



## Estimasi Pengaruh Desalinasi Terhadap Temperatur Umpam Pembangkit Uap RDE

Erlan Dewita<sup>1</sup>, Sukmanto Dibyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Batan, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, Batan, Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung 71, Setu, Tangerang Selatan 15310, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Riwayat Artikel:

Diterima:

27 November 2018

Diterima dalam bentuk revisi:

22 Januari 2019

Disetujui:

11 Februari 2019

#### Kata kunci:

desalinasi  
temperatur umpam  
laju alir massa  
pembangkit uap

### ABSTRAK

**ESTIMASI PENGARUH DESALINASI TERHADAP TEMPERATUR UMPAN PEMBANGKIT UAP RDE.** Reaktor temperatur tinggi tipe HTGR telah dikembangkan dengan berbagai kapasitas daya dan dapat menghasilkan aplikasi listrik dan panas. Salah satu aplikasi panas adalah digunakan untuk desalinasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi pengaruh desalinasi terhadap parameter operasi temperatur air umpam masuk ke dalam pembangkit uap RDE dengan menggunakan program ChemCAD. Parameter yang terkait dengan aplikasi panas tersebut adalah temperatur proses pada untai sistem pendingin sekunder. Oleh karena itu pengaruh terhadap temperatur umpam pembangkit uap perlu estimasi. Uap dari turbin ditentukan sebagai kondisi operasi dalam rentang variasi laju alir massa dan daya untuk desalinasi. Hal ini penting karena air umpam dari tangki dipengaruhi oleh aliran dari kondensor dan dari unit desalinasi. Sistem desalinasi menggunakan penukar panas untuk menguapkan air laut. Hasil estimasi menunjukkan untuk mencapai kondisi temperatur umpam pembangkit uap pada kisaran 140°C – 150°C maka dapat ditentukan dengan penggunaan laju alir massa uap 0,5 kg/s – 0,6 kg/s untuk kebutuhan desalinasi, adapun dayanya pada kisaran 0,3 MJ/s – 0,5 MJ/s. Diharapkan estimasi ini bermanfaat untuk kajian terhadap aplikasi panas untuk sistem desalinasi pada RDE. Selanjutnya kajian secara komprehensif kedepan sangat diperlukan.

### ABSTRACT

**AN ESTIMATION ON THE INLET TEMPERATURE OF RDE STEAM GENERATOR BY EFFECT OF DESALINATION.** The high temperature reactors (HTGR) type have been developed with various power capacities and can produce electricity and heat applications. One of heat application is used for the desalination. Objective of this study is to estimate the effect of desalination on the operating parameters of feed water temperature in the RDE steam generator using the ChemCAD program. An important parameter related to desalination is the process temperature in the loop of secondary cooling system, therefore the effect to the feed temperature of steam generator is estimated. Steam from the turbine was determined as operating conditions in the range of desalination power and temperature variations. This is important, because the flow output from feed tank is influenced by the flow from the condenser and desalination unit. The desalination system uses a heat exchanger to evaporate the seawater. The estimation results show that to achieve the feed temperature into the steam generator in the range of 140°C - 150°C. Therefore, it could be determined the use of steam mass flow rate of 0.5 kg/s – 0.6 kg/s for the desalination, while the power required in the range of 0.3 MJ/s - 0.5 MJ/s. The estimation is expected useful for qualitatively assessment of heat applications for the desalination systems in RDE. Furthermore, future comprehensive studies are required.

**Keywords:** desalination, feed temperature, mass flow rate, steam generator.

© 2018 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

*High Temperature Gas Cooled Reactor* (HTGR) adalah salah satu tipe reaktor nuklir generasi lanjut. Saat ini, desain HTGR dianggap sebagai salah satu reaktor terkemuka untuk PLTN masa depan yang memiliki fitur keselamatan melekat [1]. Aplikasi panas nuklir

dari reaktor HTGR yang bertemperatur tinggi telah dikaji secara luas [2].

Reaktor ini telah dikembangkan dengan berbagai kapasitas daya dan dapat menghasilkan listrik maupun panas temperatur tinggi (~700°C)[3]. HTR-10 dengan kapasitas 10 MWt merupakan contoh reaktor tipe HTGR daya rendah yang berhasil dioperasikan di Cina [4]. Sementara itu, reaktor dengan daya kecil

\*Penulis korespondensi.

E-mail: [erland@batan.go.id](mailto:erland@batan.go.id)

dapat mereduksi *capital cost* sehingga cocok untuk negara berkembang [5].

Reaktor HTGR ukuran kecil yang didesain BATAN saat ini, disebut Reaktor Daya Eksperimental (RDE) memiliki daya termal 10 MWt. Temperatur tinggi yang dihasilkan dari RDE sangat potensial untuk tujuan kogenerasi [6]. Oleh karena itu, RDE dapat diterapkan untuk tujuan kogenerasi dimana panas dari RDE selain digunakan untuk pembangkit daya, sisa panas yang dihasilkan RDE dapat digunakan untuk memasok panas proses industri, seperti: desalinasi, pencairan batubara dan lain-lain sesuai dengan temperatur panas proses yang dibutuhkan dalam industri. Dalam makalah ini, akan dilakukan studi terhadap kogenerasi antara reaktor RDE dengan unit desalinasi sehingga akan dihasilkan daya listrik dan air bersih secara simultan. Studi akan difokuskan pada perhitungan estimasi pengaruh Desalinasi Terhadap Temperatur Umpan Pembangkit Uap RDE.

Pengaruh desain dan parameter operasi sistem kogenerasi pada proses desalinasi, saat ini telah banyak dikembangkan [7]. Desalinasi adalah proses pemurnian/pengurangan garam di dalam air laut lebih dari 1000 ppm menjadi air tawar dengan garam terlarut dibawah 1000 ppm [8]. Ada 2 jenis teknologi desalinasi yaitu melalui proses evaporasi (desalinasi termal) dan proses membran. Adapun dalam proses evaporasi, sumber panasnya dapat berasal dari Pembangkit listrik berbahan bakar fosil (PLTU) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Pemanfaatan panas nuklir untuk proses desalinasi membutuhkan sistem kopling (antar-muka) antara sistem pendingin reaktor dengan instalasi desalinasi, yang berupa loop antara yaitu adanya *Intermediate Heat Exchanger* (IHX) yang berguna untuk menjaga stabilitas dan keselamatan operasi, menghindari kemungkinan risiko kontaminasi radioaktif ke air produk atau salinasi ke sistem pendingin PLTN. Oleh karena itu, sebagai upaya dalam menyediakan kebutuhan listrik nasional dan air bersih, maka penguasaan sistem kogenerasi untuk desalinasi dilakukan pada RDE.

Sistem desalinasi dapat diletakkan pada jalur uap yang keluar dari turbin, sementara itu air umpan untuk pembangkit uap berasal dari unit deaerator sebagai tangki air untuk umpan pembangkit uap. Unit ini yang mengumpulkan

air kondensat dan uap yang digunakan sebagai pemanas pada sistem desalinasi. Dengan demikian parameter operasi pada pembangkit uap dapat dipengaruhi oleh adanya sistem desalinasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi pengaruh aplikasi panas desalinasi terhadap parameter proses pada temperatur air umpan masuk ke dalam pembangkit uap RDE dengan menggunakan program ChemCAD. ChemCAD merupakan perangkat lunak untuk simulasi sebagian besar proses kimia, petro-kimia, farmasi, mekanis dan lingkungan dan dapat digunakan untuk merancang, membuat dan menghitung sebuah proses kimia dalam industri kimia. Estimasi dan analisis ini dirasa penting karena bermanfaat untuk mendukung data desain sistem desalinasi pada RDE terutama pengaruhnya terhadap parameter operasi khususnya pada sistem pembangkit uap.

## 2. APLIKASI PANAS PADA RDE

Panas yang dihasilkan dalam reaktor didinginkan oleh aliran gas Helium sebagai sistem pendingin primer dalam siklus pendinginan tak langsung. Gas Helium keluar dari reaktor didesain pada temperatur 700°C dan bertekanan 5 MPa.

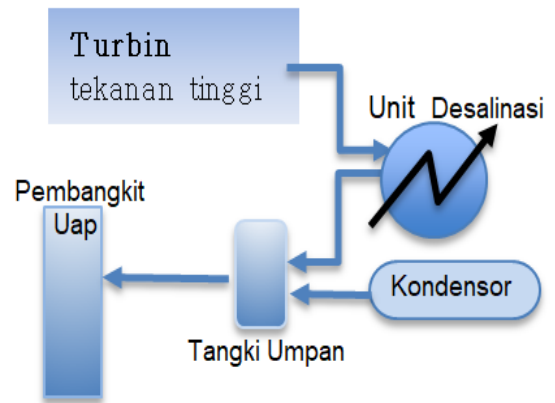
Panas yang dibawa oleh gas Helium dari teras reaktor ditransfer ke sistem pendingin sekunder melalui pembangkit uap sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 Diagram Alir sistem pendingin RDE.

Di dalam desain RDE, panas nuklir yang dihasilkan selain digunakan untuk produksi listrik, sebagian energi panas yang tersisa dimanfaatkan untuk pengembangan sistem kogenerasi, disamping itu energi termal juga dapat bermanfaat untuk tujuan riset lainnya. Oleh karena itu, tipe reaktor HTGR (*High Temperature Gas cooled Reactor*) yang bekerja pada temperatur tinggi, cocok untuk diimplementasikan dalam berbagai konsep kogenerasi.

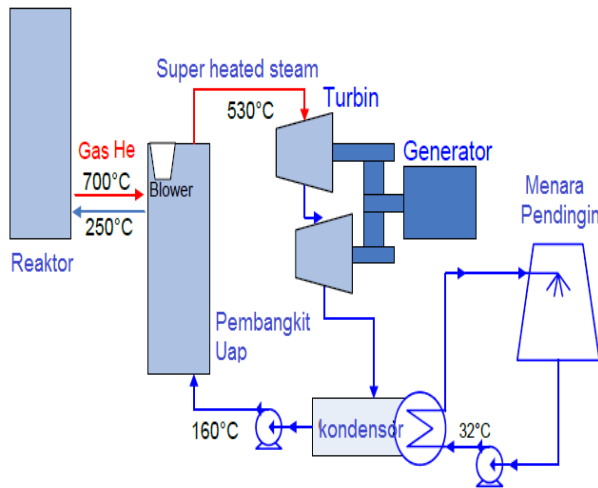
Dalam desain RDE pada untai pendingin sekunder, unit pembangkit uapnya mampu menghasilkan uap pada kisaran temperatur hingga 530°C. Uap panas lanjut (*superheated steam*) pada temperatur tinggi tersebut sangat potensial untuk tujuan kogenerasi yang dalam hal

ini ditujukan untuk mensuplai panas dalam proses desalinasi.

Proses desalinasi merupakan teknologi yang berfungsi mengubah air laut sebagai bahan baku menjadi air bersih (air tawar). Salah satu jenis teknologi desalinasi yang dikopel dengan memanfaatkan panas dari reaktor nuklir dan telah teruji diantaranya adalah MED (*Multi-Effect Distillation*), MSF (*Multi-Stage Flash Distillation*) yang tergolong dalam teknologi desalinasi termal dan RO (*Reverse Osmosis*). Dalam konsep desain aplikasi panas pada RDE, uap panas diambil dari jalur keluar turbin tekanan tinggi menggunakan unit penukar panas untuk ditransfer panasnya ke instalasi kogenerasi desalinasi.



Gambar 2. Diagram Blok Desain Aplikasi Panas RDE untuk Desalinasi.



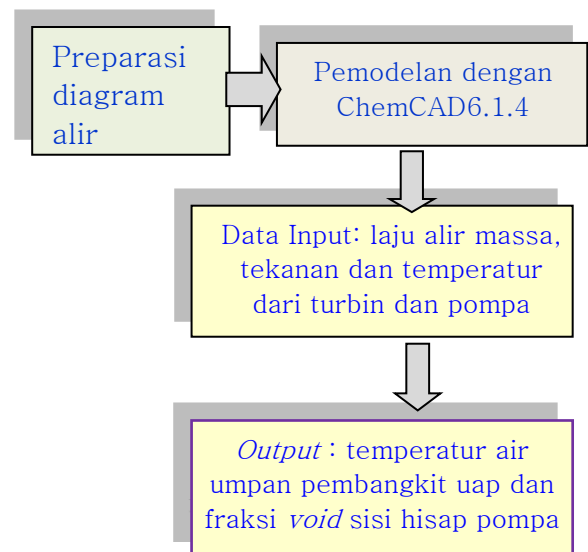
Gambar 1. Diagram Alir Sistem Pendingin RDE [9].

Aspek yang paling penting dalam sistem desalinasi adalah jumlah daya dan air yang diperlukan dan tergantung kualitas air yang digunakan (air laut). Gambar 2. Menunjukkan diagram letak penempatan sistem aplikasi panas pada RDE. Setelah uap melalui unit desalinasi, maka dialirkan kembali ke pembangkit uap melalui tangki umpan. Begitu pula air kondensat dari kondensator diumpukan kembali ke pembangkit uap sebagaimana halnya pada *Balance of Plant* sistem pendingin PLTN pada umumnya [10].

Dalam desain RDE, hanya sebagian uap yang bertekanan 8,0 bar dan bertemperatur 306°C dari turbin bertekanan tinggi digunakan untuk aplikasi panas [11,12]. Sementara itu, uap dari turbin bertekanan rendah diembunkan oleh kondensator.

### 3. METODOLOGI

Diagram langkah estimasi yang merupakan kegiatan metodologi ditunjukkan pada Gambar 3. Diagram ini meliputi langkah preparasi diagram alir untuk aplikasi panas, pemodelan dengan program ChemCAD6.4.1 untuk desalinasi, data *input* dan mengolah data untuk memperoleh hasil (*output*).



Gambar 3. Diagram Langkah Metodologi.

Berikut data input dan asumsi yang dipakai dalam analisis,

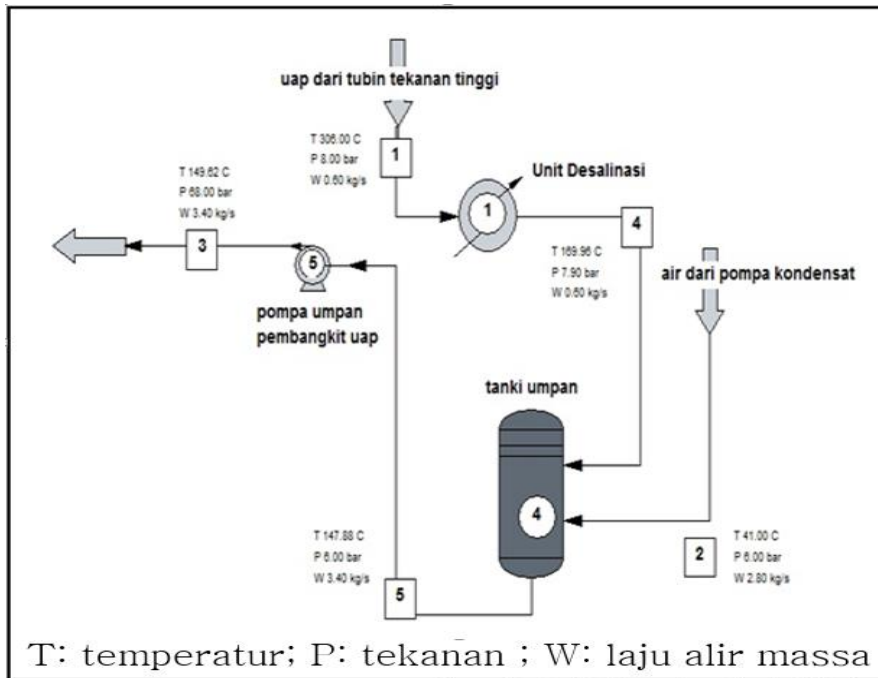
- Tekanan uap dari *outlet* turbin tekanan tinggi adalah 8,0 bar.
- Temperatur uap *outlet* dari turbin tekanan tinggi : 306 °C.
- Aplikasi panas untuk desalinasi dianalisis pada rentang variasi daya 0,1 MJ/s – 0,5 MJ/s.

- Aliran uap panas untuk sistem desalinasi dianalisis pada rentang 0,4 – 0,8 kg/s.
- Analisis ditetapkan pada kondisi tunak (*steady state*).
- Sistem adiabatik.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penggunaan sistem desalinasi terhadap parameter operasi temperatur umpan pembangkit uap RDE telah diperoleh. Temperatur yang cukup tinggi dari turbin memberikan keuntungan untuk aplikasi sistem desalinasi ini. Gambar 4 menunjukkan diagram PFD (*Process Flow Diagram*) untuk fasilitas aplikasi panas pada desain RDE yang menggunakan alat penukar panas untuk transfer

panas dari jalur *outlet* uap turbin bertekanan tinggi (*High Pressure Turbine*, HPT). Parameter yang ditampilkan pada Gambar tersebut meliputi temperatur (T), tekanan (P) dan laju alir *massa* (W) setiap jalur yang terkait dengan unit desalinasi. Dari jalur <1> pada Gambar 4, aliran uap kondisi T=308°C, P=8,00bar dan W=0,60kg/s diinputkan pada sistem desalinasi maka diperoleh data di setiap jalur berdasarkan neraca *massa* dan energi. Parameter proses sistem unit desalinasi sangat berpengaruh pada kondisi air umpan pembangkit uap, semakin besar daya yang digunakan untuk proses desalinasi maka semakin turun temperatur air umpan (jalur <5>) untuk pembangkit uap. Meskipun demikian, pompa umpan pembangkit uap senantiasa menaikkan tekanan aliran umpan air menuju pembangkit uap (jalur <3>).



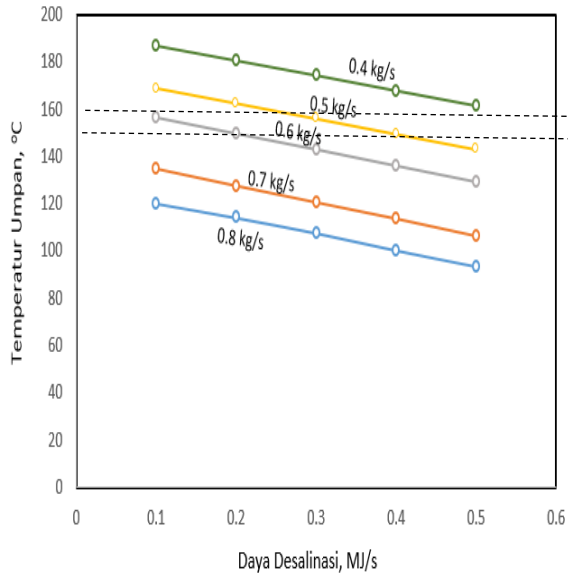
Gambar 4. Diagram Alir Pendingin RDE Terkait Unit Desalinasi menggunakan ChemCAD.

Gambar 5 menunjukkan kurva temperatur umpan pembangkit uap *versus* daya desalinasi pada berbagai laju alir *massa* uap yang digunakan untuk aplikasi panas. Dari kurva ini dapat diestimasi bahwa untuk mencapai kondisi temperatur umpan pembangkit uap pada kisaran 140°C – 150°C maka dapat ditentukan penggunaan laju alir massa uap 0,5kg/s – 0,6kg/s untuk kebutuhan desalinasi, adapun dayanya pada kisaran 0,3 MJ/s – 0,5MJ/s. Penentuan daya dalam aplikasi panas ini penting dalam sistem kogenerasi di

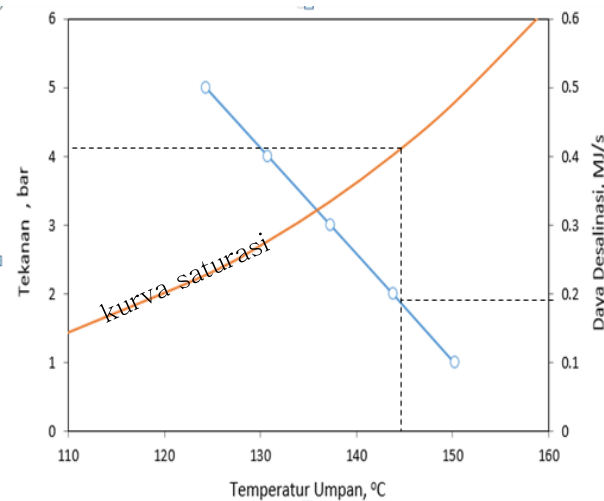
mana reaktor RDE yang merupakan salah satu jenis reaktor daya yang mengutamakan produksi listrik.

Gambar 6. Menunjukkan diagram pengaruh antara daya desalinasi yang digunakan dengan temperatur umpan dan tekanan pompa umpan pembangkit uap. Berdasarkan estimasi Dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 di mana ditetapkan laju alir *massa* uap sebesar 0,6kg/s. Untuk daya 0,2MJ/s maka temperatur umpan akan berada sekitar 145°C. Secara

bersamaan, kurva ini memberi informasi bahwa pada temperatur umpan tersebut maka tekanan hisap pompa umpan harus lebih dari 4,1 bar. Hal ini untuk menghindari fraksi *void* sehingga *Net Positive Suction Head* (NPSH) yang diperlukan pompa umpan dapat terpenuhi [13].



Gambar 5. Kurva Temperatur Umpan vs. Daya Desalinasi pada berbagai Laju Alir Massa.



Gambar 6. Kurva Daya Desalinasi, Temperatur Umpan dan Tekanan Pompa umpan pembangkit uap.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada kaidah neraca massa dan energi, maka untuk mencapai kondisi temperatur umpan pembangkit uap pada kisaran 140°C – 150°C, dapat ditentukan penggunaan laju alir massa uap 0,5kg/s – 0,6 kg/s untuk kebutuhan proses desalinasi, adapun dayanya pada kisaran 0,3MJ/s – 0,5MJ/s. Estimasi

terhadap pengaruh parameter temperatur umpan pembangkit uap ini diharapkan bermanfaat untuk memperoleh hasil penelitian sistem aplikasi panas khususnya untuk desain konseptual sistem desalinasi pada reaktor RDE.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Marliyadi Pancoko B.Eng sebagai ketua TIM desain proses RDE dan semua pihak atas diskusinya sehingga karya tulis ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih juga kepada Program Flagship Ristekdikti sebagai pendukung dana penelitian.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. A.C. Kadak, "The Status of the US High-Temperature Gas Reactors", *Engineering*, vol. 2, 2016, p.119-123.
- [2]. M.F. Orhan, I. Dincer, M.A. Rosen and M. Anoglu, "Integrated hydrogen production options based on renewable and nuclear energy sources", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2012, p.60-82.
- [3]. X. Yan, H. Noguchi, H. Sato, Y. Tachibana, K. Kunitomi and R. Hino, "A hybrid HTGR system producing electricity, hydrogen and such other products as water demanded in the Middle East", *Nuclear Engineering Design*, 2014, 217, p. 2-9.
- [4]. F. Chen, Y. Dong. and Z. Zhang, "Temperature Response of the HTR-10 during the Power Ascension Test", *Sci. Technol. Nucl. Install*, 2015, p.1-13.
- [5]. H. Ohashi dkk, "A Small-Sized HTGR System Design for Multiple Heat Applications for Developing Countries", *International Journal of Nuclear Energy*, Vol.2, Article ID 918567, 2013, p.18. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/918567>. Tgl.akses:12/10/2018.
- [6]. E. Dewita, S. Alimah, "Pengolahan Konsentrat Desalinasi Nuklir Dengan Konsep Zero Discharge Desalination Untuk Pulau Bangka", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol.17, No.1, Juni 2015.
- [7]. P.A. Boateng, dkk, "Modeling and simulation of cogeneration nuclear power plant for seawater desalination", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 242, Januari. 2012, p. 143-147.
- [8]. G.R. Sunaryo, Sumijanto, S.N. Lafifah, "Perancangan Sistem Pemurnian Air Laut Menjadi Air Tawar Berdasarkan Metoda Desalinasi Multistage Flash Distillation, Aspek Dasar Proses dan Termodinamika", *Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-IV*, ISSN No:1410-0533, Serpong, 05 Mei 1999.
- [9]. M. Subekti, S. Dibiyo, M.A. Gofar, "The Comparison of Fuel Model Arrangement on coolant thermal Analysis For Indonesia Experimental Power Reactor Design", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*

*Energi Nuklir 2016*, ISSN: 2355-7524, Batam, 4-5 Agustus 2016.

[http://repo-nkm.batan.go.id/1004/1/PROSIDING\\_JUNE%20M\\_PKSEN\\_2016.pdf](http://repo-nkm.batan.go.id/1004/1/PROSIDING_JUNE%20M_PKSEN_2016.pdf)

- [10]. S. Diby, Februari 2008, "Kajian Desain Kondenser Pada Sistem Pendingin PWR", *Majalah ilmiah Sigma Epsilon*, ISSN 0853-9103, Vol.12, No.1, <http://jurnal.batan.go.id/index.php/sigma/article/view/2928> . Tgl.akses: 18/09/2018.
- [11]. S. Diby, G.R. Sunaryo, S. Bakhri, I.D. Irianto, "Analysis on Operating Parameter Design to Steam Methane Reforming in Heat Application RDE", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 962, Issue 1, Pages 012052, Publisher IOP Publishing, 2018/2. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/962/1/012052/pdf>. Tgl.akses: 20/09/2018.
- [12]. S. Diby, I.D. Irianto, Maret 2017. "Design analysis on operating parameter of outlet temperature and void fraction in RDE steam generator", *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA*, vol.19, Issue 1, p.33-40, <http://dx.doi.org/10.17146/tdm.2017.19.1.3228>, Tgl.akses: 20/09/2018.
- [13]. S. Diby, "Analisa Tekanan Sisi Hisap Pendingin Primer Di *Delay Chamber* RSG-GAS", *Prosiding Seminar hasil penelitian P2TRR*, 1999-2000, pp.69-72. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20357963> . Tgl.akses: 23/10/2018.