

LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR



STUDI EKSPERIMEN ROTOR DAN NOSEL BERPUTAR DALAM  
PENGEMBANGAN SISTEM DESALINASI

Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun

Ir. Hery Sonawan, MT.

NIDN: 0403097101

Dibiayai oleh :  
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi,  
Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Melalui DIPA Universitas Pasundan  
Nomor : DIPA-023.04.2.189789/2014, Tanggal 5 Desember 2013, dan berdasarkan  
SPPP Lemlit Universitas Pasundan Nomor : 04/SP3D2PD/LEMLIT-UNPAS/V/2014 tanggal  
23 Mei 2014

UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG  
DESEMBER 2014

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : STUDI EKSPERIMEN ROTOR DAN NOSEL BERPUTAR  
Peneliti / Pelaksana : DALAM PENGEMBANGAN SISTEM DESALINASI  
Nama Lengkap : Hery Sonawan  
NIDN : 0403097101  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Teknik Mesin  
Nomor HP : 08122333984  
Alamat surel (e-mail) : hsonawan@ymail.com

Anggota (1)  
Nama Lengkap : -  
NIDN : -  
Perguruan Tinggi Anggota :  
(2)

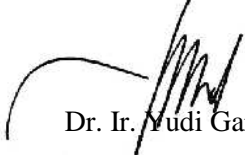
Nama Lengkap : .....  
NIDN : .....  
Perguruan Tinggi Anggota : .....  
(ke n )


Nama Lengkap : .....  
NIDN : .....  
Perguruan Tinggi : .....  
Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : .....  
Alamat : .....  
Penanggung Jawab : .....  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 42.500.000,-  
Biaya Keseluruhan : Rp. 42.500.000,-

Bandung, 15 Desember 2014


Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

  
Dr. Ir. Yudi Garnida, MS.  
NIPY:151 102 30

Peneliti,  
  
Ir. Hery Sonawan, MT.  
NIPY: 151 100 85

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian



  
Dr. Yaya Mulyana A. Azis, M.Si  
NIP: 151 101 56

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PENGESAHAN

RINGKASAN

PRAKATA

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB 1. PENDAHULUAN

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT

PENELITIAN

BAB 4. METODE PENELITIAN

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA (untuk laporan tahunan)

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

- Artikel ilmiah (*draft*, bukti status *submission* atau *reprint*), jika ada.  
Produk penelitian HKI dan publikasi

## **RINGKASAN**

Desalinasi adalah sebuah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kadar garam air laut (air asin) hingga level tertentu sehingga dihasilkan air bersih (air tawar). Selain itu, produksi sampingan dari proses desalinasi adalah air dengan kadar garam tinggi atau juga padatan garam. Penelitian yang diusulkan dalam makalah ini merupakan sebuah pengembangan proses desalinasi dengan melakukan kondensasi droplet halus yang dihasilkan dari semprotan nosel.

Penelitian ini dilakukan sebagai kelanjutan dari penelitian pendahuluan yang telah dilakukan tentang studi teoritik dan eksperimen aliran dalam nosel stasioner. Dalam penelitian itu telah dihasilkan sebuah model nosel stasioner yang mampu menghasilkan pola aliran kerucut dan membentuk droplet halus. Produk berupa droplet halus ini yang nantinya akan dievaporasi dan dikondensasi sehingga menghasilkan air tawar. Nosel stasioner yang diperoleh dari penelitian sebelumnya akan diterapkan pada sebuah rotor sehingga menjadi nosel berputar. Penelitian tentang nosel berputar yang selanjutnya menjadi perhatian dalam penelitian ini. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan sebuah model nosel berputar yang menghasilkan droplet halus dalam jumlah terbanyak dan memperoleh persamaan empirik yang menghubungkan parameter dependen dan independen. Eksperimen dilakukan setelah melakukan kaji teoritik analisis dimensional terhadap parameter-parameter yang terlibat.

Dalam eksperimen, droplet halus dihasilkan dari peralatan uji yang terdiri dari tabung bertekanan, selang karet, rotor, nosel dan fan. Air umpan ditampung dalam sebuah tabung bertekanan kemudian udara dikompresikan ke dalam tabung tersebut hingga mencapai tekanan tertentu. Air umpan dari tabung bertekanan mengalir melalui selang karet menuju nosel. Tiga buah nosel yang dipasang pada rotor digunakan sebagai piranti penghasil droplet. Agar dihasilkan droplet lebih rapat dalam suatu volume tertentu maka rotor–nosel diputar dengan putaran tertentu.

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

Desalinasi adalah sebuah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kadar garam air laut (air asin) hingga level tertentu sehingga dihasilkan air bersih (air tawar). Selain itu, produksi sampingan dari proses desalinasi adalah air dengan kadar garam tinggi atau juga padatan garam [15]. Distilasi adalah salah satu metode desalinasi yang sudah sangat umum digunakan. Dalam distilasi, air laut dipanaskan hingga membentuk uap dan kemudian dikondensasikan untuk menghasilkan air tawar. Semua proses distilasi seperti multistage flash, multiple effect distillation dan vapor compression memiliki prinsip dasar yang sama dimana tekanan uap air diturunkan agar terjadi pengabutan (flashing) pada temperatur rendah tanpa penambahan panas [17].

Desalinasi air laut dan air payau, baik untuk peruntukan air minum atau keperluan lainnya (misalnya irigasi) telah berkembang pesat di dunia dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini disebabkan karena kebutuhan akan air bersih semakin meningkat akibat pertumbuhan populasi manusia yang juga semakin meningkat. Teknologi desalinasi ini cukup variatif kompleksitasnya dimulai dari teknologi tradisional hingga teknologi sangat maju yang tidak lain ditujukan untuk memperoleh kualitas dan kuantitas air bersih lebih baik. Walaupun ongkos produksi cukup tinggi dibandingkan dengan investasi untuk mengambil dari sumber air bersih tetapi tetap saja proses desalinasi ini diaplikasikan terutama di daerah-daerah yang membutuhkan air bersih sangat tinggi [12].

Dimulai tahun 2006, lebih dari 12.000 pabrik desalinasi dioperasikan dengan kapasitas produksi sekitar 40.000.000 m<sup>3</sup> (setara dengan 10 milyar US gallon) per hari. Sekitar 50% dari kapasitas itu ada di kawasan teluk asia barat. Amerika utara memiliki sekitar 17% sementara kawasan teluk 10% dan Afrika Utara dan Eropa berturut-turut menghasilkan 8% dan 7%, dan Australia menghasilkan sekitar 1%. Pasar desalinasi diprediksi tumbuh sekitar 12% per tahun hingga tahun 2010. Kapasitas produksinya diharapkan mencapai 94 milyar m<sup>3</sup>/hari pada tahun 2015 [12].

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya air kelima di dunia dengan potensi air hujan yang turun mencapai 7 triliun m<sup>3</sup>. Air sebagai sumber daya alam yang melimpah di Indonesia dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang terus meningkat. Meski potensi air tawar di Indonesia cukup tinggi, namun ternyata belum semua masyarakat Indonesia bisa mengaksesnya. Keterbatasan infrastruktur dan belum adanya sumber-sumber air baru di tengah kebutuhan masyarakat yang terus meningkat menjadi sebagian kendala yang dihadapi Indonesia pada krisis air bersih. Bahkan diperkirakan pada tahun 2025 khusus ibukota Jakarta akan devisit air mencapai 23.720 liter/detik. Selain itu 3,5 miliar manusia di bumi juga akan mengalami devisit air [19].

Proses desalinasi diharapkan menjadi alternatif solusi produksi air bersih selain penyedotan air bersih dari dalam tanah. Untuk mengurangi laju penurunan permukaan tanah di ibukota Jakarta, penggunaan air bawah tanah harus dikurangi dan jika bisa dihentikan secara total [18]. Saat ini PT. Pembangunan Jaya Ancol sedang mengembangkan teknologi desalinasi air laut untuk memproduksi air tawar sebanyak 5.000 m<sup>3</sup> per hari. Investasi yang dibutuhkan mencapai Rp 53 miliar [18].

Sumber air bersih untuk memproduksi air minum dapat diambil dari sungai, danau, air tanah dangkal atau air tanah dalam. Air bersih yang secara fisik murni, mungkin dipengaruhi oleh kontaminan alam seperti pestisida pertanian. Bahkan sebuah sumber air murni tidak begitu diinginkan karena mungkin saja air itu mengandung mineral-mineral dan partikel-partikel endapan yang dapat mempengaruhi rasa atau keamanan dan juga mengandung material organik alam yang juga mempengaruhi kualitas air itu sendiri. Kandungan mineral dari kebanyakan air bersih harus kurang dari 100 mg/liter hingga 1000 mg/liter [12].

Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa salah satu alternatif solusi dalam penyediaan air bersih di daerah-daerah yang sangat membutuhkan air bersih adalah dengan teknologi desalinasi. Metode desalinasi yang saat ada di dunia terdiri dari multistage flash distillation (MSF), multi effect distillation (MED) dan vapour compression distillation (VCD). Pabrik distilasi dapat menghasilkan air dalam selang antara 1 hingga 50 mg/liter TDS. Zat pembersih Alkaline dapat menghilangkan endapan organik dan zat pembersih asam mampu menghilangkan terak dan garam.

Dalam proses distilasi, sumber air dipanaskan dan diuapkan, uap yang terkondensasi memiliki kandungan padatan terlarut sangat rendah, sementara itu cairan berkadar garam tinggi dihasilkan sebagai hasil sampingan. Garam inorganik dan organik yang memiliki berat molekul tinggi adalah komponen yang tidak mudah menguap dan sangat mudah untuk dipisahkan. Bahkan tekanan uapnya bervariasi dari rendah hingga sangat tinggi sehingga beberapa dari itu juga dapat didistilasi uap (steam distilled).

Pabrik MSF merupakan kontributor utama dalam proses desalinasi di dunia. Prinsip dari proses ini adalah air yang dipanaskan akan mendidih dengan cepat (flash) jika tekanan uap diturunkan secara cepat dibawah tekanan uap cairan pada temperatur itu. Uap yang terjadi kemudian dikondensasi pada sebuah permukaan yang kontak dengan air umpan kemudian memanaskannya sebelum dilepaskan ke dalam ruang pengkabutan (flash chamber). Sekitar 25% - 50% aliran merupakan air bersih dalam pabrik MSF ini. Karakteristik lain yang dimiliki oleh MSF adalah tingginya laju aliran air umpan, terjadi korosi dan pengerakan, dan penggunaan perlakuan kimia [12].

Konfigurasi dari pabrik MED terdiri dari tabung vertikal atau horisontal. Uap dikondensasikan di satu sisi tabung dengan perpindahan panas yang menyebabkan penguapan air asin di sisi lainnya. Tekanan dikurangi secara berjenjang di setiap tahap (stage) karena penurunan temperatur, dan tambahan panas diberikan di setiap tahap untuk meningkatkan performansi [12].

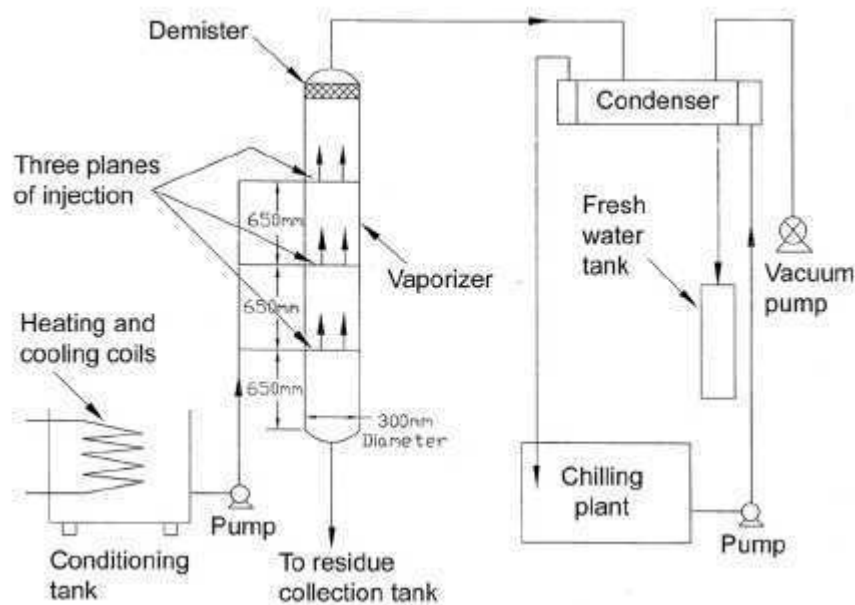
Sistem VCD dijalankan dengan mengompresi uap air yang menyebabkan kondensasi di permukaan tabung yang kemudian menghantarkan panas kondensasi ke air asin di sisi lain dari tabung sehingga menghasilkan penguapan. Adanya kompresor merupakan persyaratan utama. Kompresor menaikkan tekanan uap dan menurunkan tekanan pada sisi air umpan untuk menurunkan temperatur didihnya [12].

Sistem desalinasi yang akan diteliti dalam penelitian disertasi doktor ini merupakan pengembangan dari sistem desalinasi yang sebelumnya dikembangkan oleh Aliakbar dkk [3, 10]. Aliakbar mengembangkan sistem desalinasi yang dikenal dengan CDP (combined desalination and power generation). Di Australia, air asin panas dengan temperatur antara  $90^{\circ}\text{C}$  dan  $150^{\circ}\text{C}$ , berada dalam reservoir geothermal pada kedalaman antara 2.000 m dan 4.000 m. Tujuan utama dari proyek patungan itu adalah untuk mengembangkan sebuah sistem geothermal ganda yang efisien yang menggunakan air asin panas dari geothermal sebagai fluida umpan dan menghasilkan listrik dan air bersih secara bersamaan. Proyek yang dibiayai oleh Australian Research Council (ARC), Greearth Energy Ltd dan RMIT University itu ditujukan untuk menghasilkan sebuah konsep sistem CDP dan mengembangkan sebuah prototipe skala laboratorium sistem geothermal ganda. Dalam proyek itu akan disimulasikan kondisi lapangan untuk analisis performansi, validasi dengan komputer dan optimasi sistem. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan informasi berharga untuk uji coba lapangan dari skala prototipe. Sistem geothermal ganda untuk menghasilkan air bersih dan pembangkitan daya listrik yang dikembangkan dalam penelitian oleh Aliakbar dkk, jika berhasil maka dapat memanfaatkan fluida geothermal bertemperatur rendah dan membantu dalam penyediaan air bersih dan juga listrik pada selang aplikasi tertentu, termasuk untuk daerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Teknologi yang dikembangkan itu memiliki potensi dalam pengembangan industri, menciptakan lapangan kerja dan peluang ekspor melalui proses produksi komersial di Australia dari pabrik geothermal ganda berskala kecil menengah. Sebagai contoh, pabrik akan mampu menghasilkan hingga 0,1 MW daya listrik dan 75.000 liter air bersih per hari yang cocok untuk aplikasi daerah terpencil.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Aliakbar dkk yang terkait dengan desalinasi yaitu tentang penggunaan kolam air pemanas surya (solar pond) [3]. Penelitian itu menjelaskan tentang analisis performansi dari sebuah nosel dua fasa yang digunakan dalam sistem CDP. Penelitian juga memaparkan desain dan pengujian sebuah sistem prototipe menggunakan tiga jenis nosel dibawah

kondisi statik dan berputar. Hasil eksperimen konsisten dengan teoritik (perhitungan menggunakan Homogenous Equilibrium Expansion Model) ditinjau dari produksi air bersih, sedangkan untuk pembangkitan daya terdapat perbedaan besar antara eksperimen dan angka-angka teoritik. Didasarkan pada analisis eksperimen, alasan rendahnya pembangkitan daya telah ditemukan dan sebuah nosel desain baru diusulkan menggunakan nosel konvergen divergen dengan kurva lengkung untuk mencegah masalah-masalah yang dihadapi pada prototipe sebelumnya.

Muthunayagam dkk melakukan sebuah penelitian tentang desalinasi dengan penguapan kabut bertemperatur rendah [6]. Penelitiannya menjelaskan sebuah konsep desalinasi baru dengan menggunakan air hangat yang diambil dari permukaan atas air laut untuk proses penguapan kabut pada tekanan rendah dan mengkondensasikan uap/kabut itu menggunakan air dingin yang diambil dari bagian bawah air laut. Tujuan utama eksperimen itu adalah untuk menentukan hasil dari penguapan tekanan dan temperatur rendah dan kondensasi dari sebuah peralatan skala laboratorium. Studi difokuskan pada laju pembentukan kondensat air dibawah satu kondisi untuk mensimulasikan temperatur air laut. Sebuah vaporizer dan condenser disusun seperti terlihat dalam gambar 1.



Gambar 1. Skematik Eksperimen Desalinasi [6].

Vaporizer vertikal dibuat dari tabung berpenampang lingkaran dengan diameter 300 mm dan tinggi 3 m. Tabung dibuat dari bahan plexiglass untuk memvisualisasikan aliran dan dijaga pada tekanan rendah antara 1,3 kPa dan 2,5 kPa. Air asin dipompakan dari sebuah tangki berkapasitas 1,5 m<sup>3</sup> kedalam vaporizer pada laju aliran hingga 1.000 liter/jam. Laju aliran air diukur menggunakan sebuah rotameter dengan akurasi  $\pm 2\%$ . Nosel putar (swirl nozzle) yang banyak tersedia di pasaran untuk



aplikasi kebun digunakan untuk mendispersikan air menjadi butiran/droplet di dalam vaporizer. Semprotan nosel menghasilkan sebuah pola semprotan konis dengan ukuran droplet berdiameter rata-rata 1 mm. Nosel diletakkan pada posisi berbeda pada ketinggian 650 mm, 1.300 mm dan 1.950 mm di dalam vaporizer pada eksperimen berbeda untuk menyatakan waktu tinggal droplet di dalam vaporizer. Hasil yang diperoleh dari penelitian itu antara lain:

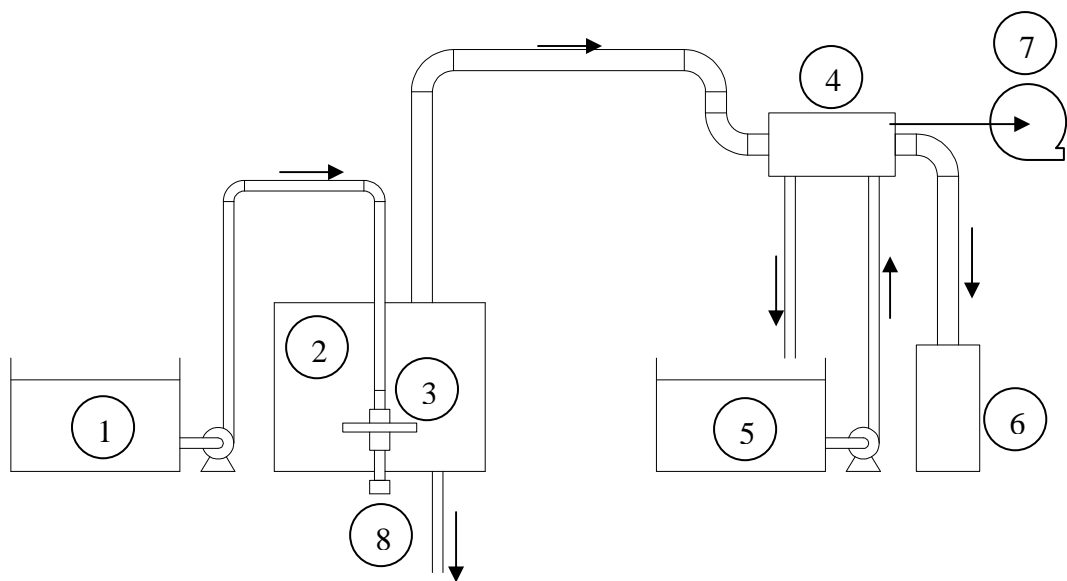
1. Desalinasi air laut yang telah didemonstrasikan menunjukkan fisibel untuk temperatur air laut antara 26 dan 32<sup>0</sup>C dengan menggunakan sebuah proses bertekanan rendah dan kondensasi.
2. Tekanan vakum antara 1,3 dan 2,3 kPa digunakan untuk proses penguapan dan kondensasi dalam eksperimen. Hasil yang diperoleh hampir 4% pada selang tekanan vakum terendah dan selang temperatur air umpan tertinggi dan cocok dengan eksperimen.
3. Sebuah nosel injeksi putar yang digunakan untuk aplikasi kebun sangat sesuai untuk digunakan untuk menghasilkan penguapan yang diperlukan.

Penelitian tentang evaporasi kabut (flash evaporation) juga dilakukan oleh Adel K. El-Fiqia dkk (2007) [8]. Dalam penelitiannya, eksperimen tentang proses pengkabutan melalui nosel jet superpanas dilakukan pada tekanan rendah. Nosel berdiameter kurang dari 0,4 mm dan tekanan injeksi hingga 6 bar digunakan dalam studi eksperimen dengan selang temperatur superpanas antara 2K dan 18K, temperatur umpan inlet bervariasi dari 40 hingga 70<sup>0</sup>C dan juga laju aliran massa. Temperatur fluida pada inlet dan outlet diukur pada berbagai kondisi berbeda dengan proses pengkabutan dilakukan dalam sebuah ruang vakum. Banyaknya uap kabut dapat ditentukan dengan mengkondensasi uap tersebut dan membandingkannya dengan hasil perhitungan teoritik pada laju aliran berbeda. Hubungan antara derajat superpanas dan banyaknya uap kabut dapat dievaluasi melalui penelitian ini. Kesimpulan yang dapat dirumuskan dalam penelitian itu antara lain meningkatnya derajat superpanas memicu meningkatnya uap kabut dalam jumlah tertentu dan menurunnya level air di dalam ruang kabut, meningkatkan efisiensi pengkabutan dan jumlah uap kabut.

Seperti yang disebutkan di atas bahwa penelitian ini dilatarbelakangi oleh sebuah sistem yang dikenal dengan combined desalination and power generation system (CDP). Untuk melakukan penelitian yang sama maka dibutuhkan sumber daya alam yang mampu membangkitkan uap bertekanan tinggi dari sebuah sumber geothermal, akan tetapi hal itu belum dapat dilaksanakan dalam penelitian ini. Konsep CDP tetap diadopsi hanya dari sisi desalinasi saja tanpa sistem pembangkitan daya. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan sulitnya penyiapan aspek sumber geothermal dan permasalahan penyediaan air bersih di lingkungan sekitar pantai dan daerah terpencil di Indonesia. Oleh karena itu, fokus penelitian hanya dilakukan pada persoalan desalinasi saja.

Proses desalinasi yang menjadi fokus dalam penelitian ini ditujukan untuk memperoleh sebuah desain sistem desalinasi yang menggunakan sistem rotor dan nosel berputar. Digunakannya rotor dan nosel berputar sebagai peralatan utama penghasil kabut uap untuk meningkatkan produktivitas kabut uap dan akhirnya meningkatkan jumlah produksi kondensat. Hal ini merupakan perbaikan dan pengembangan dari sistem yang dikembangkan oleh Muthunayagam dkk [6] yang menggunakan nosel stasioner dalam memproduksi kabut uap. Produksi kabut uap yang dihasilkan dari rotor dan nosel berputar dapat meningkatkan kerapatan kabut uap di dalam ruang vakum karena kemampuan rotor dan nosel dalam menjangkau daerah yang lebih luas secara kontinyu.

Proses desalinasi yang diterapkan dalam penelitian Aliakbar dan Muthunayagam dilakukan dalam ruang vakum (vacuum chamber) untuk memudahkan jet (semburan) yang keluar dari nosel bertransformasi menjadi kabut uap. Dalam penelitian disertasi doktor ini, eksperimen terhadap rotor dan nosel berputar yang menghasilkan kabut uap juga dilakukan di dalam ruang vakum. Pengaturan peralatan dalam eksperimen diilustrasikan dalam gambar 2 di bawah ini.



Keterangan gambar:

1. Tangki air asin umpan
2. Ruang vakum
3. Nosel berputar terpasang pada rotor
4. Kondensor
5. Tangki air pendingin
6. Tangki penampung kondensat
7. Pompa vakum
8. Saluran pembuangan air asin

Gambar 2. Pengaturan Peralatan dalam Eksperimen

Dalam eksperimen yang dilakukan, air asin umpan dipompakan ke dalam ruang vakum melalui nosel berputar. Jet yang keluar dari nosel berputar mengalami evaporasi kabut akibat tekanan lebih rendah dari tekanan uap air yang terjadi di dalam ruang vakum. Tekanan vakum di ruang vakum terjadi karena kerja pompa vakum yang terhubung dengan kondensor. Kabut uap di dalam ruang vakum akan terhisap ke dalam kondensor dan mengalami kondensasi. Produksi kondensat yang diimbangi dengan produksi kabut uap di dalam ruang vakum menyebabkan proses desalinasi ini berjalan secara setimbang. Karena tidak seluruh jet yang keluar dari nosel berputar memiliki diameter droplet halus maka sebagian besar air asin umpan berbentuk droplet kasar akan jatuh di dasar ruang vakum membentuk air asin berkadar garam tinggi. Proses ini menyebabkan laju kondensasi dan produksi jet droplet berjalan tidak seimbang dan berakibat tekanan di dalam ruang vakum meningkat. Agar proses desalinasi berjalan dengan kondisi setimbang maka pompa vakum terus berjalan untuk menjaga tekanan vakum tetap konstan.

Eksperimen desalinasi dilakukan dengan dua modus yaitu desalinasi dengan nosel stasioner dan desalinasi dengan nosel berputar. Keberhasilan penelitian ini ditunjukkan dengan terjadinya peningkatan produksi kondensat dari nosel berputar dibandingkan dengan nosel stasioner. Jika hal ini tercapai maka sebuah sistem desalinasi baru telah berhasil dikembangkan. Dari penelitian ini juga akan diperoleh sebuah formulasi matematika yang menghubungkan berbagai parameter-parameter yang mempengaruhi produksi kondensat dalam sebuah sistem desalinasi yang sedang dikembangkan.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berbagai aplikasi dan pengembangan sistem desalinasi telah banyak dilakukan termasuk sistem desalinasi surya. Semua itu dilakukan untuk mendapatkan solusi berupa sumber air bersih baru. Tidak jarang pula, pembangkitan daya listrik merupakan produk sampingan selain air bersih. Istilah yang cukup populer untuk menggambarkan ini adalah Combined Desalination and Power Generation. Sistem desalinasi yang sudah banyak dikembangkan bisa berupa sistem yang diam ataupun sistem yang mobile. Walaupun demikian kedua sistem itu mengadopsi prinsip yang serupa yaitu desalinasi air asin. Selain menghasilkan air bersih dari proses desalinasi, produk sampingan lain yang juga cukup prospektif adalah pembangkitan listrik. Energi panas dan energi kinetik yang dihasilkan dari proses desalinasi dan evaporasi diubah menjadi energi mekanik melalui sebuah mekanisme tertentu.

Pengembangan sistem desalinasi baru saat ini mengarah pada metode pembangkitan fasa uap atau semprotan dengan melibatkan panas dan pengaliran fluida secara paksa. Untuk mencapai tujuan itu diperlukan penelusuran tentang teknologi desalinasi, pengabutan uap (flashing) dan penguapan kabut uap (flash evaporation). Berbagai penelitian dari ketiga aspek dalam desalinasi masih terus dikembangkan baik dari sisi energi termal maupun metode pembangkitan kabut uap. Secara umum dalam proses desalinasi terjadi tahapan perubahan fasa cair menjadi uap dan diikuti dengan kondensasi fasa uap itu kembali menjadi fasa cair. Perubahan fasa cair menjadi uap dapat dilakukan dengan berbagai metode misalnya dengan memberikan energi panas pada cairan tak mengalir atau juga pada cairan mengalir disertai dengan pencekikan aliran melalui sebuah nosel (spraying). Teknik lain yang dikembangkan misalnya proses penguapan dengan menggunakan cakram berputar (spinning disk evaporator).

Sebuah paten tentang solar energy desalination system mengungkapkan sebuah sistem desalinasi digerakkan oleh boiler bertenaga surya yang menghasilkan uap bertekanan untuk menggerakkan sebuah expander yang dapat membangkitkan gaya gerak [2]. Sebuah pompa digunakan untuk menghasilkan luaran berupa air asin bertekanan. Sebuah unit RO (reverse osmosis) menerima air bertekanan kemudian dihasilkan air bersih dan air asin bertekanan. Sebuah recuperator yang meneruskan panas dari expander ke boiler dirangkai untuk memperbaiki efisiensi sistem. Secara khusus, dalam perwujudan ini, sebuah motor hidrolik menerima air asin bertekanan dan menghasilkan keluaran berupa gaya gerak pada pompa.

Paten lainnya yang menjelaskan tentang desalinasi surya berisi pembahasan tentang pabrik desalinasi surya [1]. Sebuah peralatan desalinasi air laut dengan memanfaatkan energi surya, diikuti dengan pembangkitan daya listrik, terdiri dari unit penangkap panas, tanki penampung air laut, tangki

preheat, penerima panas dan evaporator serta tangki penampung air bersih. Tangki penampung air laut dan tangki preheat yang memanaskan air laut dan mendinginkan uap air dikondisikan saling berdampingan pada level berbeda. Air laut yang dipanaskan mula dari tangki preheat dialirkan melalui saluran keluar menuju evaporator dimana evaporator pertama dilengkapi dengan pemanas yang dipanaskan oleh cairan panas, evaporator kedua dan seterusnya dipanaskan oleh sistem pemanas yang terdiri dari cincin-cincin pipa dengan uap panas mengalir didalamnya.

Produksi kabut uap tidak hanya dapat dilakukan dengan memberikan panas pada cairan tetapi juga mungkin dilakukan dengan metode pengaliran paksa fluida yang disertai dengan pemecahan aliran pada sebuah cakram [3]. Penemuan ini berhubungan dengan sebuah peralatan dan metode untuk proses evaporasi cairan organik untuk pengendapan uap menjadi substrat dalam lingkungan vakum. Relatif terhadap peralatan dan metode yang ada, penemuan ini memungkinkan proses evaporasi pada berbagai cairan organik, keandalan yang lebih baik dalam operasi kontinu, pengurangan dalam perawatan dan laju aliran lebih konstan. Cairan organik dikirimkan ke sebuah wadah yang ditempatkan di tengah-tengah permukaan yang dipanaskan yang mampu berputar horisontal disekitar sumbunya. Saat permukaan yang dipanaskan berputar, material yang mengendap dalam wadah terlempar keluar dan melintas permukaan berputar. Saat material berpindah secara radial, mengalami evaporasi menjadi uap yang kemudian dialirkan menuju satu nosel atau lebih. Dari nosel, uap kemudian diterapkan ke substrate dan dikondensasikan. Evaporator cakram berputar mampu mengevaporasi sejumlah cairan organik secara kontinu, mengurangi perawatan dan laju aliran yang lebih besar.

Selain dibuat dalam skala produksi pabrik, sistem desalinasi juga memungkinkan untuk dibuat dalam skala portabel. US Patent Application Publication, No. US 7,513,972 B2 mengemukakan sebuah penemuan tentang Portable Brine Evaporator Unit, Process and System [4]. Penemuan ini berhubungan dengan unit evaporator portabel, proses dan sistem yang digunakan untuk perlakuan air kotor dari sumur produksi gas dan minyak. Penemuan ini memperlihatkan unit, metode, dan sistem evaporator portabel yang lengkap, efisien, dan ekonomis untuk perlakuan brine. Unit evaporator, metode dan sistem membutuhkan proses perlakuan awal yang menghilangkan logam berat, oli dan kontaminan lain dalam persiapan unit evaporator. Perlakuan awal dan unit evaporator, metode dan sistem memproses logam dan brine di tempat dimana mereka terdapat (sumur). Kemudian sistem dibuat ekonomis untuk menurunkan ongkos transportasi.

Proses pemecahan aliran untuk tujuan pemecahan dan pengurangan ukuran butiran cairan (fine droplet) dan pengabutan yang diikuti dengan evaporasi telah dipelajari oleh R. Karami dkk [6]. Sebuah studi eksperimen mempelajari pengaruh “flashing” terhadap semprotan dari “splash-plate

nozzles” telah dilakukan. Pemeriksaan difokuskan pada pengaruh temperatur injeksi, tekanan dan sistem transportasi fluida terhadap daerah aliran di dalam nosel, mekanisme pemecahan (breakup mechanism) dan ukuran butiran. Ukuran butiran dan mekanisme disintegrasi ditemukan dan hal ini sangat bergantung pada temperatur injeksi dan daerah aliran dalam. Flashing telah diamati terjadi pada temperatur beberapa derajat di atas temperatur jenuh. Ukuran butir air semakin kecil (halus) pada selang temperatur yang cukup sempit. Peningkatan temperatur lebih lanjut tidak terlalu banyak berpengaruh pada ukuran butir air.

Pengabutan yang disertai dengan evaporasi sangat memungkinkan untuk dilakukan pada tekanan vakum. Dengan disertai pemanasan cairan dan menurunkan tekanan di sekitar nosel semprot, proses pengabutan mampu menghasilkan jumlah butiran halus lebih banyak karena diiringi dengan proses evaporasi pada butiran halus itu. Pemanasan cairan dilakukan dengan memanfaatkan air hangat yang diambil dari air laut bagian permukaan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Muthunayagam dkk telah menghasilkan sebuah metode evaporasi kabut yang berlangsung pada tekanan vakum [7]. Kelayakan proses desalinasi melalui penguapan tekanan rendah dari air laut pada suhu antara 26°C dan 32°C ditunjukkan dalam sebuah pilot plant. Sistem beroperasi pada tekanan vakum antara 1,3 dan 2,3 kPa. Air garam disemprotkan ke vaporizer dalam bentuk droplet halus dengan menggunakan swirl nozzle dan menguap pada rendah tekanan. Laju aliran maksimum adalah 1.000 liter/jam. Kondensasi uap terbentuk dilakukan di penukar panas (shell and tube heat exchanger). Produksi air tawar mencapai 4% seperti yang diperkirakan dalam teori. Kualitas dari air terkondensasi sangat baik. Penelitian menunjukkan sebuah konsep baru merancang sebuah sistem desalinasi dengan menggunakan air hangat dari bagian atas air laut untuk penguapan kabut pada tekanan rendah dan kondensasi uap menggunakan air dingin dari bagian yang lebih rendah dari laut. Kinerja pilot plant ditentukan untuk berbagai temperatur air umpan, tekanan vakum dan tekanan injeksi air.

Seperti yang telah disampaikan di awal bahwa penelitian ini merupakan penelitian tahap ketiga dari rangkaian penelitian disertasi doktor. Secara umum, peta jalan dari penelitian ini berawal studi teoritik aliran dalam nosel dengan menggunakan CFD (gambar 3). Dalam penelitian awal itu, berbagai bentuk model nosel stasioner disimulasikan untuk mendapatkan pola aliran kerucut dan terjadi pemecahan aliran membentuk droplet. Walaupun demikian, dari CFD hanya dihasilkan model nosel dengan pola aliran kerucut tetapi tidak dapat mensimulasikan terjadinya pemecahan aliran. Untuk merealisasikan hal itu maka dilanjutkan dengan eksperimen. Eksperimen dilakukan terhadap model nosel stasioner yang diperoleh dari simulasi CFD. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pola aliran keluar nosel memang berbentuk kerucut, diawali dengan bentuk kerucut lembaran yang kontinyu dan kemudian terjadi pemecahan aliran (break up) membentuk droplet halus.



Gambar 3. Peta Jalan Penelitian

Hasil penelitian terhadap nosel stasioner telah sesuai dengan yang diharapkan yaitu terjadi pemecahan aliran membentuk droplet. Droplet yang diinginkan adalah droplet halus dengan diameter kurang dari 100 mikron. Banyak parameter yang berperan dalam pembentukan droplet halus ini antara lain tekanan dalam nosel, laju aliran massa air umpan dan geometri nosel. Parameter-parameter itu kemudian akan diuji lebih lanjut dalam penelitian tahap ketiga dengan menggunakan rotor sebagai piranti untuk mensimulasikan nosel berputar.

### **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

Tujuan penelitian:

1. Untuk mendapatkan sebuah model nosel berputar yang menghasilkan droplet halus dalam jumlah terbanyak.
2. Memperoleh persamaan empirik yang menghubungkan parameter dependen dan independen.

Manfaat penelitian:

1. Memperoleh sebuah metode desalinasi baru.
2. Menghasilkan sebuah prototipe desalinasi yang menggunakan rotor nosel berputar.

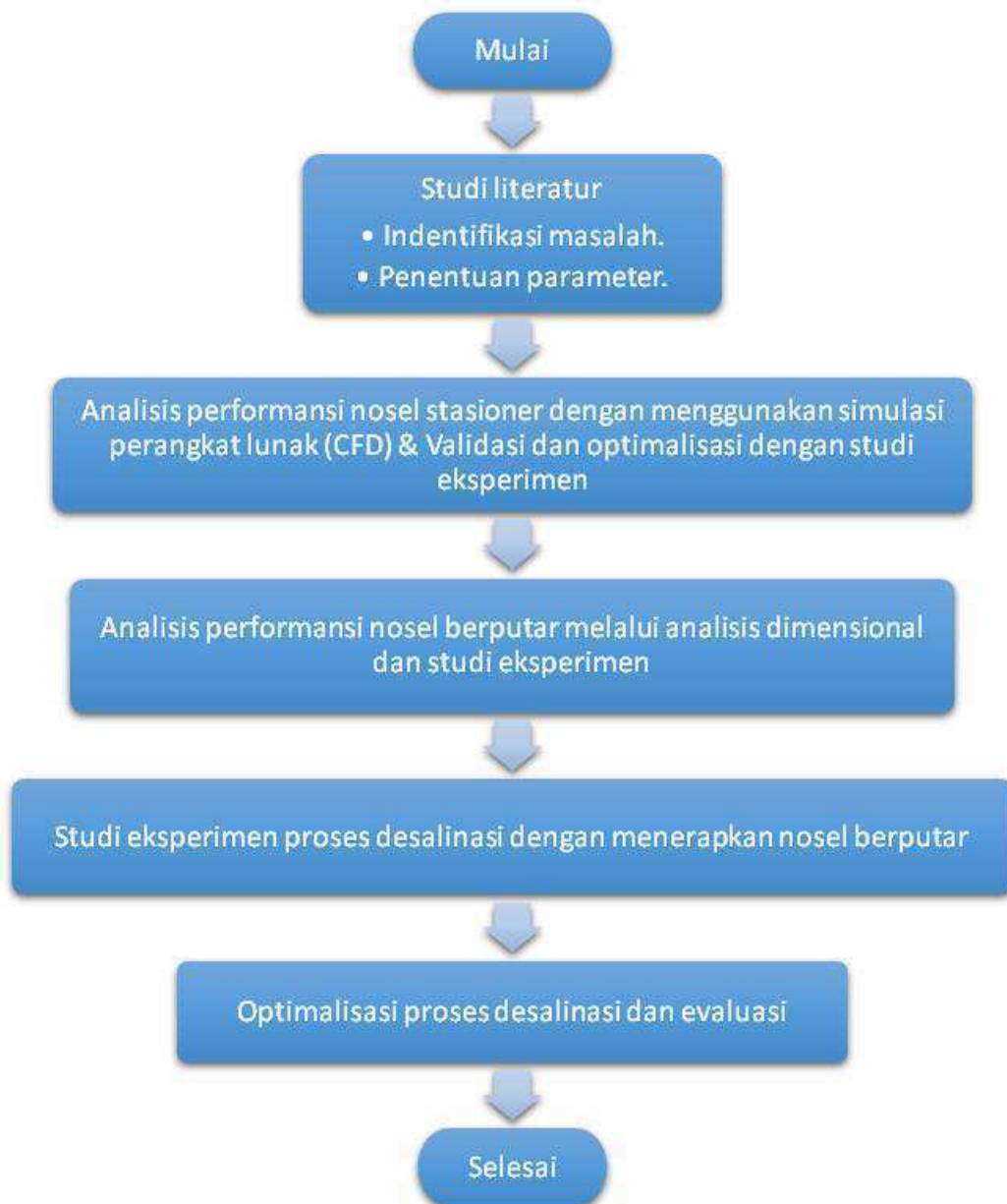


## **BAB 4. METODE PENELITIAN**

Program penelitian disertasi doktor dilaksanakan dengan mengikuti metode yang digambarkan dalam diagram alir di bawah ini (gambar 4). Rangkaian penelitian dilaksanakan dalam empat sub penelitian yaitu tahap pertama: desain nosel melalui simulasi perangkat lunak CFD, tahap kedua: studi eksperimen nosel stasioner, tahap ketiga: studi eksperimen nosel berputar dan dan tahap keempat: optimalisasi proses desalinasi dengan menerapkan nosel berputar. Penelitian yang diajukan dalam proposal ini merupakan rangkaian penelitian tahap ketiga yaitu studi eksperimen nosel berputar.

Setelah mempelajari pola aliran fluida di dalam nosel stasioner melalui simulasi CFD dan dilanjutkan dengan melakukan eksperimen terhadap nosel stasioner itu, diperoleh hasil bahwa pola aliran keluar nosel stasioner sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti beda tekanan, laju aliran fluida, diameter nosel, jarak celah dan pola lubang orifice. Parameter-parameter aliran itu kemudian dipelajari lebih lanjut melalui penerapan nosel berputar. Nosel stasioner yang dipasang pada sistem rotor dalam hal ini disebut dengan nosel berputar. Putaran rotor merupakan output kerja mekanik motor listrik yang dikopel secara aksial. Selanjutnya dalam penelitian disertasi doktor yang diajukan ini fokus penelitian yaitu ditujukan pada rotor dan nosel berputar.

Secara khusus metode penelitian yang berfokus pada rotor dan nosel berputar ini ditunjukkan dalam gambar 5. Dalam penelitian ini untuk menunjang dan memberikan arah penelitian yang jelas, metode analisis dimensional dan desain parametrik digunakan. Dengan kedua metode itu, di tahap akhir penelitian akan diperoleh sebuah formulasi matematika yang menggambarkan hubungan antara berbagai parameter yang diuji yang berlaku untuk sistem desalinasi yang mengaplikasikan rotor dan nosel berputar.



Gambar 4. Metodologi Penelitian Disertasi Doktor

Penelitian tahap ketiga tentang studi eksperimen nosel berputar dilaksanakan mengikuti metodologi sebagai berikut:





Gambar 5. Metodologi Penelitian Nosel Berputar




## BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam laporan kemajuan ini, penelitian telah mencapai tahapan persiapan eksperimen. Pelaksanaan eksperimen dilakukan apabila seluruh piranti telah dipersiapkan dengan baik. Adapun piranti yang dimaksud adalah:

1. Rotor dan nosel.
2. Tangki vakum dan pompa vakum.
3. Unit kondensor dan pompa air pendingin.
4. Pemanas air umpan dan pompa diafragma.
5. Meja instrumentasi

Ilustrasi dari masing-masing piranti ditunjukkan dalam gambar-gambar di bawah ini.

NO	KOMPONEN	
1	Rotor dan nosel	 

2.	Tangki vakum dan pompa vakum.	
3.	Unit kondensor dan pompa air pendingin	 
4.	Pemanas air umpan dan pompa diafragma	
5	Meja instrumentasi	

## BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Sesuai dengan metodologi yang disampaikan dalam bab 4, tahapan selanjutnya dari rangkaian penelitian ini adalah melakukan eksperimen dengan menerapkan metode desain faktorial. Berdasarkan pada jumlah variabel yang akan diuji, maka pada penelitian ini hanya dipilih tiga buah variabel yaitu:

1. Tekanan vakum kabin,
2. Tekanan air umpan dan
3. Putaran rotor.

Eksperimen dilaksanakan sesuai dengan metode desain faktorial  $3^3$  yang disusun sebagai berikut:

	<b>Tekanan Vakum, <math>P_v</math> (bar)</b>	<b>Tekanan Air Umpan <math>P_a</math> (bar)</b>	<b>Putaran Rotor N (rpm)</b>
Rendah	0,6	7,0	53
Sedang	0,5	7,5	85
Tinggi	0,4	8,0	207

Selanjutnya tahapan eksperimen dilaksanakan dengan mengikuti tabel berikut ini,

<b>RUN</b>	<b>Tekanan Vakum, <math>P_v</math> (bar)</b>	<b>Tekanan Air Umpan <math>P_a</math> (bar)</b>	<b>Putaran Rotor N (rpm)</b>	<b>Jumlah Kondensat (kg)</b>
1	0,6	7,0	53	
2	0,5	7,0	53	
3	0,4	7,0	53	
4	0,6	7,5	53	
5	0,5	7,5	53	
6	0,4	7,5	53	
7	0,6	8,0	53	
8	0,5	8,0	53	
9	0,4	8,0	53	
10	0,6	7,0	85	
11	0,5	7,0	85	
12	0,4	7,0	85	
13	0,6	7,5	85	
14	0,5	7,5	85	
15	0,4	7,5	85	
16	0,6	8,0	85	
17	0,5	8,0	85	
18	0,4	8,0	85	
19	0,6	7,0	207	
20	0,5	7,0	207	
21	0,4	7,0	207	
22	0,6	7,5	207	
23	0,5	7,5	207	
24	0,4	7,5	207	

25	0,6	8,0	207	
26	0,5	8,0	207	
27	0,4	8,0	207	

## **BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan yang diperoleh dari kemajuan penelitian ini antara lain:

1. Piranti utama yang terdiri dari rotor dan nosel, kabin vakum, unit kondensor, sistem pemanas dan instrumentasi telah siap digunakan.
2. Variabel yang akan diuji dalam pelaksanaan eksperimen terdiri dari tekanan vakum kabin, tekanan air umpan dan putaran rotor.
3. Eksperimen dilaksanakan dengan menerapkan metode desain faktorial  $3^3$ .



## DAFTAR PUSTAKA

1. Box, George E.P., Statistics for Experimenters, Second Edition, 2005.
2. Montgomery, Douglas C., Design and Analysis of Experiments, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
3. Zhao, Y, Akbarzadeh, A and Andrews, J 2007, 'Combined water desalination and power generation using salinity solar pond', in ISES Solar World Congress 2007 Proceedings, Beijing, China, 18-21 September 2007.
4. M. M. El-Wakil, Powerplant Technology, McGraw-Hill Book Company, International Edition, 1984.
5. White, Frank M., Fluid Mechanics, second edition, McGraw-Hill International Editions., 1988.
6. A. E. Muthunayagama, K. Ramamurthib, J. R. Padena, “Low temperature flash vaporization for desalination”, Desalination, 180 (2005) 25 – 32.
7. P. Maniarasana, Justin Robert Padenb, M. T. Nicholasc, “Design and performance evaluation of swirl injectors for water evaporation at low pressure”, Desalination, 235 (2009) 139 – 145.
8. Adel K. El-Fiqia, N. H. Alia, H. T. El-Dessoukyb, H. S. Fathc, M. A. El-Hefnic, “Flash evaporation in a superheated water liquid jet”, Desalination 206 (2007) 311–321.
9. Sami Mutair and Yasuyuki Ikegami, “Study and Enhancement of Flash Evaporation Desalination Utilizing the Ocean Thermocline and Discharged heat”, International Journal of Engineering and Natural Sciences 4:1 2010.
10. [http://www.greenearthenergy.com.au](http://www.greeneearthenergy.com.au), Geothermal project to produce clean energy and fresh water, RMIT University, January 19<sup>th</sup>, 2010.
11. American Membrane Technology Association, Water Desalination Process, Feb., 2007.
12. [http://www.tpub.com/content/fc/14104/css/14104\\_77.htm](http://www.tpub.com/content/fc/14104/css/14104_77.htm)
13. <http://www.patents.com>
14. <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/specimp.html>.
15. <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/mflchk.html>
16. <http://en.wikipedia.org/wiki/Desalination>
17. Hery Sonawan dan Abdurrachim Halim, “Penelitian Awal Pengembangan Rotor dan Nosel yang Dipakai dalam Sistem Desalinasi dan Pembangkitan Listrik”, Seminar Nasional Teknik Mesin 6 Penemuan dan Inovasi Teknik Mesin dalam Pengembangan Industri Nasional, 2011.
18. Hery Sonawan, Abdurrachim H., Nathanael P. Tandian, Sigit Yuwono, “Studi aliran fluida di dalam model nosel stasioner dengan menggunakan simulasi CFD”, Konferensi Nasional Engineering Perhotelan III, 2012.

## LAMPIRAN