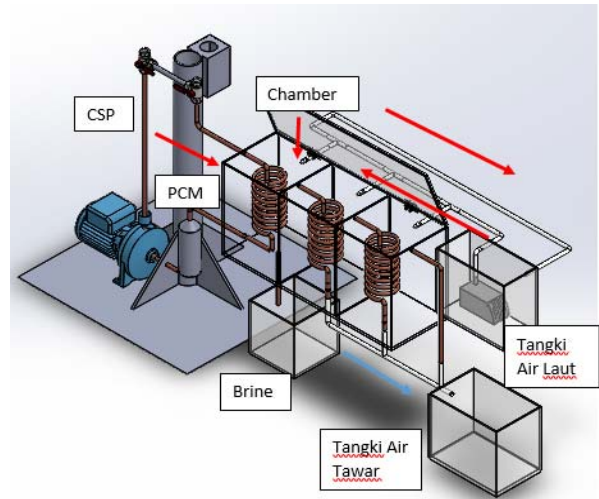


Gbr 5. Blok Diagram

Berdasarkan Gambar 5 dapat menjelaskan keterangan fungsi dari setiap blok komponen antara lain Sumber energi dari alat desalinasi ini berasal dari sumber panas matahari yang diserap oleh *solar collector*, kemudian panas tersebut diteruskan melalui pipa *tube s-cooper* yang berisi fluida untuk menyerap panas menggunakan prinsip dari PCM sebagai penyimpan energi thermal untuk proses penguapan pada air laut. Air laut didorong oleh pompa menuju chamber yang terdapat *tube s-cooper* berbentuk *coil* dimana air keluar melalui *sprayer* diharapkan dapat mengenai hampir seluruh permukaan coil

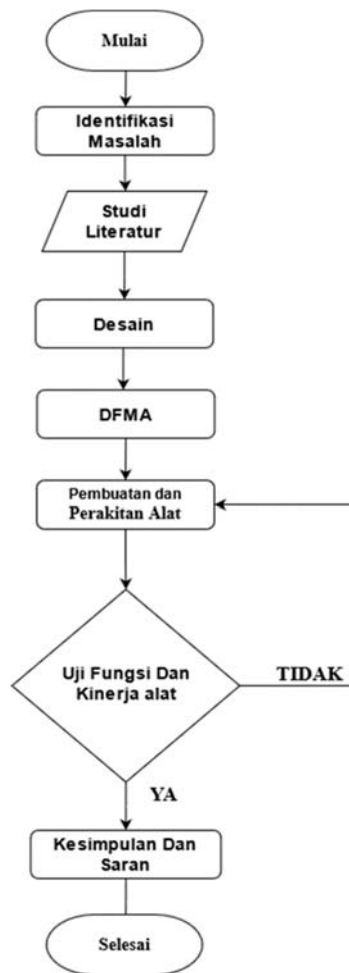
yang panas sehingga terjadi proses penguapan. Uap air kemudian diteruskan menuju *chamber* selanjutnya dan aliran uap ditampung pada tangka penampung berupa air tawar.

Selanjutnya untuk perancangan dari alat desalinasi yang akan dibuat. Pada penelitian ini, alat desalinasi memiliki dimensi 750 mm × 250 mm × 350 mm. Berikut merupakan hasil rancangan dari desain alat desalinasi air laut skala lab secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gbr 6. Skema Perancangan Alat

Proses manufaktur dilakukan setelah proses perancangan alat desalinasi. Diagram alir penelitian untuk tahap manufaktur alat desalinasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gbr 7. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan Gambar 7, dijelaskan setiap kegiatan dalam proses rancangan alat desalinasi air laut skala lab dengan tipe *multi stage flash*. Identifikasi masalah tahapan mempelajari masalah yang dihadapi dan menemukan solusi dari permasalahan yang ada. Studi literatur tahapan untuk mencari referensi teori yang sesuai dengan permasalahan pada alat desalinasi air laut. Desain tahapan untuk merancang sebuah alat desalinasi air laut sebelum dilakukannya proses manufaktur. Pengertian DFMA merupakan sebagai desain suatu produk yang mampu membantu dalam suatu proses manufaktur, proses perakitan sehingga bisa mengurangi waktu perakitan dengan komponen lain agar menjadi suatu produk, tanpa harus mengurangi fungsi dari alat yang dibuat tersebut. Proses *assembly* komponen alat dilakukan setelah proses manufaktur. Pada tahap *assembly* dilakukan proses penyusunan dan penyatuan beberapa bagian komponen menjadi satu alat yang mempunyai fungsi tertentu. Tahap akhir pada penelitian ini adalah tahapan uji fungsi dan kinerja alat desalinasi air laut yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan alat tersebut yang dioperasikan pada kondisi optimum. Kesimpulan diperoleh dari hasil perancangan dan data-data pada analisa

pengujian alat. Data tersebut dapat dijadikan tolok ukur untuk mengetahui fungsi dari alat tersebut apakah baik atau tidaknya.

HASIL DAN DISKUSI

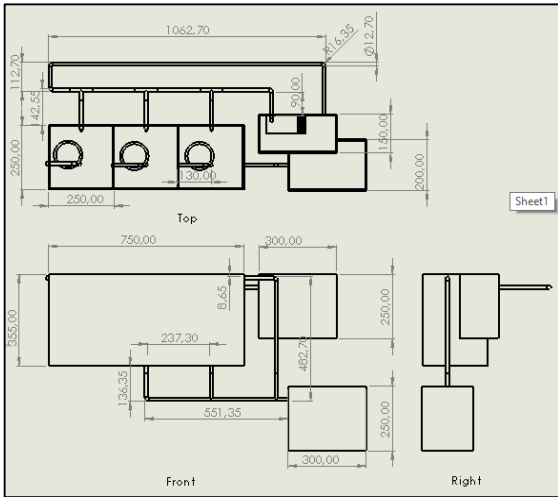
Perancangan

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi dari alat desalinasi yang dirancang pada penelitian ini.

Tabel 1 Spesifikasi Alat

Type	<i>Multi Stage Flash</i> dengan energy thermal
Bahan Konstruksi	Akrilik 6mm
Material Rangka	Besi siku 4x4 tebal 3mm
Material Heat Exchanger	<i>Tube S-Cooper</i> ½” tebal 6mm
Kapasitas tangki	Tangki air laut = 7 liter Tangki air tawar = 5 liter
Power Pompa	220-240V 50/60Hz 15W F.Max 1800L/H
Dimensi	Panjang : 1300 mm Lebar : 400 mm Tinggi : 700 mm
Output	227ml per jam

Tabel 1 menjelaskan bahwa alat desalinasi skala lab yang dirancang menggunakan tipe *multi stage flash* dengan *energy thermal* yang terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 6 mm. Proses manufaktur dari alat tersebut juga menggunakan bahan besi siku sebesar 4x4cm dengan ketebalan sebesar 3mm, dimana besi siku tersebut digunakan sebagai penyangga alat desalinasi skala lab tersebut. Proses desalinasi air laut terjadi dengan mengalirkan aliran air laut di dalam pipa penukar kalor, yang mana pada rancangan alat desalinasi ini menggunakan pipa penukar kalor yang berasal dari material *tube s-cooper* ½” dengan ketebalan sebesar 6mm. Kapasitas tangki air yang digunakan sebagai tempat penampungan air laut yang dilakukan proses desalinasi, dan sebagai tempat air tawar sebagai hasil proses desalinasi memiliki ukuran kapasitas masing-masing sebesar 7 liter dan 5 liter. Debit aliran keluaran air tawar dari alat desalinasi menuju tempat penampungan air tawar diketahui sebesar 227ml/jam. Ukuran dimensi total dari alat desalinasi tipe *multi stage flash* memiliki panjang sebesar 1300mm, lebar sebesar 400mm, dan tinggi sebesar 700mm. Rancangan desain alat desalinasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gbr 8. Detail Dimensi Alat Desalinasi

Gambar 8 menjelaskan detail ukuran dari dimensi alat desalinasi dengan proyeksi 3 pandangan yaitu pandangan depan, pandangan atas dan pandangan samping (kanan).

Perhitungan Tegangan Pipa

Prinsip kerja dasar dari desain alat desalinasi memanfaatkan fluida panas dari parafin cair pada pipa untuk menyalurkan panas ke dalam chamber berisi air laut untuk memanaskan air laut tersebut sehingga uap dapat mengalir menuju chamber berikutnya. Hal ini memerlukan perhitungan tegangan pada pipa untuk memastikan kekuatan dari pipa yang digunakan.

a. Tegangan Aksial Pipa

Untuk mengetahui tegangan aksial dari pipa dengan tekanan fluida 2 bar dan diameter luar serta dalam adalah 12.7cm dan 10.7cm maka dapat dicari nilai tegangan aksial pipa

$$F_{ax} = P \cdot A$$

$$= 200 \text{ kN/m}^2 \times 0,898\text{m}^2$$

$$= 179,3 \text{ kN}$$

$$A_m = \frac{\pi}{4} (0,127^2 - 0,107^2)$$

$$= 0,00468\text{m}^2$$

$$\sigma_{ax} = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{179,3 \text{ kN}}{0,00468 \text{ m}^2} = 38311,96\text{kN/m}^2$$

b. Tegangan Akibat Tekanan Dalam Pipa (σ_{ip})

Tegangan yang terjadi pada pipa akibat tekanan yang terdapat di dalam pipa, perlu diperhitungkan kekuatan maksimal dari pipa dengan ukuran yang direncanakan.

$$\sigma_{ip} = \frac{P \cdot d_o}{4t}$$

$$= \frac{200 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,127 \text{ m}}{4 (0,02\text{m})}$$

$$= 317,5\text{kN/m}^2$$

c. Tegangan Sirkumferensial (*Hoop Stress*)

$$\sigma_H = \frac{P \cdot d_o}{2t}$$

$$= \frac{200 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,127 \text{ m}}{2t}$$

$$= 635\text{kN/m}^2 \text{ Menghitung Fleksibilitas Pipa}$$

d. Ketebalan Minimum Dinding Pipa

$$t = \frac{P \cdot D}{2(SEW + PY)}$$

$$= \frac{2 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \times 12,7\text{mm}}{2(20\text{psix}1\text{x}1 + (2\text{x}0,4))}$$

$$= 1,5875\text{mm}$$

$$t_m = t + c$$

$$= 1,5876\text{mm} + 0,5\text{mm}$$

$$= 2,0875\text{mm}$$

Jadi, syarat minimal dari tebal pipa PVC untuk air laut adalah 2,0875mm

Perhitungan Laju Aliran Pipa

Pada analisa *pressure drop* pada pipa bundar dengan metode *empiris*

$$\Delta P = \frac{f \left(\frac{L}{D}\right) \rho v^2}{2}$$

a. Kecepatan aliran pipa bundar

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{30}{\frac{\pi}{4} d^2} = 9,96\text{m/s}$$

Pada penelitian ini suhu air yang digunakan adalah 100°C sehingga

$$\rho = 906\text{kg/m}^3 \text{ dan } \mu = 1.005 \times 10^{-3} \text{N.s/m}^2$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{906 \times 9,96 \times 0,0127}{1,005 \times 10^{-3}} = 114,031$$

Sehingga factor gesekan (*f*) dapat dicari dalam diagram Moody *f* = 0,025

$$\Delta P = \frac{f \left(\frac{L}{D}\right) \rho v^2}{2} = \frac{0,025 \times \left(\frac{1}{12,7}\right) \times 906 \times 9,96^2}{2} = 176,83\text{Pa}$$

Pada aliran berkembang penuh, dicari dengan cara sebagai berikut :

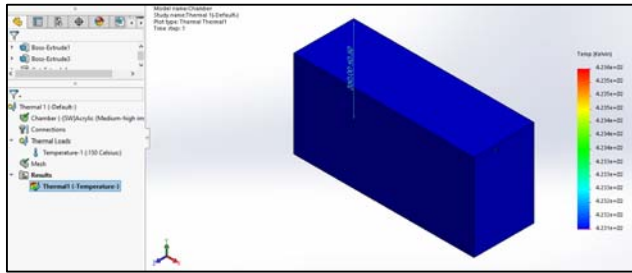
$$\frac{L_e}{D} = 4,4 Re^{1/6}$$

$$L_e = D 4,4 Re^{1/6} = 12,7 \times 4,4 \times 2285^{1/6} = 20,28\text{m}$$

Analisis Temperatur

Analisis *chamber* dilakukan dengan menggunakan *software solidworks 2018*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan material dengan memberikan temperatur dari dalam *chamber* sebesar 150°C.

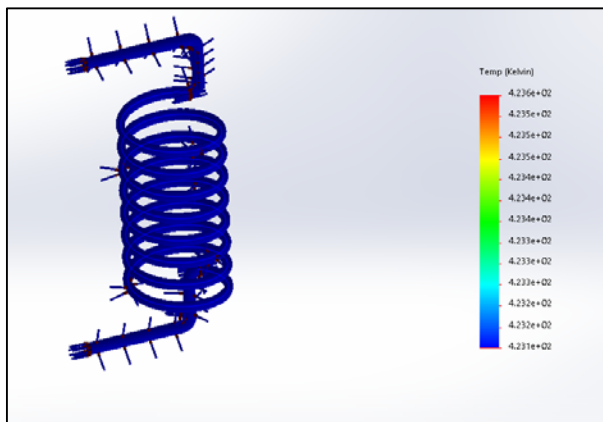
Chamber



Gbr 9. Hasil Analisa Temperatur

Analisis pada *software* pada Gambar 9 mendapat hasil bahwa chamber dari akrilik dengan tebal 6mm kuat menahan temperatur sebesar 150°C.

Tube-s cooper



Gbr 10. Hasil Analisa Temperatur

Setelah diberikan temperature pada *coil*, selanjutnya analisis pada *software* maka akan mendapat hasil bahwa coil *tube-s cooper* kuat menahan temperature sebesar 150°C sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Proses Manufaktur

Proses *assembly* secara keseluruhan pada alat desalinasi air laut dimulai dengan proses *assembly chamber* dengan memasang *sprayer* plastik sebanyak 3 buah, lalu memasang *sock* untuk menyambungkan dengan *sprayer* plastik. Selanjutnya memasang *Tube-s cooper* sebagai *heat exchanger* pada masing- masing chamber dan beri sealent agar tidak terjadi uap yang keluar. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 11. Proses ini dilanjutkan dengan melakukan instalasi pipa PVC 1/2 inch pada tangki air laut lalu yang disambung dengan *elbow* dan *tee* pada pipa tersebut. Tahapan selanjutnya adalah pemasangan pompa air laut dengan pipa PVC 1/2 inch yang telah terpasang. Hasil instalasi pipa dan pompa dapat dilihat pada Gambar 2.

Setelah proses pemasangan *tube-s cooper* dan instalasi pipa air laut selesai, dilanjutkan pemasangan pipa air tawar di bagian bawah *chamber*. Proses instalasi pipa dimulai dari *chamber* kedua dan ketiga yang disambung dengan *elbow* dan *tee* sebagai jalur masuk aliran air tawar ke dalam tangki. Bagian tangki air tawar di pasang keran sebagai *output* air keluar dari tangki, hasil pemasangan dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Tahap terakhir adalah penyambungan pipa *heat exchanger* dengan CSP. Proses penyambungan pipa dilakukan dengan metode las *brazing* sehingga dapat tersambung dengan kuat dan tidak mengalami kebocoran. Proses las dapat dilihat pada Gambar 15.



Gbr 11. Pemasangan Heat Exchanger dan pemberian sealent



Gbr 12. Pemasangan Pipa ke Pompa Air Laut



Gbr 13. Pemasangan Pipa PVC ke Arah Tanki Air Tawar



Gbr. 14 Pemasangan Keran pada Tanki Air Tawar



Gbr 15. Proses Pengelasan *Brazing*

Pengujian Fungsi dan Kinerja Alat Desalinasi Air Laut

1. Pengujian fungsional alat desalinasi air laut

Proses pengujian fungsional yang dilakukan pada tiap-tiap komponen seperti pompa air laut, *sprayer*, *heat exchanger* dilakukan untuk memastikan komponen-komponen tersebut sesuai dengan fungsinya masing-masing. Pompa air laut memiliki fungsi melakukan pemompaan air laut untuk dijadikan sebagai bahan baku proses pirolisis, *sprayer* digunakan sebagai komponen yang berfungsi sebagai *nozzle* yang menyemprotkan aliran air laut masuk ke dalam pipa penukar kalor dan air tawar sebagai hasil proses desalinasi ke dalam tangki penampung air tawar, dan *heat exchanger* sebagai bagian komponen dalam proses pemanasan aliran air laut dengan menggunakan bantuan sinar matahari, sehingga proses desalinasi menghasilkan air tawar yang digunakan untuk kegiatan berikutnya.

2. Pengujian kinerja alat desalinasi air laut

Pengujian kinerja alat desalinasi air laut tipe *multi stage flash* ini berfungsi dengan baik, dibuktikan bahwa pompa air laut mampu mendorong air ke *sprayer* melalui pipa PVC 1/2inch menghasilkan output 1800L/h dan air laut di semprotkan ke *heat exchanger* menjadi proses penguapan, hasil penguapan akan masuk ke dalam pipa dan ditampung ke dalam tangki air tawar. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 16.



Gbr 16. Pengujian Kinerja Alat Desalinasi

Hasil volume air tawar dari alat desalinasi

Pada sebuah tangki air laut dengan berbentuk kubus berukuran 20cm×15cm×25cm. Tangki air diisi sampai penuh. Berikut parameter yang terdapat di dalam alat desalinasi yang ditunjukkan pada data Tabel 2.

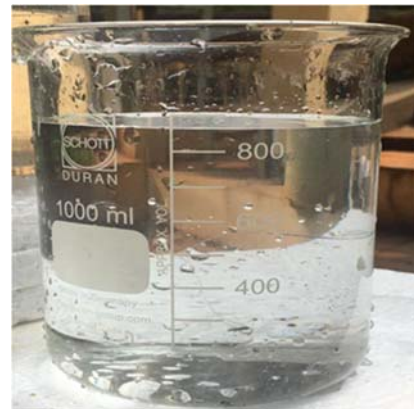
Tabel 2 Volume dan Waktu Proses Desalinasi Air

Volume Awal (ml)	Volume Akhir (ml)	Waktu (menit)
5000	800	3
5000	800	3
5000	865	4

Pada volume awal tangki air laut kapasitas yang diisi sebanyak 5000 ml, pada pengujian debit air *sprayer* di tutup agar tidak ada air yang keluar, lalu menguji aliran debit air yang balik ke dalam tangki air laut. Hasil yang didapat selama pengujian dalam waktu 10 menit menghasilkan volume akhir sebanyak 2465 ml dan tekanan yang didapat sebesar 0,3 bar.



Gbr 17. Hasil dalam 3 menit pengujian



Gbr 18. Hasil dalam 4 menit pengujian

Analisis debit aliran air laut pada alat desalinasi air laut tipe *multi stage flash* menggunakan kondisi volume air laut sebelum dan setelah proses desalinasi masing-masing sebesar 5000 ml dan 2465 ml. Volume air tawar yang dihasilkan sebesar 2465 ml merupakan volume hasil proses desalinasi air laut melalui sistem proses yang terjadi di dalam alat desalinasi tipe *multi*

stage flash. Proses desalinasi air laut tersebut juga membutuhkan waktu selama 10 menit, sehingga didapatkan hasil debit air laut yang masuk ke dalam alat desalinasi tersebut sebesar 14.7l/h.

Analisis Kinerja Proses Desalinasi

Alat desalinasi yang akan dihasilkan oleh *Multi Stage Flash* (MSF). Cara kerja dari teknologi ini yaitu menyemprotkan (*spray*) air laut dengan menggunakan pompa air laut. Proses penguapan pertama terjadi dengan uap panas buangan dari *chamber 1* menuju *chamber 2* untuk penguapan air laut dan *chamber 3* penguapan akhir dari desalinasi. Uap tersebut memberikan panas untuk proses desalinasi dan juga terkondensasi menjadi air tawar yang kemudian akan di tampung pada tangki air tawar. Pengujian alat ini, intensitas matahari meningkat pada pagi hari menuju siang hari dan menurun setelah siang hari menuju sore. Semakin tegak posisi matahari dengan bumi akan semakin besar energi yang diterima, temperatur evaporasi meningkat sehingga produktivitas volume air tawar yang dihasilkan dari proses evaporasi juga akan meningkat. Pengujian air laut sebelum desalinasi memiliki pH8,0 yang terindikasi air laut memiliki sifat basa. Berdasarkan hasil pengujian air tawar dari proses desalinasi ini memiliki pH 7,4 yang bersifat netral. Semakin banyak senyawa garam yang terkandung di dalam air, semakin tinggi nilai TDSnya, setelah proses desalinasi total zat terlarut berkurang, karena zat yang terlarut yaitu senyawa pada garam yang tidak menguap akibat titik didih pada senyawa garam lebih tinggi dibandingkan air. Digunakannya teknologi *Multi Stage Flash* untuk memproduksi air tawar dalam jumlah yang cukup.



Gbr. 19 Pengukuran pH pada air laut



Gbr. 20 pengukuran pH pada air tawar

Tabel 3 Hasil Pengujian Alat Desalinasi

No	Temperatur Inlet (°C)	Temperatur Outlet (°C)	Waktu (detik)
1	60	55	60
2	74	67	60
3	78	61	60
4	75	56	60
5	72	56	60
6	71	62	60
7	66	58	60
8	52	52	60
9	58	51	60
10	58	52	60
11	61	53	60
12	63	56	60
13	68	55	60
14	62	55	60
15	64	53	60
16	67	53	60
17	69	52	60
18	60	50	60
19	58	51	60
20	66	51	60
21	63	56	60
22	61	47	60
23	54	45	60
24	58	48	60
25	57	50	60
26	58	47	60
27	59	51	60
28	67	51	60
29	63	48	60
30	58	49	60
31	58	47	60
32	64	58	60
33	56	48	60
34	59	40	60
35	59	44	60
36	57	47	60
37	63	44	60
38	53	44	60
39	50	44	60

No	Temperatur Inlet (°C)	Temperatur Outlet (°C)	Waktu (detik)
40	53	43	60
41	46	38	60
42	45	41	60
43	50	45	60
44	63	50	60
45	58	48	60
46	54	47	60
47	57	46	60
48	58	50	60
49	60	50	60
50	67	51	60
51	56	52	60
52	67	55	60
53	66	50	60
54	56	47	60
55	57	45	60
56	53	46	60
57	42	39	60
58	53	47	60
59	46	40	60
60	58	42	60
Rata - rata	59,75	49,65	60

KESIMPULAN

Proses manufaktur alat desalinasi air laut skala lab ini menggunakan metode *design for manufacturing and assembly* dari tahap memproses dari bahan menjadi alat jadi, dari Sebagian komponen yang dibuat. *operation process chart* untuk mempermudah proses manufaktur. Tiap komponen memiliki tingkat kesulitan yang berbeda-beda, dari pembuatan *chamber*, tangki air laut dan tangki air tawar menggunakan akrilik dengan ketebalan 6mm dan 5mm, tingkat kesulitan dan ketelitian yang paling tinggi terjadi pada saat proses pembuatan *Heat Exchanger* karena pada saat pembengkokan *Tube S-Copper* tersebut selalu terlekur, Proses manufaktur keseluruhan sebagian besar dikerjakan sendiri dan sedikit menggunakan alat permesinan. Hasil pengujian alat desalinasi air laut skala lab ini mampu menghasilkan 477ml/jam selama 60 menit rata-rata temperatur inlet 59.75°C dan rata-rata temperatur outlet 49.65°C.

REFERENSI

- [1] Abdullah, S.H. 2015. "Desalinasi Air dengan Memanfaatkan Energi Terbarukan". Pengolahan Air dengan Menggunakan Energi Terbarukan, 1-8.
- [2] N. García-Vaquero, E. Lee, R. Jiménez Castañeda, J. Cho, and J. a. López-Ramírez. 2014. "Comparison of drinking water pollutant removal using a nanofiltration pilot plant powered by renewable energy and a conventional treatment facility," *Desalination*, vol. 347, pp. 94–102.
- [3] N. Ghaffour, J. Bundschuh, H. Mahmoudi, and M. F. a. Goosen. 2015. "Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems," *Desalination*, vol. 356, pp. 94–114.
- [4] T. E. Alam, J. S. Dhau, D. Y. Goswami, and E. Stefanakos. 2020. "Macroencapsulation and characterization of phase change materials for latent heat thermal energy storage systems". *Appl.*

- Energy, Vol. 154, pp. 92–101, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.086.
- [5] A. Winarta, M. Amin, and N. Putra. 2016. "Aplikasi PCM Bees Wax sebagai ieknologi penyimpanan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 8, no. 2, pp. 205–212.
- [6] M. Kasra, M. Saghafifar, E. Kevin, P. Kody. 2019. "Hybrid concentrated solar power (CSP)-desalination systems: A review". *Desalination*. Vol.468, pp. 114083.
- [7] A. Kandeal, M. Nagi, M. Abdo, K. Amrit *et al.* 2021. "Improved thermo-economic performance of solar desalination via copper chips, nanofluid, and nano-based phase change material," *Solar Energy*, Vol. 224, pp. 1313-1325.
- [8] Andina, Katrin. 2016. "Aplikasi Teknologi Membran dalam Pengolahan Air Terproduksi untuk Discharge dan Reuse". *Teknik Kimia, ITB, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia.*
- [9] E. Nazila, J. Ali, K. Ramin. 2020. "Implementing multiple-effect distillation and reverse osmosis thermal coupling to improve desalination process performance in combined water and power plants". *Energy Conversion and Management*. Vol. 221, pp. 113176.
- [10] C. Qi, X. Guoying, X. Peng. 2021. "The performance of a solar-driven spray flash evaporation desalination system enhanced by microencapsulated phase change material". *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol.27, pp. 101267.
- [11] A. Winarta, M. Amin, and N. Putra. 2016. "Aplikasi PCM Bees Wax sebagai ieknologi penyimpanan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 8, no. 2, pp. 205–212.
- [12] A. Karaipekli and A. Sari. 2009. "Capric-myristic acid/vermiculite composite as formstable phase change material for thermal energy storage," *Sol. Energy*, vol. 83, no. 3, pp. 323–332. doi: 10.1016/j.solener.2008.08.012.
- [13] M. K. R. Solli Dwi Murtyas, Siti Nur Cholida. 2018. "Permodelan Phase Change Materials Pada Distribusi Termal Selubung Bangunan Hotel," *J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7.
- [14] M. Kasra, M. Saghafifar, E. Kevin, P. Kody. 2019. "Hybrid concentrated solar power (CSP)-desalination systems: A review". *Desalination*. Vol.468, pp. 114083.