

SIMULASI BALANCE OF PLANT SISTEM PENDINGIN RDE MENGGUNAKAN FLOWNEX

Kiswanta¹, Arief Adityas Budiman², M. Subekti³

^{1,2,3}Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN
Gd. 80 Kawasan Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan, Banten, INDONESIA

¹E-mail : kiswanta-igos@batan.go.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 15-11-2020
revisi : 02-02-2021
diterima : 03-02-2021
dipublish : 09-02-2021

ABSTRAK

Reaktor Daya Eksperimental (RDE) adalah reaktor daya non komersial dan kogenerasi berbasis pendingin gas dan moderator grafit yang direncanakan dibangun di Indonesia. Daya listrik yang direncanakan maksimal 10,0 MWatt. Dengan adanya reaktor ini maka SDM Indonesia akan dapat memiliki pengalaman dalam menguasai teknologi reaktor daya jenis pendingin gas dan mendukung proyek pembangunan PLTN (reaktor daya komersial) yang memerlukan persiapan matang. Keselamatan merupakan aspek yang mendapat perhatian utama dalam Instalasi RDE. Instalasi RDE didesain, dibangun dan dioperasikan berdasarkan ketentuan-ketentuan, peraturan-peraturan dan standar-standar (*codes and standards*) yang harus diikuti, yang secara terus-menerus diperbarui dengan mempertimbangkan pengalaman-pengalaman yang diperoleh selama membangun dan mengoperasikan Instalasi RDE yang ada. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian kajian desain *Balance of Plant* Sistem Pendingin RDE. Tujuan penelitian ini adalah melakukan simulasi dan kajian *Balance of Plant* Sistem Pendingin RDE dengan *software* Flownex untuk memahami aspek keselamatannya. Metode penelitian dilakukan dengan melakukan kajian pustaka, pemodelan, analisis dan review desain *Balance of Plant* sistem pendingin RDE dengan menggunakan *software* Flownex. Hasil penelitian menunjukkan bahwa validasi model termodinamika terhadap data Brayton diperoleh kesalahan relatif terbesar 2,39 % sehingga valid untuk digunakan dalam analisis termodinamika desain RDE 10 MW. Peningkatan laju alir pendingin primer dari 4,3 kg/s sampai dengan 5,5 kg/s diikuti kenaikan energi yang diperlukan untuk proses kompresi dari 2,47 MW sampai dengan 3,32 MW sehingga terjadi peningkatan EUF dari 29,17% sampai dengan 55,92%.

Kata kunci : Flownex; pemodelan; simulasi; Sistem pendingin RDE

ABSTRACT

Balance Of Plant Simulation For RDE Cooling System Using Flownex. *Experimental Power Reactor (RDE) is a non commercial power reactors and the cooling gas-based cogeneration and graphite moderator which will be built in Indonesia. The planned maximum electric power Mwatt 10.0. Given this reactor, the Indonesian human resources will be able to have experience in mastering the power reactor technology and supports the type of refrigerant gas plant construction projects (commercial power reactors) that require proper preparation. Safety is an aspect that is a major concern in the Installation RDE. Installation RDE was designed, built and operated under the provisions, regulations and standards (codes and standards) to be followed, which is continuously updated taking into account the experiences gained during build and operate installations RDE there. Therefore, it will be done the research study design Balance of Plant Cooling System RDE. The purpose of this study was to simulate and study the Balance of Plant Cooling System RDE with Flownex software to understand the safety aspect. The research method was conducted by literature review, modelling, analysis and review of the Balance of Plant design of the cooling system by using software Flownex RDE. The results showed that the validation Brayton thermodynamic models to data obtained by the largest relative error of 2.39% that is valid for use in the analysis of the thermodynamic design of RDE 10 MW. Improved primary coolant flow rate of 4.3 kg / s up to 5.5 kg / s followed by the increase in energy needed for the compression process from 2.47 MW to 3.32 MW resulting in increased EUF from 29.17% up to 55.92%.*

Keywords : Cooling System RDE; modeling; simulation; Flownex

PENDAHULUAN

Sesuai UU No. 10 Tahun 1997, BATAN sebagai Badan Pelaksana mempunyai tugas dalam litbang tenaga nuklir dalam rangka penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir untuk keselamatan, ketenteraman, dan kesejahteraan rakyat. BATAN dapat melakukan pembangunan, pengoperasian dan komisioning reaktor daya non komersial, antara lain reaktor daya eksperimen. Dalam melaksanakan tugas ini BATAN dapat bekerjasama dengan instansi pemerintah lain atau perguruan tinggi negeri. Selain itu juga, dalam PP 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan

Bahan Nuklir, Pasal 5 disebutkan “Pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning reaktor daya non komersial atau reaktor non daya non komersial dilaksanakan oleh BATAN” (Marshelia, 2016).

Reaktor Daya Eksperimental (RDE) adalah reaktor daya non komersial dan kogenerasi berbasis pendingin gas dan moderator grafit yang direncanakan dibangun di Indonesia. Daya listrik yang direncanakan maksimal 10,0 MW Dengan adanya reaktor ini maka SDM Indonesia akan dapat memiliki pengalaman dalam menguasai teknologi reaktor daya jenis pendingin gas dan mendukung proyek

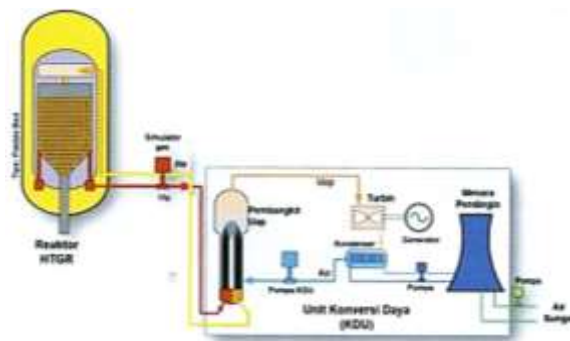
pembangunan PLTN (reaktor daya komersial) yang memerlukan persiapan matang.

Pengoperasian RDE yang aman sangat terkait dengan kelakuan bergantung waktu dari sistem pembangkit listrik secara keseluruhan (yaitu teras dan *balance of plant*). Karena kebergantungan bahan-bahan teras yang tinggi terhadap temperatur serta gradien temperatur yang besar pada teras reaktor RDE, maka dinamika dari reaktor RDE hanya dapat dianalisis dengan baik dengan adanya gabungan (*coupling*) antara komputasi neutronik dan termohidraulik. Meskipun perangkat lunak untuk analisis transien neutronik dan termohidraulik telah dibangun dalam beberapa dekade ini, baru pada dekade terakhir ini kekuatan komputer yang ada mampu untuk memberikan pemecahan terhadap transport neutron dan dinamika fluida secara teliti. Perangkat lunak yang menggabungkan dua aspek fisis ini terkadang disebut multi-fisis (*multi-physics code*), keberadaannya membuat dinamika reaktor yang kompleks dapat dianalisis dengan teliti (Irianto, 2011).

Oleh karena itu akan dilakukan penelitian kajian desain *Balance of Plant* Sistem Pendingin RDE untuk memahami aspek keselamatannya. Metode penelitian dilakukan dengan melakukan kajian pustaka, pemodelan, analisis dan review desain *Balance of Plant* sistem pendingin RDE dengan menggunakan *software* Flownex. Dari hasil kajian dengan *software* Flownex diharapkan akan diperoleh dokumen perbandingan antara sistem pendingin RDE dengan HTR-10 sebagai acuan reaktor sebenarnya.

TEORI

Pembuatan gambar desain *balance of plant* sistem pendingin RDE dengan *software* Flownex dengan memasukkan data library mengacu pada desain reactor HTGR Brayton (Anonim, 2001). Untuk sistem pendingin RDE mengikuti gambar 1 tentang rencana pembangunan RDE di Indonesia seperti berikut :



Gambar 1. Sistem Pendingin RDE 10 MW (Awwaluddin et al., 2019)

Untuk sistem pendingin RDE, beberapa karakteristik tertentu dapat diringkas sebagai berikut :

- Bagian *inlet* dan *outlet* suhu pendingin primer masing-masing 250°C dan 700°C. Titik pengukuran suhu ditetapkan pada *outlet* dalam pembangkit uap dan *outlet* helium.
- Laju aliran massa pendingin primer sebesar 5.3 kg/s dihitung dari data tekanan *blower* helium. Untuk mencegah *overpressure* kecelakaan dari RDE, tekanan pendingin primer harus diukur dan digunakan sebagai salah satu sinyal pemicu untuk sistem perlindungan.
- Suhu bejana tekan reaktor dan sungkup beton reaktor harus berada di bawah suhu ambang batas.
- Distribusi suhu grafit dan logam komponen di teras harus dipantau untuk memastikan operasi reaktor dalam

- kondisi aman dan untuk memverifikasi parameter desain HTR-10.
- e. Di dalam pembangkit uap dari RDE, tekanan uap lebih tinggi dari tekanan pendingin primer.
 - f. Teras RDE diletakkan di dalam bejana tekan reaktor dan sungkup reaktor.
 - g. Tekanan operasi 3.0 MPa, dan maksimum tekanan untuk kondisi kecelakaan adalah 3.85 MPa.
 - h. Tekanan desain adalah 3.5 MPa dan desain suhu 1000° C. Secara lengkap desain RDE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sistem pendingin primer RDE

No.	Nama Parameter	Ukuran
1.	Core power	10 MWt
2.	Core flowrate	5.3 kg/s
3.	Core's heigh / diameter	197 cm / 180 cm
4.	Fuel element (FE) number	27000
5.	Sphere diameter of pebble-bed fuel	6,0 cm
6.	Wall material	Graphite
7.	Coolant	Helium
8.	Fluid pressure	3 MPa
9.	Inlet / outlet Temperature	250 °C / 700 °C
10.	Average thermal power	0.36 kW/FE

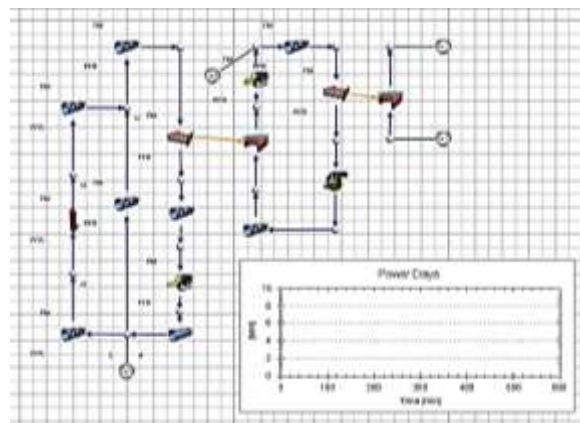
Selanjutnya dari tabel 1 akan dimasukkan pada inisiasi modeling RDE (Xu & Zuo, 2002).

METODOLOGI

Pembuatan modeling RDE Software Flownex® SE2013

Pembuatan model simulasi dimulai dari membuka Flownex, membuat *project* baru, menentukan topik permasalahan, memilih komponen pada data menu, menggambar sistem, menentukan parameter spesifikasi komponen, parameter fisis input, memilih media aliran, simpan *project*, periksa semua data komponen dan proses dijalankan (*Running*). Sambil memeriksa jika terjadi *error* atau kesalahan, perhatikan tampilan

parameter yang dimonitoring pada saat simulasi. Lakukan simpan data dengan Excel dan monitoring selama simulasi berlangsung. Lamanya simulasi tergantung pada proses eksperimen yang disesuaikan dengan kondisi operasi yang dikehendaki. Pembuatan gambar *project* dengan Flownex, selanjutnya dilakukan pemasukan data-data spesifikasi komponen sesuai dengan data base perangkat acuan. Untuk pemodelan sistem reaktor RDE 10 MW digunakan data acuan dari reaktor HTR-10 dari Cina yang sudah dipublikasikan (Xu & Zuo, 2002) (Liu et al., 2003). Pembuatan *project* pemodelan RDE 10MW dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan RDE 10MW HTGR dengan Flownex (M.Tech, 2013)

Dari gambar 2 di atas terlihat bahwa rangkaian simulasi dengan komponen-komponen teras, pemipaan, pembangkit uap, turbin dan kompresor dihubungkan dengan garis biru sebagai rangkaian sistem reaktor RDE 10MW. Indikator parameter fisis dari masing-masing titik pengukuran dapat ditampilkan dalam angka digital sesuai besaran satuan yang dikehendaki atau diplot secara kurva dengan *wavechart*. Pada saat simulasi akan dijalankan, pengguna harus menekan tombol RUN (▶) sehingga proses berjalan seperti keadaan

reaktor sedang beroperasi. Pada saat tersebut dapat dilakukan pemantauan semua indikator digital yang nampak seperti sedang beroperasi. Proses tersebut berlangsung terus menerus sambil merekam data dalam bentuk teks dokumen ke dalam media penyimpanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menganalisis model proses termodinamika sistem RDE 10MW digunakan acuan desain konseptual sistem Brayton. Pemodelan proses termodinamika sistem RDE 10MW dibuat dengan menggunakan Flownex. Pemodelan meliputi model proses termodinamika dalam reaktor nuklir sebagai pemanas non-isobarik (tetapi mendekati isobarik), proses termodinamika kompresi gas non-isentropis dalam kompresor. Untuk tujuan melakukan validasi, terhadap model proses termodinamika yang telah disusun tersebut, maka program digunakan untuk menghitung desain konseptual sistem serupa, yaitu desain konseptual sistem Brayton yang telah dikembangkan oleh M-Tech, Afrika Selatan). Hasil yang diperoleh dari proses validasi ini

ditunjukkan dengan perbandingan parameter keadaan untuk 6 titik pengamatan (T1 s.d T6 dan P1 s.d P6) seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan pengamatan pada RDE 10MW terhadap Brayton.

Parameter	Nilai parameter		Kesalahan relatif (%)
	Brayton	RDE 10MW	
T ₁ , °C	700,0	700	0,00
P ₁ , MPa	3,0	3,0	0,00
T ₂ , °C	250	170,81	2,39
P ₂ , MPa	3,61	3,60	0,27
m, kg/det	5.3	5.3	0,00

Dari tabel 2 hasil validasi model termodinamika terhadap data Brayton di atas, terlihat bahwa kesalahan relatif terbesar hanya 2,39 %. Oleh karena itu, model siklus Brayton-Turbin gas yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak Flownex memadai untuk digunakan dalam analisis termodinamika desain RDE 10 MW.

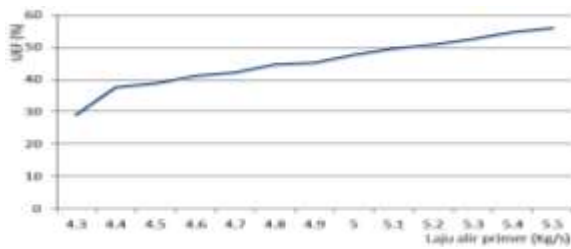
Selanjutnya model desain RDE 10MW menggunakan perangkat lunak Flownex seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dianalisis. Hasil analisis termodinamika desain RDE 10MW dan sistem konversi energi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Laju Alir Terhadap Kondisi Termodinamika dan EUF RDE 10MW

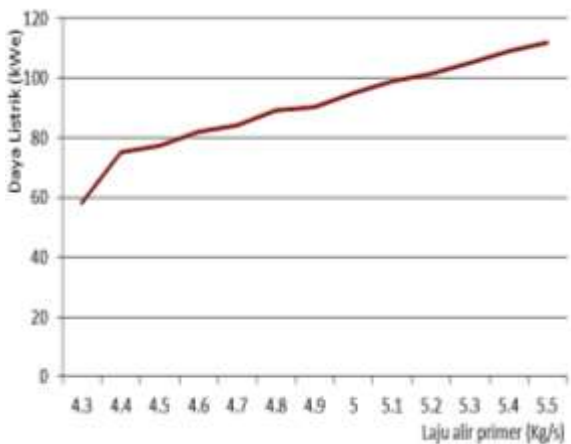
No.	Laju alir primer (Kg./ S)	Daya Reaktor (MWt)	Daya Steam Generator (MWt)	Daya Kompresor (MWt)	Daya mekanik Turbin (kWt)	Daya Listrik Generator (kWe)	EUF (%)
1.	4,30	10	7,53	2,47	105	58,34	29,17
2	4,40	10	7,25	2,75	121	75,25	37,63
3.	4,50	10	7,12	2,82	123	77,52	38,76
4.	4,60	10	7,06	2,96	127	81,98	40,99
5.	4,70	10	7,02	2,98	129	84,33	42,17
6.	4,80	10	7,01	2,99	133	89,15	44,58
7.	4,90	10	7,00	3,00	134	90,37	45,19
8.	5,00	10	6,96	3,04	138	95,10	47,55
9.	5,10	10	6,87	3,13	141	98,93	49,47
10.	5,20	10	6,84	3,16	143	101,52	50,76
11.	5,30	10	6,81	3,19	146	105,14	52,57
12.	5,40	10	6,77	3,23	149	109,14	54,57
13	5,50	10	6,68	3,32	151	111,84	55,92

Selanjutnya dari tabel dibuat grafik dengan hubungan antara *Energy Utilization Factor* (EUF) terhadap Laju alir primer, daya

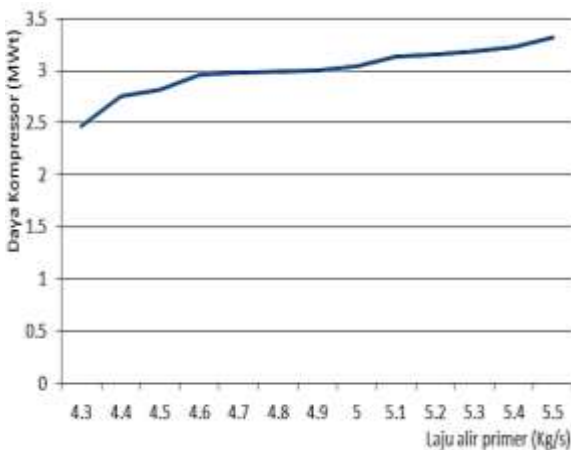
listrik yang dibangkitkan turbin terhadap laju alir primer dan daya *compressor* terhadap laju alir primer seperti Gambar 3, 4, 5.



Gambar 3. Kurva Hubungan EUF vs Laju alir primer



Gambar 4. Kurva Hubungan Daya Listrik terhadap Laju Alir Primer



Gambar 5. Kurva Hubungan Daya Kompresor terhadap Laju Alir Primer

KESIMPULAN

Hasil penelitian simulasi dengan perangkat lunak Flownex menunjukkan bahwa validasi model termodinamika terhadap data Brayton diperoleh kesalahan relatif terbesar 2,39 % sehingga valid untuk digunakan dalam analisis termodinamika desain RDE 10 MW.

Peningkatan laju alir pendingin primer dari 4,3 kg/s sampai dengan 5,5 kg/s diikuti kenaikan energi yang diperlukan untuk proses kompresi dari 2,47 MW sampai dengan 3,32 MW sehingga terjadi peningkatan EUF dari 29,17% sampai dengan 55,92%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Bpk. Deswandri, Dedy Haryanto dan Kepala PTKRN yang telah banyak membantu dalam penyusunan makalah ini. Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset dan Teknologi/BRIN Republik Indonesia melalui Program Hibah Insinas Tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2001). Introduction To The Pebble Bed Modular Reactor (PBMR). Document No.009949-185 Rev 1, Exelon Generation. Diakses 1 November 2020 <https://www.nrc.gov/docs/ML0125/ML012530326.pdf>
- Awwaluddin, M., Hastuty, S., Petrus, Z., Putut, H. S., Krismawan, Edi, S., Byan, W. R. E., & Nugroho, A. (2019). Chain and Sprocket Analysis of Control Rod Drive Mechanism of HTGR Experimental Power Reactor. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/2/022053>
- Ben Said, N., Lohnert, G., Buck, M., & Bernnat, W. (2006). The impact of design on the decay heat removal capabilities of a modular pebble bed HTR. *Nuclear Engineering and Design*. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2005.11.014>
- IAEA, (2007). Nuclear Power Plant Design Characteristics - IAEA TECDOC No.1544. In *IAEA TECDOC No. 1544*.

- IAEA. (1998). Safety related design and economic aspects of HTGRs. In *IAEA-TECDOC-1210*.
- Irianto, I. D. (2011). Desain Konseptual Unit Konversi Daya Berbasis Kogenerasi Untuk Reaktor Tipe RGTT200K. *Seminar Nasional Ke-17 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*.
- Kohtz, N., & Haque, H. (1992). Meeting fuel temperature limits in an HTR-Module Reactor during depressurized core heat-up. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(92\)90056-2](https://doi.org/10.1016/0029-5493(92)90056-2)
- Koster, A., Matzner, H. D., & Nicholsi, D. R. (2003). PBMR design for the future. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(03)00029-3)
- Liu, J., He, S., Yu, S., & Zhang, Z. (2003). Pre-service tightness tests of HTR-10 primary loop pressure boundary system. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(03\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(03)00032-3)
- Lohnert, G. H. (1990). Technical design features and essential safety-related properties of the HTR-module. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(90\)90111-A](https://doi.org/10.1016/0029-5493(90)90111-A)
- Marshelia, F.S. (2016). Nuklir Untuk Masa Depan Perencanaan Komunikasi Persuasif dalam Rangka Mengajak Masyarakat Sekitar Puspipstek Serpong Untuk Mendukung Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE), Program Sarjana UI, Depok.
- M-Tech. (2013). Training Manual Flownex®SE-2013.
- Shuyan, H., Zhengming, Z., & Zhenya, Q. (2002). The primary loop confinement and pressure boundary system of the HTR-10. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(02\)00181-4](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(02)00181-4).
- Walter, A., Schulz, A., & Lohnert, G. (2006). Comparison of two models for a pebble bed modular reactor core coupled to a Brayton cycle. *Nuclear Engineering and Design*. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2005.10.026>
- Xu, Y., & Zuo, K. (2002). Overview of the 10 MW high temperature gas cooled reactor - Test module project. *Nuclear Engineering and Design*. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(02\)00181-4](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(02)00181-4).