

REVIEW TEKNOLOGI DESALINASI YANG DIKOPLING REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL

REVIEW OF DESALINATION TECHNOLOGY COUPLED WITH EXPERIMENTAL POWER REACTOR

Siti Alimah ^a, Erlan Dewita ^a, Heni Susiati ^a, Teguh Aryanto ^b

^a Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN

^b Departemen Teknik Kimia-UGM, Yogyakarta

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, 12710

Phone/ Fax : (021) 5204243, e-mail : alimahs@batan.go.id, erland@batan.go.id,
heni_susiati@batan.go.id, teguh.ariyanto@ugm.ac.id

Abstrak

BATAN berencana membangun dan mengoperasikan Reaktor Daya Eksperimental (RDE). RDE dengan tipe reaktor gas temperatur tinggi (HTGR), merupakan salah satu kandidat desain reaktor yang limbah panasnya cocok untuk aplikasi desalinasi air laut. Kopling desalinasi dengan RDE, membuat teknologi desalinasi lebih menarik, karena selain menghemat cadangan bahan bakar fosil, ramah lingkungan, juga dapat menambah pasokan kebutuhan air bersih. Terdapat berbagai teknologi desalinasi komersial yaitu menggunakan energi termal dan menggunakan membran dalam proses pemisahannya. *Multi-Stage Flash Distillation* (MSF) dan *Multi-Effect Distillation* (MED) adalah proses desalinasi yang menggunakan energi termal, sedangkan *Reverse Osmosis* (RO) adalah proses desalinasi yang menggunakan membran. Temperatur keluaran uap dari pembangkit RDE adalah 520°C dan selanjutnya uap mengalir ke turbin dengan temperatur keluaran 256°C. Uap tersebut dalam bentuk *superheated* (lewat jenuh) dan yang diperlukan untuk desalinasi adalah uap *saturated* (jenuh). Tujuan studi adalah menentukan teknologi desalinasi yang sesuai dikopling dengan RDE berdasar aspek teknologi. Metode yang digunakan adalah studi literatur terkait permasalahan dan analisis dengan mempertimbangkan aspek keselamatan. Hasil studi diperoleh bahwa teknologi desalinasi MSF lebih sesuai untuk dikopling dengan RDE, dengan skema pengambilan sumber panas sesudah keluar turbin uap.

Kata kunci : teknologi desalinasi, MSF, RDE, skema kopling

Abstract

BATAN plans to build and operate an Experimental Power Reactor (RDE). RDE with the type of high temperature gas reactor (HTGR), is one of the candidates for reactor design whose waste heat is suitable for seawater desalination applications. Desalination coupling with RDE makes desalination technology more interesting, because in addition to save fossil fuel reserves, it is environmentally friendly, it can also increase the supply of fresh water needs. There are various commercial desalination technologies, namely using thermal energy and using membranes. Multi-Stage Flash Distillation (MSF) and Multi-Effect Distillation (MED) is a desalination process that uses thermal energy, while Reverse Osmosis (RO) is a desalination process that uses a membrane. The steam output temperature of the RDE steam generator is 520°C and then flows to the steam turbine with an output temperature of 256°C. The vapor is superheated and what is needed for desalination is saturated steam. The aim of the study was to determine the appropriate desalination technology coupled with RDE based on technological aspects. The method used is the study of literature related to problems and analysis by considering aspects of safety. The results of the

study show that the MSF desalination technology is more suitable to be coupled with RDE, with a coupling scheme for taking heat sources after the steam turbine exits.

Keywords: desalination technology, MSF, RDE, coupling scheme

Diterima (received) : 29 November 2018 , Direvisi (revised) : 01 Maret 2019 ,
Disetujui (accepted) : 12 Maret 2019

PENDAHULUAN

BATAN berencana membangun dan mengoperasikan Reaktor Daya Eksperimental (RDE). RDE, dengan reaktor tipe HTGR dan daya termal 10 MWth (~ 3 MWe), tipe teras *pebble bed*, berpendingin helium dengan temperatur keluar reaktor ~ 700°C dan keluar steam generator ~ 520°C¹⁾. Tujuan utama pembangunan RDE, selain untuk pembangkitan listrik dan demonstrasi keselamatan, juga riset aplikasi panas proses diantaranya untuk desalinasi²⁾.

Desalinasi merupakan salah satu teknologi yang menarik, yang dapat memberikan solusi untuk mengatasi krisis air bersih. Air produk dari instalasi desalinasi, didesain untuk memasok kebutuhan instalasi RDE. Terdapat dua kategori teknologi desalinasi yang telah teruji dan tersedia secara komersial, yaitu proses distilasi dan proses yang menggunakan membran. Proses distilasi tersebut meliputi proses *Multi-Stage Flash Distillation* (MSF) dan *Multi-Effect Distillation* (MED), sedangkan proses yang menggunakan membran adalah *Reverse Osmosis* (RO). Proses distilasi membutuhkan energi panas atau listrik, sedangkan proses yang menggunakan membran hanya membutuhkan energi listrik. Berbagai pilihan energi tersebut adalah energi nuklir, energi fosil dan energi terbarukan. Saat ini, beberapa PLTU/PLTG telah menggunakan proses desalinasi untuk memasok kebutuhan air bersih di fasilitas dan menggunakan bahan bakar fosil untuk proses desalinasi tersebut. Pemanfaatan panas sisa dari RDE untuk proses desalinasi, akan membuat teknologi desalinasi menjadi lebih menarik karena selain menghemat cadangan bahan bakar fosil, ramah lingkungan, juga dapat menambah pasokan kebutuhan air bersih. Seperti diketahui, penggunaan bahan bakar fosil dapat meningkatkan emisi gas-gas CO₂, SO_x, NO_x ke lingkungan.

Ditinjau dari aspek kebutuhan energi, karena instalasi RO hanya membutuhkan energi listrik dan beroperasi dalam temperatur lingkungan, maka proses RO bukan merupakan pilihan dalam studi ini, meskipun proses ini menjadi pusat perhatian karena selain inovasi teknologinya meningkat, biaya air bersih proses ini jauh lebih rendah dari

proses lain^{3,4)}. Oleh karena itu dalam studi ini hanya akan dibahas teknologi desalinasi yang memanfaatkan panas (*thermal*) yaitu MED dan MSF, yang akan dibandingkan untuk dikopling dengan RDE.

Tujuan studi adalah menentukan desalinasi yang sesuai untuk dikopling dengan RDE berdasar aspek teknologi. Metode yang digunakan adalah kajian literatur terkait permasalahan dan analisis dengan mempertimbangkan aspek keselamatan. Hasil studi diharap menjadi masukan dalam pengembangan desain rinci RDE.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah kajian literatur terkait permasalahan dan analisis dengan mempertimbangkan aspek keselamatan.

KARAKTERISTIK TEKNOLOGI DESALINASI MSF DAN MED

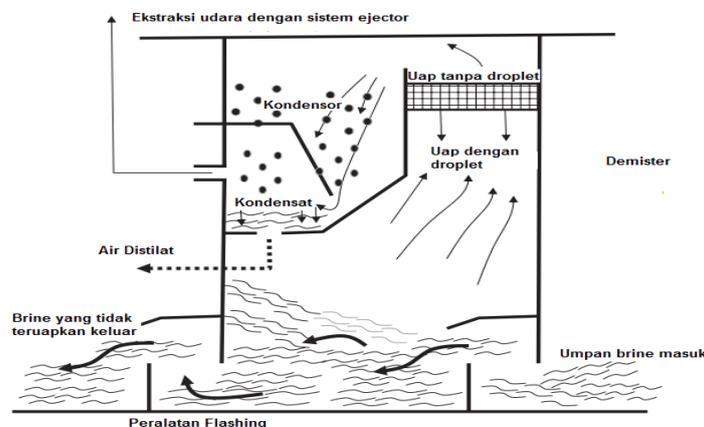
Dua teknologi *thermal* (yang menggunakan panas) yang telah teruji dan komersial adalah MED dan MSF, yang keduanya dapat memproduksi air bersih dalam skala besar. Titik didih air adalah 100°C, tekanan 101,3 kPa. Ketika konsentrasi *solute* meningkat, titik didih larutan meningkat, ketika tekanan menurun temperatur didih menurun. Sejumlah energi (panas penguapan) diperlukan untuk menguapkan cairan, dan untuk air dibutuhkan 2256 kJ/kg pada 100°C. Sejumlah panas yang sama jika dipindahkan maka mengakibatkan uap terkondensasi menjadi cairan. Dalam proses desalinasi, panas hasil kondensasi uap ditransfer ke air umpan sehingga menyebabkan penguapan dan akan memperbaiki efisiensi termal proses, dan akan mengakibatkan konsumsi bahan bakar dan biaya produksi air berkurang.

Multi-Stage Flash Distillation (MSF)

Dalam proses MSF, ketika air laut yang sudah dipanaskan disemprotkan dibagian bawah masing-masing stage melalui *orifice*, karena resistansi aliran dan tekanan statis dari air laut dikurangi, maka butiran-butiran halus segera mendidih dan menguap⁵⁾. Secara keseluruhan, ruang evaporasi dihubungkan dengan sistem pemvakuman di

bagian atas (dengan alat *steam jet ejector*). Air laut yang tidak menguap turun ke bawah dan dipasok ke stage berikutnya (prosedur ini di ulang hingga stage terakhir). Tingkat cairan dibagian bawah dari masing-masing stage harus dijaga serendah mungkin. Jika tidak ada kontrol, penguapan tidak akan terjadi, sehingga laju produksi akan menurun. Uap selanjutnya melalui demister (untuk memisahkan *droplet brine*), dan menuju pipa

yang ada dibagian atas tiap *stage*. Di dalam pipa mengalir air laut yang lebih dingin, sehingga terjadi perpindahan panas dan uap melepaskan panas laten ke air laut yang mengalir di dalam pipa, terkondensasi menjadi produk air bersih. Produk air bersih dalam masing-masing *stage* dikumpulkan dalam *tray* kondensat dan dikeluarkan dengan cara mengalir ke bawah. Skema *stage* tunggal dalam unit MSF diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1.
Skema Diagram Flashing dalam
Stage Tunggal Instalasi MSF⁶⁾

Air laut pendingin yang melalui *tube* (dalam bentuk bundel) pada masing-masing *stage* dikeluarkan dari *stage* pertama. Air laut pendingin tersebut, selanjutnya mengalir keluar dari *stage* pertama dan dipanaskan dalam pemanas brine (Gambar 2), sampai temperatur operasi *stage* pertama. Sumber panas pemanas brine adalah uap yang diekstraksi dari turbin uap tekanan rendah pembangkit tenaga.

Karakteristik instalasi MSF meliputi volume dan aliran air umpan tinggi, korosi dan kerak dapat terjadi dalam instalasi, serta penggunaan bahan kimia dengan laju alir tinggi untuk *treatment* (pengolahan awal) air umpan⁷⁾. Produk distilat mengandung TDS antara 2-50 mg/l. Adanya gas yang tidak terkondensasi memberikan dampak pengurangan pH menjadi ~6,2 (karena adanya karbondioksida). Konsentrat brine dikembalikan ke sumber (laut), dengan konsentrasi TDS 1,4-1,8 kali lebih tinggi dari raw water (umpan air laut) dan temperaturnya sekitar >3-5°C lebih tinggi temperatur lingkungan air laut (sebelum dicampur air pendingin). Sistem MSF membutuhkan energi sekitar 20-27 kWh/m³ untuk memproduksi air bersih dan pengalaman kapasitas komersial melebihi 100.000 ton/hari⁸⁾. Steam yang digunakan sebagai sumber panas untuk proses MSF, diekstraksi dari turbin uap tekanan rendah, dengan temperatur brine

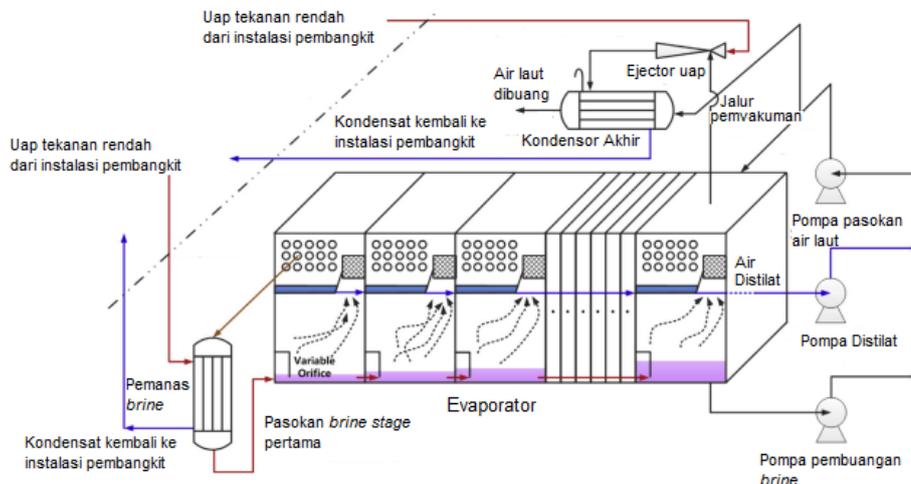
(TBT) dari sumber panas dapat mencapai 120°C-130°C⁹⁾. Instalasi MSF skala besar, dapat terdiri dari 19-28 *stage*. Perbedaan total temperatur antara TBT dan temperatur pasokan air laut menentukan jumlah *stage* MSF, sehingga menentukan kapasitas produksi.

Multi-Effect Distillation (MED)

Konfigurasi instalasi MED meliputi *tube* vertikal atau horisontal. Variasi desain tersebut mempengaruhi pemompaan dalam sistem, yang berkaitan dengan kehilangan energi dan juga pembersihan penukar panas. Horizontal Tube Evaporator (HTE) (Gambar 3) merupakan suatu desain baru, mempunyai keuntungan koefisien perpindahan panas total yang lebih tinggi dari pada vertikal sehingga luas permukaan panas lebih rendah¹⁰⁾. MED menggunakan prinsip pengurangan tekanan pada tiap *effect* evaporatornya, sebagaimana temperatur berkurang¹¹⁾. Air laut hangat masuk efek pertama, disempotkan pada permukaan luar *tube* evaporator. Selanjutnya akan terjadi pendidihan dan penguapan karena adanya perpindahan panas dengan uap yang mengalir di dalam *tube*. Uap di dalam *tube* tersebut berasal dari tangki penguapan (energi panas dari ekstraksi keluaran turbin uap). Uap yang terjadi kemudian dikondensasi dalam *tube* penukar panas di efek berikutnya. Uap yang terkondensasi melepaskan panasnya,

mengevaporasi air umpan dalam efek tersebut¹²⁾. Dalam tiap efek, air laut yang tidak menguap (*brine*) turun, dan dikumpulkan di dasar *stage*, selanjutnya mengalir menuju efek berikutnya, yang di *flash* (diuapkan) dan bercampur dengan air laut umpan yang

diuapkan. Uap dari efek terakhir dikondensasi dalam kondensor distilat. Kondensor ini juga merupakan pemanas air laut umpan. Produk akhir dikumpulkan dalam masing-masing *stage* sebagai air murni.

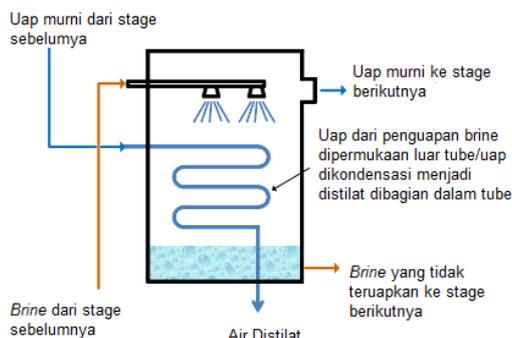


Gambar 2. Skema Diagram Alir Berapa Stage Dalam Instalasi MSF⁸⁾

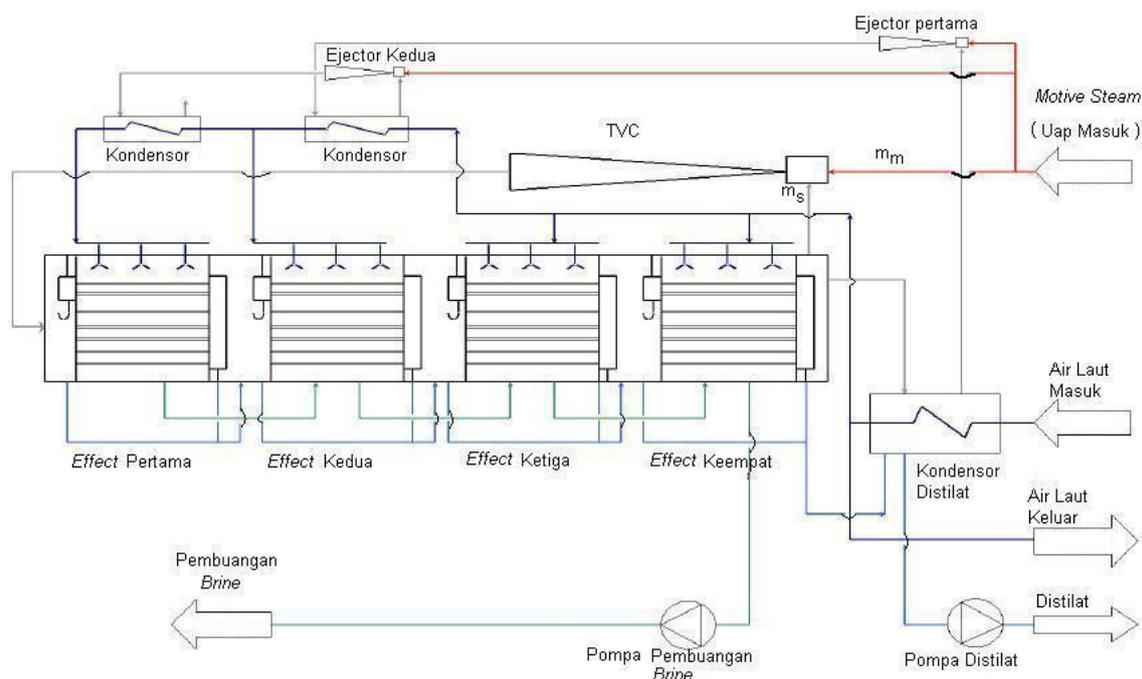
Untuk meningkatkan kinerja evaporator, proses MED dapat merekompresi uap menggunakan *Thermal Vapor Compression* (TVC) dalam efek terakhir, dan kemudian digunakan kembali untuk menguapkan umpan air laut yang dipasok dalam efek pertama (Gambar 4). Penggunaan TVC memanfaatkan kembali sebagian uap yang diproduksi dalam efek terakhir dan dikembalikan ke efek pertama, sehingga terjadi penghematan uap yang berasal dari pembangkit uap¹³⁾. Perbandingan kompresi (perbandingan tekanan keluaran ejector terhadap tekanan masuk uap yang dihisap) pada operasi menggunakan TVC berkisar 1,9-3,3^{13,14)}. Persyaratan temperatur *brine* maksimum untuk proses desalinasi termal dengan teknologi MED berkisar 70°C. Operasi pada suhu rendah akan mengurangi terjadinya

korosi dan kerak, sehingga meminimumkan kebutuhan anti kerak dan perawatan, serta material (harganya relatif lebih murah)¹⁵⁾.

Produk distilat dari proses MED mengandung TDS 2-50 mg/l. Sebagaimana pada proses MSF, adanya gas yang tidak terkondensasi pada MED memberikan dampak pengurangan pH menjadi ~6,2. Konsentrat *brine* dikembalikan ke sumber (laut), dengan konsentrasi TDS 1,4-1,8 kali lebih tinggi dari *raw water* (umpan air laut) dan temperaturnya sekitar 5-25°C lebih tinggi temperatur lingkungan air laut (sebelum dicampur air pendingin). Sistem MED-TVC membutuhkan energi sekitar 16 kWh/m³ untuk memproduksi air bersih dan pengalaman kapasitas komersial sekitar 70.000-80.000 ton/hari.



Gambar 3. Skema Diagram Stage Tunggal dalam Unit MED¹²⁾



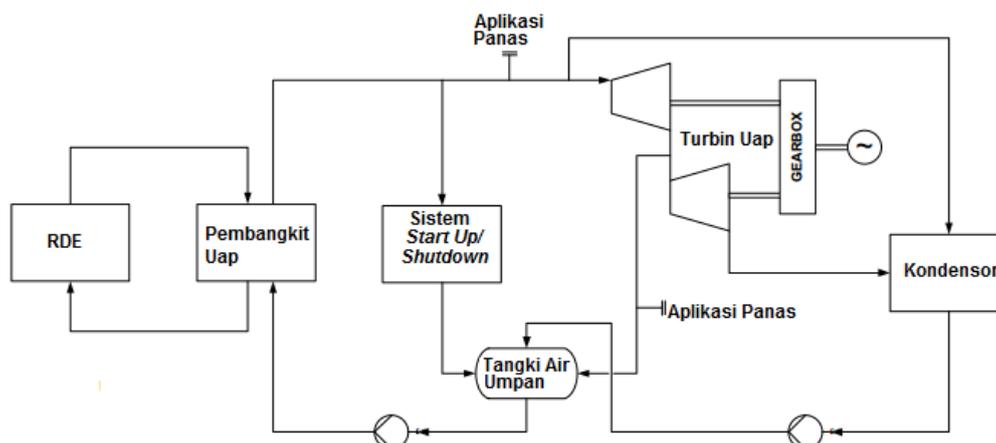
Gambar 4.
Unit Desalinasi MED-TVC^{13,14)}

HASIL DAN PEMBAHASAN

RDE dengan tipe reaktor HTGR, merupakan salah satu kandidat desain reaktor yang limbah panasnya cocok untuk aplikasi desalinasi air laut. Terdapat dua teknologi desalinasi termal yang dapat dikopling dengan RDE, namun untuk menentukan teknologi yang sesuai harus mempertimbangkan efisiensi dan aspek keselamatan. Blok diagram RDE yang direncanakan untuk menghasilkan listrik dan aplikasi panas dari *steam superheated* (uap lewat jenuh) untuk penelitian diperlihatkan pada Gambar 5, pendingin primer yang digunakan dalam sistem adalah helium. Temperatur helium keluar teras reaktor RDE adalah sekitar 720°C, dan selanjutnya mengalir ke *steam generator* (pembangkit uap). Dalam pembangkit uap terjadi perpindahan panas, helium mentransfer panas ke air umpan yang mengalir dalam *tube* penukar panas dalam pembangkit uap. Air umpan masuk pembangkit uap pada temperatur 145°C, setelah menerima panas menjadi *superheated steam* temperatur 520°C dan selanjutnya mengalir menuju *steam turbin* (turbin uap). Oleh karena itu, pembangkit uap adalah salah satu komponen utama dalam HTGR kogenerasi¹⁶⁾. Temperatur uap keluar turbin (*superheated*) adalah sekitar 256°C, tekanan 4,2 bar¹⁷⁾.

Terdapat dua alternatif skema sistem pengambilan panas (sistem kopling) untuk proses desalinasi, yaitu sebelum masuk turbin uap atau sesudah keluar turbin uap, seperti terlihat pada Gambar 5. Jika skema sistem kopling adalah sebelum masuk turbin, maka akan mengurangi produksi listrik, namun jika skema sistem kopling adalah sesudah keluar turbin uap (memanfaatkan panas sisa dari siklus helium) maka tidak akan mengurangi produksi listrik¹⁸⁾. Oleh karena itu pada studi ini RDE yang dikopling dengan desalinasi, skema kopling direncanakan sesudah keluar turbin uap. Turbin uap mengkonversi sekitar dua pertiga dari daya thermal reaktor 10 MWth menjadi listrik ~3 MWe, dan membuang limbah panas *sensible*.

Uap yang dibutuhkan dalam instalasi desalinasi adalah uap jenuh (*saturated*), sehingga jika temperatur uap *superheated* keluar turbin 256°C maka uap tersebut harus dibuat menjadi *saturated*. Pada tekanan yang sama (4,2 bar), dengan menggunakan *desuperheater*, uap *superheated* dirubah menjadi uap *saturated* dan menjadi bertemperatur sekitar 153,4°C¹⁹⁾. Uap pada kondisi tersebut yang akan digunakan sebagai sumber panas instalasi desalinasi. Penggunaan uap *saturated* lebih ekonomis dibanding *superheated* karena jika digunakan uap *superheated* maka memerlukan material konstruksi yang lebih mahal.



Gambar 5.
Blok Diagram RDE dan aplikasi panas¹⁾

Persyaratan desain keselamatan sistem kopling instalasi desalinasi dengan RDE adalah sangat krusial²⁰⁾, yang tidak hanya didasarkan pada reaktor nuklirnya sendiri, tetapi juga keselamatan dari dua sistem yang terintegrasi secara keseluruhan. Terdapat dua jenis isu keselamatan, dalam desain sistem desalinasi nuklir RDE yaitu²¹⁾:

1. Potensi pelepasan atau transfer material radioaktif dalam kondisi operasi normal dan kondisi kecelakaan.
2. Keselamatan reaktor dalam kondisi transient seperti kerusakan dari instalasi desalinasi.

RDE direncanakan berbahan bakar UO_2 TRISO pengayaan rendah ($\leq 17\%$)²⁾. Karena integritas bahan bakar TRISO (*Tri-Structural Isotropic*) tinggi, maka dalam kasus pertama, kemungkinan pelepasan material radioaktif dari bahan bakar nuklir sangat rendah. Meskipun demikian, penukar panas yang merupakan untai antara dengan tekanan lebih tinggi perlu dipertimbangkan untuk proteksi.

Dalam kasus ke dua, keselamatan reaktor dalam kondisi *transient* seperti kerusakan dari instalasi desalinasi (diantaranya perawatan terjadwal tidak dilaksanakan, kecelakaan, pipa uap pecah) sehingga sistem desalinasi tidak berfungsi, maka keadaan dalam kondisi tersebut harus dipertimbangkan dan diperhitungkan dalam desain, sehingga tidak akan mengganggu operasi RDE. Salah satu yang perlu dilakukan untuk meminimalisasi kerusakan instalasi desalinasi adalah penanganan untuk meminimalan fenomena korosi, pengerakan serta *bio fouling*.

Untuk menjamin fungsi keselamatan pengoperasian instalasi desalinasi nuklir maka aspek keandalan struktur, sistem, dan komponen (SSK) terutama untai antara ataupun instalasi yang terkait dengan

keselamatan harus mempunyai tingkat keandalan tinggi, dengan harapan tidak akan terjadi kegagalan fungsi komponen ataupun sistem. Oleh karenanya maka desain sistem dan komponen desalinasi yang dikopling RDE harus didasarkan pada kriteria keselamatan dan kriteria desain yang telah ditetapkan. Dalam tahap desain, margin keselamatan yang tepat harus disediakan untuk mengakomodasi sifat-sifat material/bahan yang dapat berubah selama operasi. Sehingga dalam desain perlu untuk memilih material/bahan yang mempunyai ketahanan terhadap korosi, kerak ataupun mikroba. Selain pemilihan material, peminimalan korosi, kerak dan *biofouling* juga dilakukan dengan *treatment* awal (*pre treatment*) terhadap air laut. Korosi yang terjadi di struktur adalah problem yang dapat menyebabkan retaknya material, yang selanjutnya dapat menyebabkan kebocoran²²⁾. Tritium adalah perhatian utama aspek keselamatan produk radiasi, meskipun telah disebutkan bahwa kemungkinan pelepasan material radioaktif dari bahan bakar nuklir TRISO sangat rendah. Tritium merupakan isotop hidrogen radioaktif, yang permeabilitasnya tinggi dan dapat teroksidasi membentuk air tritiasi dalam bentuk HTO atau T_2O .

Berkaitan dengan aspek teknologi, terletak perbedaan dalam desain alat penukar panas dalam ruang evaporator di MSF dan MED. Perbedaan desain menimbulkan perbedaan terjadinya kerak dan korosi. Dalam MSF, proses evaporasi menggunakan fenomena *flashing* dan pada MED fenomena evaporasi dengan pendidihan. Dalam MSF, air laut dari pemanas *brine* menuju bagian bawah evaporator dan teruapkan, selanjutnya uap dikondensasi dipermukaan luar masing-masing *tube* (bundel *tube*) yang diinstal dibagian atas evaporator, dengan air laut dingin mengalir di dalamnya, sebagaimana

diperlihatkan dalam Gambar 2. Dalam proses MED, uap hasil penguapan evaporator mengalir menuju bundel *tube stage* berikutnya, *brine* disemprotkan di bagian luar *tube* (bundel *tube*), seperti terlihat dalam Gambar 4. Air laut diuapkan di luar permukaan masing-masing *tube*, dan yang tidak teruapkan mengalir ke dasar kolam evaporator. Setelah penguapan, kandungan zat-zat terlarut dalam air laut akan menempel pada permukaan luar *tube* sebagai kontaminan (kerak dan korosi), sehingga cenderung menyebabkan beberapa masalah, seperti temperatur penguapan menjadi lebih tinggi dan pembersihan terhadap kerak dan korosi pada bundel *tube* desain MED lebih susah (kurang optimal). Hal ini menjadi penyebab utama untuk proses MED, sehingga untuk meminimalkan kerak dan korosi maka temperatur *brine* maksimum dibatasi berkisar sekitar 70°C. Sementara itu, uap yang digunakan sebagai sumber panas instalasi desalinasi adalah uap *saturated* bertemperatur 153,4°C yang diekstraksi dari turbin uap RDE. Sehingga jika melihat kondisi temperatur uap yang cukup tinggi (153,4°C), maka instalasi MSF lebih menjadi pilihan untuk dikopling dengan RDE dibanding MED.

SIMPULAN

RDE yang merupakan reaktor gas bertemperatur tinggi, merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, limbah panas dapat dimanfaatkan untuk proses desalinasi memproduksi air bersih melalui unit sekunder. Skema kopling instalasi desalinasi sesudah keluar turbin uap RDE (panas sisa) lebih menjadi pilihan karena tidak akan mengurangi produksi listrik. Temperatur keluaran dari pembangkit uap RDE adalah 520°C dan keluar turbin uap *superheated* 256°C, tekanan 4,2 bar. Pada tekanan yang sama, temperatur *saturated* adalah 153,4°C. Berdasar aspek teknologi, desain *tube* dalam ruang evaporator dengan fenomena flashing MSF, pada temperatur 153,4°C terjadinya kerak dan korosi lebih minimal dibanding proses MED. Terjadinya kerak dan korosi yang lebih minimal akan meminimalkan biaya perawatan, sehingga lebih efisien. Oleh karena itu teknologi desalinasi MSF lebih dipertimbangkan untuk dikopling dengan RDE.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Kementerian Ristek Dikti yang telah memberikan program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional Gelombang II 2018 dan

Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN yang telah memberikan arahan dalam kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Marliyadi Pancoko, et.al., *Design Study of a Straight Tube Bundle Steam Generator for Reaktor Daya Eksperimental*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 5, May 2018.
2. Peng Hong Liem, et.al., *Alternative Fueling Scheme for Indonesian Experimental Power Reactor (10 MWth Pebble-Bed HTGR)*, 5th International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems, INES-5, Japan, 31 October-2 November, 2016.
3. Siti Alimah, dkk, *Pemilihan Teknologi Desalinasi Nuklir di Provinsi Kalimantan Timur*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol. 11, No. 1, 2009.
4. Sudi Ariyanto, Siti Alimah, *Economy Aspect For Nuclear Desalination Selection In Muria Peninsula Using 1000 MWe PWR*, International Conference on Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in The 21, Century, Austria, 2009.
5. Siti Alimah, *Studi Banding Teknologi Desalinasi RO dan MSF Untuk PLTN Jenis PWR*, Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Jakarta, Nov 2007,
6. Abraha Woldai, *Multi-Stage Flash Desalination: Modeling, Simulation, and Adaptive Control*, Engineering Systems and Sustainability Series, CRC Press, Taylor & Franciss Group, LONDON, 2016.
7. Joseph Cotruvo, et.al., *Desalination Technology : Health and Environmental Impacts*, CRC Press, Taylor & Franciss Group, USA, 2010.
8. Chung Hanshik, et.al., *Improved Productivity of the MSF Dsalination Plant by Increasing the TBT*, Journal Eney 107, 2016.
9. Bijan Rahimi, Hui Tong Chua, *Low Grade Heat Driven Multi-Effect Distillation and Desalination*, Library of Congress Cataloging in Publication Data, ISBN : 978-0-12-805124-5, John Fedor, Elsevier Inc, Copyright 2017.
10. Ambient, C.M., et.all., *Overview on Seawater Distillation Technologies*, Jornada Sobre la Dessalació D'aigües, Barcelona, 2005.

11. Alonso, O.A. et.al., *Optimal Coupling of a Nuclear Reactor and Thermal Desalination Plant*, International Conference on Advanced Power Plants, Florida, 2002.
12. INL, *Integration of HTGRs and Seawater Desalination*, NGNP Project No. 23843, 2011.
13. Siti Alimah, Nafi Feridian, *Aspek Tekno-Ekonomi Penggunaan TVC pada Desaliansi MED untuk Pasokan Air Bersih PLTN*, Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Surakarta, 17 Oktober 2009.
14. I.S Park, S.M. Park, J.S Ha, *Design MED and Application of Thermal Vapor Compressor for Multi-Effect desaliantion Plant*, Desalination, 182 (205), 199-208, 21 Februari 2005.
15. Siti Alimah, dkk., *Desalinasi Hybrid MED-RO Sebagai Opsi Pasokan Air Bersih Di Provinsi Kepulauan Babel*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 13, No. 1, Juni 2011.
16. Sukmanto Dibyo, Ignatius Djoko Irianto, *Design Analysis on Operating Parameter of Outlet Temperature and Void Fraction in RDE Steam Generator*, Jurnal Teknologi reaktor Nuklir, Vol 19, No.1, Febuari 2017.
17. Erlan Dewita, dkk., *Desain Proses Kogenerasi Nuklir Melalui Kopling antara RDE Dengan Instalasi Desalinasi*, Progress Report Insinas Oktober, Jakarta, 2018.
18. Erlan Dewita, dkk., *Analisis Konfigurasi Kopling PLTN dan Instalasi Desalinasi Berbasis Perhitungan Ekonomi*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 13, No.2, Desember 2011.
19., "Saturated Steam Table by Temperature, <https://www.tlv.com/global/TI/calculator/steam-table-temperatur.htm>, diakses Januari 2019.
20. Abhijit Raha, et.al, *Safety Analysis of Hybrid Nuclear Desalination Plant Coupled to High Temperature Gas Cooled Reactor*, 2010 2nd International Conference on Reliability, Safety and Hazard - Risk-Based Technologies and Physics-of-Failure Methods (ICRESH), 14-16 Dec. 2010,.
21. Ho Sik Kim, Hee Cheon No, *Thermal Coupling of HTGRs and MED Desalination Plants, and Its Performance and Cost Analysis for Nuclear Desalination*, Journal Desalination 303, 2012.
22. Siti Alimah, *Studi Penukar Panas Antara (IHX) PLTN PWR Kopling Desalinasi MED*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, PTKRN-PKSEN, 2014