



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN
SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30
MWth**

SKRIPSI

Oleh:

Vira Eka Safitri

NIM. 2102321029

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN
SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30
MWth**

SKRIPSI

Laporan ini disusun salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi,
Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Vira Eka Safitri

NIM. 2102321029

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN**

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JULI, 2025



“Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk ayah ibu, bangsa dan almamater”

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30 MWth

Oleh:

Vira Eka Safitri

NIM. 2102321029

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1



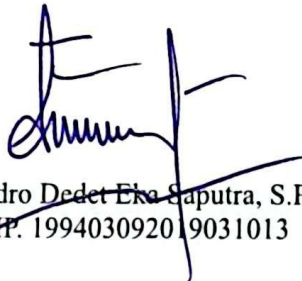
Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M. Eng.
NIP. 198901312019031009

Pembimbing 2



Dr. Ir. Surip Widodo, M.IT.
NIP. 196503061989031004

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi



Yuli Mafendro Dedet Eko Saputra, S.Pd., M.T.
NIP. 199403092019031013

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30 MWth

Oleh:

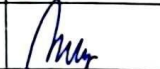
Vira Eka Safitri

NIM. 2102321029

Program Studi Sarjana Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (Skripsi) di hadapan Dewan
Penguji Pada tanggal 22 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Terapan (Diploma-IV) Pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi
Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M. Eng. NIP. 198901312019031009	Ketua		31/7/25
2.	Dr. Ir. Surip Widodo, M.IT. NIP. 196503061989031004	Anggota		31/7/25
3.	Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. NIP. 196605191990031002	Anggota		31/7/25
4.	Dr. Belyamin, M.Sc.Eng, B.Eng (Hons) NIP. 196301161993031001	Anggota		31/7/25

Depok, 22 Juli 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. H. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vira Eka Safitri

NIM : 2102321029

Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (Plagiasi) karya orang lain sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi yang telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 22 Juli 2025



Vira Eka Safitri

NIM. 2102321029



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30 MWth

Vira Eka Safitri¹, Pribadi Mumpuni Adhi², Surip Widodo³

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), PUSPITEK Serpong, 15314, Indonesia

Email: pribadi.adhi@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan sistem pendingin pasif seperti Reactor Cavity Cooling System (RCCS) merupakan komponen penting dalam desain keselamatan reaktor generasi lanjut pada HTGR. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem RCCS dengan menggunakan pendekatan simulasi 1D dengan perangkat lunak Flownex. Simulasi dilakukan pada dua kondisi daya, yaitu 10 MWth dan 30 MWth, untuk meninjau kelayakan desain awal RCCS saat daya ditingkatkan. Sistem RCCS pada daya 10 MWth tidak memadai untuk daya 30 MWth karena suhu maksimum fluida air mencapai 90.1885°C, yang telah melebihi batas operasi normal sebesar 70°C dan mendekati batas suhu kondisi kecelakaan sebesar 100°C. Sedangkan, variasi ketinggian memberikan pengaruh non-linear terhadap temperatur pada fluida air dan uap air yang terjadi pada sistem pendingin RCCS.

Kata Kunci: Reactor Cavity Cooling System, HTGR, Flownex, Termal.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

STUDI TERMOHIDROLIKA PADA *REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM* DI HTGR MENGGUNAKAN SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30 MWth

Vira Eka Safitri¹, Pribadi Mumpuni Adhi², Surip Widodo³

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), PUSPITEK Serpong, 15314, Indonesia

Email: pribadi.adhi@mesin.pnj.ac.id

ABSTRACT

The development of passive cooling systems such as the Reactor Cavity Cooling System (RCCS) is an important component in the safety design of advanced generation reactors in HTGRs. This study aims to analyze the performance of the RCCS system using a 1D simulation approach with Flownex software. Simulations were conducted under two power conditions, 10 MWth and 30 MWth, to assess the feasibility of the initial RCCS design when power is increased. The RCCS system at 10 MWth is inadequate for 30 MWth because the maximum fluid temperature reaches 90.1885°C, exceeding the normal operating limit of 70°C and approaching the accident condition temperature limit of 100°C. Meanwhile, variations in elevation have a non-linear effect on the temperature of the water and steam fluids in the RCCS cooling system.

Keywords: Reactor Cavity Cooling System, HTGR, Flownex, Thermal.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur diucapkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dengan judul " **STUDI TERMOHIDROLIKA PADA REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM DI HTGR MENGGUNAKAN SIMULASI 1D UNTUK PENINGKATAN DAYA 10 KE 30 MWth**" dapat tersusun sampai dengan selesai. Penulisan Laporan ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan program tingkat akhir Diploma IV Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi.

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan ini dengan benar, antara lain:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T.M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd. M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
3. Bapak Pribadi Mumpuni Adhi dan bapak Surip Widodo selaku dosen pembimbing dan dosen pembimbing industri yang telah memberikan arahan, meluangkan waktu lebih untuk proses penyusunan skripsi dari awal hingga selesai.
4. Orangtua, dan saudara saya yang selalu memberikan do'a dan motivasi serta semangat materil maupun moril dalam penyusunan skripsi.
5. Teman-teman seangkatan program studi saya yang selalu mensupport dalam penyusunan skripsi ini.
6. Terima kasih untuk diri sendiri, yang sudah bertanggung jawab untuk berusaha menyelesaikan yang sudah dimulai.

Penulis sangat berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta maupun pihak terkait.

Depok, 22 Juli 2025

Vira Eka Safitri



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1 Reaktor Nuklir	7
2.1.2 High Temperature Gas-cooled Reactor.....	8
2.1.3 Reactor Cavity Cooling System.....	11
2.1.4 Perpindahan Panas	15
2.1.5 Aliran Fluida.....	20
2.1.6 Peningkatan Daya	20
2.1.7 Thermal Property Parameter.....	21
2.1.8 Perangkat Lunak Flownex	23
2.2 Kajian Literatur.....	23
2.3 Kerangka Pemikiran.....	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Jenis Penelitian.....	30
3.1.1 Diagram Penelitian.....	30



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.2	Penjelasan Diagram Alir Penelitian	31
3.2	Objek Penelitian.....	35
3.3	Metode Pengambilan Sampel	36
3.4	Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	36
3.5	Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	36
3.6	Metode Analisis Data.....	37
3.6.1	Pembuatan Simulasi.....	37
3.6.2	Analisa data dilakukan melalui proses perhitungan analitik.....	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Hasil Penelitian Simulasi Numerik.....	43
4.1.1	Pemodelan RCCS Daya 10 MWth.....	43
4.1.2	Pemodelan RCCS Daya 30 MWth.....	46
4.2	Validasi Data	48
4.3	Analisis Teoritis	49
4.4	Pembahasan	51
BAB V PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN.....		60

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaksi Fisi Nuklir	7
Gambar 2. 2 Sejarah Operasional HTGR di Dunia	8
Gambar 2. 3 Desain HTR-10	9
Gambar 2. 4 Komponen Utama PeLUIt	11
Gambar 2. 5 Reactor Cavity Cooling System pada HTR-10	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. 2 Tampilan Untuk Membuat Proyek Baru di Flownex	32
Gambar 3. 3 Tampilan Untuk Memilih Komponen	33
Gambar 3. 4 Tampilan Untuk Memilih Komponen Pipa	33
Gambar 3. 5 Tampilan Untuk Memilih Komponen Boundary Conditions	33
Gambar 3. 6 Tampilan Untuk Memilih Komponen Heat Transfer	33
Gambar 3. 7 Schematik RCCS	39
Gambar 3. 8 Distribusi Suhu	40
Gambar 4. 1 Pemodelan RCCS Dengan Daya 10 MWth	43
Gambar 4. 2 Pemodelan RCCS Berdaya 30 MWth	46
Gambar 4. 3 Hubungan Temperatur Terhadap Ketinggian Pada Fluida Air Daya 10 MWth	51
Gambar 4. 4 Hubungan Temperatur Terhadap Ketinggian Untuk Fluida Udara Daya 10 MWth	52
Gambar 4. 5 Hubungan Temperatur Terhadap Ketinggian Untuk Fluida Air daya 30 MWth	53
Gambar 4. 6 Hubungan Temperatur Terhadap Ketinggian Untuk Fluida Udara Daya 30 MWth	54

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe RCCS di HTGR	13
Tabel 2.2 Konduktivitas Termal	22
Tabel 2.3 Kapasitas Heat Transfer Material	22
Tabel 2.4 Emisivitas Material	22
Tabel 3.1 Data Spesifikasi Water Cooler	37
Tabel 3.2 Data Spesifikasi Air Cooler	38
Tabel 3.3 Data Spesifikasi Chimney	38
Tabel 3.4 Data Spesifikasi Water Loop	38
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Menggunakan Fluida Air	44
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Simulasi Menggunakan Fluida Udara	45
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Simulasi Pada Pipa Menggunakan Fluida Air	47
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Simulasi Pada Chimney Menggunakan Fluida Udara	47
Tabel 4. 3 Perbandingan Data Eksperimen dan Simulasi Flownex	48
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Analitik	49

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat penting untuk hampir semua aspek kehidupan manusia, termasuk rumah tangga, industri, dan sektor ekonomi. Daya yang disumbangkan oleh listrik sebesar 40% terhadap total konsumsi energi, dan kebutuhannya terus mengalami peningkatan dalam beberapa dekade terakhir. Pemerintah Indonesia melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) pada tahun 2025-2034 menekankan komitmennya pada transisi menuju energi bersih dengan menetapkan penambahan kapasitas pembangkit listrik sebesar 69,5 GW, di mana sekitar 76% bersumber dari Energi Baru Terbarukan (EBT). Secara khusus, energi nuklir direncanakan menyumbang kapasitas 0,5 GW dalam bauran energi nasional. Kebijakan ini mendukung pencapaian target global *net zero emission* pada 2050, sekaligus memanfaatkan potensi energi nuklir dalam menekan emisi CO₂ dan mendukung *dekarbonisasi* di sektor non-listrik melalui inovasi teknologi, serta kontribusinya dalam menjaga ketahanan pasokan energi untuk kebutuhan energi global[1]. Pembangunan pembangkit nuklir ini menjadi langkah strategis Indonesia untuk mewujudkan kemandirian energi bersih.

Di Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) kini sedang mengembangkan rancangan Pembangkit Listrik dan Uap-Panas Industri berkapasitas 40 MWth (PeLUI-40) yang merupakan kelanjutan dari proyek Reaktor Daya Eksperimental (RDE) berdaya 10 MWth yang mengacu pada desain reaktor HTR-10 milik China[2]. Agar masyarakat dapat memiliki pengalaman dalam menguasai teknologi reaktor nuklir dan mendukung proyek pembangunan PLTN yang membutuhkan persiapan yang matang, maka perlu penelitian terkait hal ini. Setelah dilakukan penelitian dan perhitungan 40 MWth merupakan daya maksimal yang dapat dinaikkan, hal ini karena temperatur teras reaktor tidak boleh melebihi batas aman yaitu 1620°C[3]. Agar pemanfaatannya lebih layak secara ekonomi, kapasitas reaktor PeLUI hanya ditingkatkan menjadi 30 MWth yang mampu menghasilkan daya listrik sebesar 10 MWe. Sehingga PeLUI-30 yang menjadi rancangan untuk dibangun menjadi mikro reaktor[4]. Reaktor ini merupakan desain



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

generasi IV HTGR yang memiliki fitur keselamatan yang lebih unggul dibanding reaktor generasi sebelumnya.

High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) merupakan teknologi reaktor nuklir yang menggunakan helium sebagai pendingin dan grafit sebagai moderatornya. Fitur keselamatan yang *inherent* dalam menahan produk fisi tetap berada di dalam bahan bakar dan struktur grafitnya menjadikan keunggulan utama. Salah satu tipe reaktornya adalah HTR-10 yang dikembangkan oleh China, yang memiliki bahan bakar berbentuk *pebble-bed*[5]. Karena HTGR beroperasi pada suhu tinggi, keselamatan termal menjadi sangat penting. Keunggulan utama dari reaktor HTGR adanya fitur keselamatan pasif, yang disebut RCCS (*Reactor Cavity Cooling System*) digunakan untuk membuang panas dari bejana reaktor (*Reactor Pressure Vessel*) menggunakan sirkulasi alami yang beroperasi pada kondisi normal dan kecelakaan dengan sistem pendingin pasif secara penuh. Sehingga sistem ini tidak membutuhkan bantuan operator ataupun sumber daya eksternal[6]. RCCS telah terbukti mampu dalam menjaga suhu struktur reaktor berada di bawah batas aman melalui mekanisme sirkulasi alami. Densitas yang berbeda diakibatkan oleh panas yang masuk ke dalam RCCS hal inilah yang dapat menjadi penggerak sirkulasi alami, memungkinkan sistem secara pasif memindahkan panas dari sumber ke penyerap panas (*heat sink*)[7].

Beberapa asumsi sering digunakan ketika melakukan analisis secara teoritis, numerik ataupun eksperimental dalam aliran fluida sirkulasi alami. Panjang pipa dianggap jauh lebih besar jika dibandingkan dengan diameter pipa, aliran dianggap sudah sepenuhnya terdistribusi dan tercampur rata, sehingga variasi kecepatan, suhu, dan sifat fluida di sepanjang bagian pipa dapat diabaikan. Oleh sebab itu, model satu dimensi (1D) dibutuhkan untuk menggambarkan aliran tersebut. Gaya gravitasi merupakan satu-satunya gaya yang digunakan saat fluida bekerja selain gaya gesek dan gaya tekanan. Kerugian lokal yang terjadi pada belokan atau sambungan diasumsikan dengan cara memperhitungkan panjang efektif dari susunan pipa[7]. Hal itulah yang menyebabkan pengoperasian RCCS yang aman sangat dibutuhkan untuk menjaga stabilitas dan keandalan peralatan dan sistem rekayasa terhadap pendingin pasif merupakan tantangan utama yang dihadapi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian yang dilakukan Jing Li dkk[8]. Untuk membuktikan kemampuan terhadap sirkulasi alami dan keselamatan sistem pembuangan panas sisa pasif pada HTR-10, dilakukan uji eksperimental pada berbagai kondisi operasi. Hasilnya menunjukkan sistem ini telah memenuhi standar desain dan keselamatan. Zuying dan Lei[9] melakukan analisis termal-hidrolik pada reaktor HTR-10 menggunakan perangkat lunak *THERMIX* yang merupakan kode berbasis model dua dimensi (2D) dan digunakan untuk menganalisis distribusi suhu, aliran helium, serta parameter keselamatan seperti temperatur maksimum bahan bakar. Marcos Salomao De Sena[10]. penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan *Flownex* dalam memprediksi karakteristik termohidrolika sistem pendingin pasif pada berbagai kondisi operasi, termasuk keadaan lunak (*steady-state*), skenario penurunan daya, serta kehilangan pendingin sekunder. Berdasarkan penelitian sebelumnya belum ada kajian yang memodelkan sistem RCCS HTR-10 menggunakan perangkat lunak *Flownex* untuk mengevaluasi performa termohidroliknya secara sistematis. Selain itu, perlu adanya analisis untuk mengetahui apakah desain RCCS 10 MWth masih memadai saat diterapkan pada reaktor dengan daya lebih tinggi yaitu 30 MWth.

Flownex adalah perangkat lunak simulasi sistem termohidrolika berbasis satu dimensi (1D) yang berfungsi untuk memodelkan, menganalisis, dan memprediksi aliran fluida, transfer panas, serta interaksi antar komponen dalam suatu sistem teknik secara menyeluruh. Sistem ini dapat menghitung penurunan tekanan, kecepatan aliran, dan distribusi suhu, baik untuk kondisi *steady-state* maupun *transien*.

Melanjutkan studi sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sistem RCCS HTR-10 menggunakan perangkat lunak *Flownex* untuk menganalisis termohidroliknya. Serta mengevaluasi apakah desain RCCS 10 MWth masih memadai saat daya dinaikkan menjadi 30 MWth.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan latar belakang yang menjadi dasar pelaksanaan penelitian. Berikut ini adalah rumusan masalah yang diidentifikasi:

1. Apakah desain sistem pendingin RCCS daya 10 MWth masih memadai untuk daya 30 MWth?
1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap ketinggian pada sistem pendinginan RCCS?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka untuk membatasi ruang lingkup penelitian, sehingga terdapat beberapa batasan masalah yang terdiri dari :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada analisis termohidrolika desain *Reactor Cavity Cooling System*.
2. Analisis didasarkan pada data acuan HTR-10 khususnya di RCCS dan hasil simulasi yang telah dipublikasikan.
3. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Flownex* dengan menggunakan model 1D.
4. Daya yang di gunakan hanya 10 MWth dan dinaikkan ke 30 MWth.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, diperoleh tujuan dari penelitian yang akan dilaksanakan, yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan kelayakan desain sistem pendingin RCCS berkapasitas 10 MWth apakah masih memadai ketika daya reaktornya ditingkatkan menjadi 30 MWth.
2. Menentukan pengaruh temperatur terhadap ketinggian pada sistem pendinginan RCCS.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah beberapa manfaat penelitian untuk mahasiswa, kampus, dan perusahaan tentang analisis termohidrolika pada *Reactor Cavity Cooling System*:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Bagi Mahasiswa

Penelitian ini memberikan peluang bagi mahasiswa untuk memperluas wawasan dan mengasah keterampilan di bidang pembangkit listrik, khususnya tenaga nuklir yang masih belum banyak dikenal, serta menambah pemahaman terkait termohidrolika pada *Reactor Cavity Cooling System*.

2. Bagi Politeknik Negeri Jakarta

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam proses pembelajaran di industri pembangkit listrik, khususnya terkait sistem pendingin reaktor dan analisis perpindahan panas. Selain itu, penelitian ini juga berpotensi membuka peluang kerja sama dengan perusahaan, baik untuk kegiatan magang maupun sebagai asisten dalam proyek penelitian.

3. Bagi Perusahaan

Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan bagi perusahaan dalam mengevaluasi kinerja sistem termal pada *Reactor Cavity Cooling System* serta dinamika aliran fluida. Oleh karena itu, hasil penelitian ini berpotensi mendukung pengembangan yang lebih aman dan andal.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menerapkan sistematika penulisan dengan skema sebagai berikut:

a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang digunakan sebagai landasan awal dalam penyusunan skripsi ini.

b. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai teori-teori yang relevan, hasil penelitian terdahulu, serta landasan konseptual yang mendukung dan menjadi acuan dalam penelitian ini.

c. BAB III METODE PENELITIAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada bagian ini menjelaskan pendekatan penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, teknik analisis data, serta tahapan penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian.

d. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan temuan penelitian yang diperoleh di lapangan, disertai dengan analisis dan interpretasi data yang dikaitkan dengan teori-teori yang relevan.

e. BAB V PENUTUP

Pada bagian ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran-saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya atau penerapan praktis.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem RCCS pada daya 10 MWth tidak memadai ketika daya di tingkatkan menjadi 30 MWth karena suhu keluar *water cooler* mencapai 90,186 °C, mendekati batas aman operasi normal 70°C dan mendekati batas suhu kondisi kecelakaan sebesar 100°C. Sehingga kinerja yang tidak cukup memadai ketika diterapkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan sistem RCCS perlu ditingkatkan melalui modifikasi desain seperti penambahan jumlah pipa, panjang pipa, peningkatan luas permukaan pendingin, dan diameter hidroliknya.
2. Variasi ketinggian (x) memberikan pengaruh non-linear terhadap temperatur (y) dengan persamaan berikut:

Daya 10 MWth

$$\text{Fluida air, } y = 0.0094x^4 - 0.3781x^3 + 4.9438x^2 - 24.514x + 90.281$$

$$\text{Fluida uap air, } y = 0.0196x^3 - 0.8015x^2 + 7.8471x - 23.189$$

Daya 30 MWth

$$\text{Fluida air, } y = 0.0172x^4 - 0.6901x^3 + 9.0237x^2 - 44.753x + 152.07$$

$$\text{Fluida uap air, } y = 0.0409x^3 - 1.6715x^2 + 16.364x - 15.521$$

5.2 Saran

1. Dikarenakan desain awal RCCS tidak cukup memadai untuk menangani beban panas pada daya 30 MWth, disarankan untuk melakukan modifikasi desain seperti penambahan jumlah diameter pipa, peningkatan luas permukaan perpindahan panas, atau penggunaan material dengan konduktivitas termal lebih tinggi agar meningkatkan kapasitas pendinginan secara efektif.
2. Perlu dilakukan evaluasi tambahan terhadap aspek keandalan sistem dalam jangka panjang serta analisis risiko terkait potensi kegagalan komponen selama operasi normal maupun darurat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. (persero), “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL),” 2025.
- [2] BRIN, “BRIN - BRIN Kembangkan Desain Reaktor Nuklir PeLUIT-40, Dukung Energi Bersih di Indonesia.” Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://brin.go.id/news/120225/brin-kembangkan-desain-reaktor-nuklir-peluit-40-dukung-energi-bersih-di-indonesia>
- [3] N. Trianti *et al.*, “Optimum power determination and comparison of multi-pass and OTTO fuel management schemes of HTGR-based PeLUIt reactor,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 415, no. May, p. 112696, 2023, doi: 10.1016/j.nucengdes.2023.112696.
- [4] brin.go.id, “BRIN - Badan Riset dan Inovasi Nasional.” Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.brin.go.id/reviews/122725/menyongsong-era-nuklir-di-indonesia>
- [5] N. T. Development, “High-temperature Gas-cooled Reactors and Industrial Heat Applications,” 2022.
- [6] A. Rosidi, G. B. H. Kusmoyo, G. Giarno, D. Haryanto, H. Tjahjono, and M. Juarsa, “VERTIKAL SELAMA PROSES PEMANASAN MENGGUNAKAN HEATER TIPE-PLAT tipe-plat di untai uji RCCS-HTGR . Metode yang dilakukan dalam penelitian ini,” vol. 05, no. 01, pp. 1–7, 2021.
- [7] C. G. du Toit, “Fundamental evaluation of the effect of pipe diameter, loop length and local losses on steady-state single-phase natural circulation in square loops using the 1D network code Flownex,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 22, no. August 2020, p. 100840, 2021, doi: 10.1016/j.tsep.2021.100840.
- [8] J. Li *et al.*, “Experimental study on the residual heat removal system in HTR-10,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2048, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2048/1/012037.
- [9] Z. Gao and L. Shi, “Thermal hydraulic calculation of the HTR-10 for the initial



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- and equilibrium core,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 218, no. 1–3, pp. 51–64, 2002, doi: 10.1016/S0029-5493(02)00198-X.
- [10] M. S. De Sena, “Simulations of the Scaled Reactor Cavity Cooling System Experimental Facility with Flownex,” *Texas A&M Univ.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2023.
 - [11] D. R. Saputra, Y. Yulianti, and R. Agus, “Studi desain high temperature gas-cooled reactor (HTGR) berpendingin gas hidrogen menggunakan bahan bakar thorium,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 07, no. 01, pp. 99–106, 2019.
 - [12] A. Agung, “Analisis Reaktor Nuklir,” pp. 1–141, 2017.
 - [13] “Very High Temperature Reactor (VHTR) | GIF Portal.” Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.gen-4.org/generation-iv-criteria-and-technologies/very-high-temperature-reactor-vhtr>
 - [14] IAEA, “the High Temperature Gas Cooled Reactor Test,” no. March 1993, 2000.
 - [15] IAEA-TECDOC-1163, “Heat Transport and Afterheat Removal for Gas Cooled Reactors Under Accident Conditions,” *Tech. Report, IAEA-TECDOC-1163*, vol. 1163, no. January, 2000.
 - [16] N. Widiawati, “Development of Indonesia ’ s PeLUIt-40 : Progress and Challenges Outline,” 2025.
 - [17] T. Elbokl, “Small Modular Reactors,” *Can. Min. J.*, vol. 143, no. 8, pp. 24–27, 2022, doi: 10.1201/9781315373829-9.
 - [18] 111227, “Reactor Cavity Cooling System Design Description,” no. July 1987, 2009.
 - [19] D. HARYANTO, G. GIARNO, J. P. WITOKO, G. B. H. KUSNUGROHO, R. KUSUMASTUTI, and M. JUARSA, “Karakterisasi Prototipe Heater Element System pada Untai Uji RCCS-RDNK menggunakan Kamera Infra Merah,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 313, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i2.313.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [20] T. D. Roberto, C. M. F. Lapa, and A. C. M. Alvim, "HTR-10 AND HTR-PM REACTORS UNDER ACCIDENTAL CONDITIONS," 2017.
- [21] S. P. Collins *et al.*, "Design and Safety Consideration in the High-Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)," 2021.
- [22] K. A. Sehoana and P. C. G. Du Toit, "Simulation of natural circulation in an air-cooled Reactor Cavity Cooling System using Flownex Dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree Magister in Nuclear Engineering at the Potchefstroom Campus of the North-West U," no. November, 2014.
- [23] E. P. Hastuti, M. Subekti, S. Dibyo, and M. D. Isnaini, "Optimasi Desain Termohidrolika Teras Dan Sistem Pendingin Reaktor Riset Inovatif Daya Tinggi," *J. Teknol. Reakt. Nukl. Tri Dasa Mega*, vol. 17, no. 3, p. 127, 2015, doi: 10.17146/tdm.2015.17.3.2327.
- [24] S. W. Churchill and H. H. S. Chu, "Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 18, no. 11, pp. 1323–1329, 1975, doi: 10.1016/0017-9310(75)90243-4.
- [25] Nuclearpower.com, "Rayleigh Number." Accessed: Jul. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/introduction-to-heat-transfer/characteristic-numbers/what-is-rayleigh-number/>
- [26] R. O. Putra, B. V. Tarigan, and J. U. Jasron, "Analisis performa inkubator grashof dengan menggunakan lampu LED sebagai pemanas," *Din. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, p. 178, 2024, doi: 10.29303/dtm.v14i2.868.
- [27] A. National Laboratory, "A Conceptual Design of the Reactor Cavity Cooling System for the Horizontal Compact High Temperature Gas Reactor (HC-HTGR)".
- [28] A. A. Supriyanto, "Pengaruh pembangkitan Daya Pada Temperatur Permukaan Bahan Bakar Dan Fluida Teras Reaktor," *J. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 2, no. 1, pp.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

19–24, 2017.

- [29] R. Nazar, “Kaji Teoritik Aspek Termohidrolik Reaktor Riset Pada Daya 2 MW.”
- [30] EnginSoft, “System Level Thermal-Fluid Flow Simulation Software.” Accessed: Jul. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.enginsoft.com/solutions/flownex.html>
- [31] P. G. Rousseau, C. G. Du Toit, J. S. Jun, and J. M. Noh, “Code-to-code comparison for analysing the steady-state heat transfer and natural circulation in an air-cooled RCCS using GAMMA+ and Flownex,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 291, pp. 71–89, 2015, doi: 10.1016/j.nucengdes.2015.05.004.
- [32] K. Kiswanta, A. A. Budiman, and M. Subekti, “Simulasi Balance of Plant Sistem Pendingin Rde Menggunakan Flownex,” *Epic J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 3, no. 2, p. 116, 2021, doi: 10.32493/epic.v3i2.7669.
- [33] K. Sumijanto, “SIMULATION ON THERMODYNAMICS CHARACTERISTICS OF RGTT200K DESIGN USING FLOWNEX SOFTWARE.”
- [34] Y. Xu and K. Zuo, “Overview of the 10 MW high temperature gas cooled reactor - Test module project,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 218, no. 1–3, pp. 13–23, 2002, doi: 10.1016/S0029-5493(02)00181-4.
- [35] P. Mustafa, “Investigation of the Reactor Cavity Cooling System Experimental Facility With Relap5/Scdapsim System Code,” no. August, 2021.
- [36] H. Zhao, Y. Dong, Y. Zheng, T. Ma, and X. Chen, “Numerical simulation on heat transfer process in the reactor cavity of modular high temperature gas-cooled reactor,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 125, pp. 1015–1024, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.205.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Analitik Perpindahan Panas

A. Perhitungan Radiasi Termal

Perhitungan perpindahan panas radiasi dilakukan untuk mengetahui besarnya panas yang dipindahkan melalui mekanisme radiasi antar permukaan RPV (*Reactor Pressure Vessel*) dengan *water cooling wall* (WC) di dalam sistem RCCS.

Tabel Temperatur RPV dan WC

Ketinggian (m)	Temperatur RPV (°C)	Temperatur WC (°C)
0.767	138	52
1.534	158	52
2.301	168	53
3.068	174	53
3.835	172	53
4.602	158	54
5.369	143	54
6.136	128	55
6.903	113	55
7.670	108	55
Rata – Rata	146	53.6

1. Perhitungan *view factor* pada radiasi termal menggunakan persamaan 9.

$$F_{R \rightarrow C} = \frac{S_{Rpv} S_{Cw}}{S_{Cw} - \frac{R_{Rpv}}{R_{Cw}} (S_{Rpv} - R_{Rpv} \cdot S_{Cw})}$$

$$F_{R \rightarrow C} = \frac{0.8 \cdot 0.8}{0.8 - \frac{2.17}{3.045} (0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.8)}$$

$$F_{R \rightarrow C} = 0.9329$$

2. Perhitungan luas permukaan RPV

$$A_{RPV} = \pi \cdot Diameter_{RPV} \cdot Tinggi_{RPV}$$

$$A_{RPV} = \pi \cdot 4.34 \text{ m} \cdot 7.37 \text{ m}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$A_{RPV} = 100.4863 \text{ m}^2$$

3. Perhitungan luas permukaan dinding *water cooler*

$$A_{WC} = \pi \cdot \text{Diameter}_{WC} \cdot \text{Tinggi}_{WC} \cdot \text{Jumlah Pipa}$$

$$A_{WC} = \pi \cdot 0.042 \text{ m} \cdot 11.2 \text{ m} \cdot 50$$

$$A_{WC} = 73.8528 \text{ m}^2$$

4. Perhitungan radiasi termal

$$Q = \sigma \cdot F_{R \rightarrow C} \left(T_{RPV}^4 - T_{WC}^4 \right) \cdot A_{RPV} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{RPV}} + \frac{A_{RPV}}{A_{WC}} \left(\frac{1}{\epsilon_{CW}} - 1 \right)}$$

$$Q = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 0.9329 (419.15^4 - 326.75^4) \cdot 100.4863 \cdot \frac{1}{\frac{1}{0.8} + \frac{100.4863}{73.8528} \left(\frac{1}{0.8} - 1 \right)}$$

$$Q = 65349.34 \text{ W}$$

Menurut acuan data yang ada di publikasi[15] panas radiasi yang dihasilkan di celah anulus memiliki nilai 80%, sehingga:

$$Q = 65349.34 \text{ W} \cdot 80\%$$

$$Q = 52279.472 \text{ W} \text{ atau } 52.279 \text{ kW}$$

B. Perhitungan Konveksi Termal Eksternal

Perhitungan konveksi termal eksternal dilakukan untuk menentukan laju perpindahan panas dari permukaan luar RPV ke fluida di sekitarnya. Dengan menggunakan sirkulasi alami.

1. Perhitungan suhu film

$$T_{Film} = \frac{T_{RPV} + T_{WC}}{2}$$

$$T_{Film} = \frac{146 + 53.6}{2} = 99.8^\circ\text{C}$$

2. Perhitungan nilai massa jenis dengan interpolasi

$$\rho = \rho_1 + \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} (\rho_2 - \rho_1)$$

$$\rho = 0.9718 + \frac{99.8 - 90}{100 - 90} (0.9458 - 0.9718)$$

$$\rho = 0.94632 \text{ kg/m}^3$$

3. Perhitungan viskositas udara dinamik dengan interpolasi

$$\mu = \mu_1 + \frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} (\mu_2 - \mu_1)$$

$$\mu = 2.139 \cdot 10^{-5} + \frac{99.8 - 90}{100 - 90} (2.181 \cdot 10^{-5} - 2.139 \cdot 10^{-5})$$

$$\mu = 2.18016 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Perhitungan viskositas udara kinematik dengan interpolasi

$$v = v_1 + \frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} (v_2 - v_1)$$

$$v = 2.201 \cdot 10^{-5} + \frac{99.8 - 90}{100 - 90} (2.306 \cdot 10^{-5} - 2.201 \cdot 10^{-5})$$

$$v = 2.3039 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

5. Menentukan nilai konduktivitas termal udara dengan interpolasi

$$k = k_1 + \frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} (k_2 - k_1)$$

$$k = 0.03024 + \frac{99.8 - 90}{100 - 90} (0.03095 - 0.03024)$$

$$k = 0.0309358 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

6. Menentukan nilai *specific heat capacity* udara dengan rumus interpolasi

$$Cp = Cp_1 + \frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} (Cp_2 - Cp_1)$$

$$Cp = 1.008 + \frac{99.8 - 90}{100 - 90} (1.009 - 1.008)$$

$$Cp = 1008.98 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

7. Menentukan nilai volume koefisien ekspansi dengan rumus interpolasi menggunakan asumsi bahwa gas bersifat ideal.

$$\beta = \frac{1}{T + 273.15}$$

$$\beta = \frac{1}{99.8 + 273.15} = \frac{1}{372.95} \text{ K}^{-1}$$

8. Menentukan nilai dari bilangan Grashof

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{9.81 \cdot \frac{1}{372.95} \cdot (146 - 53.6) \cdot 7.37^3}{(2.3039 \cdot 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 1.833 \cdot 10^{12}$$

9. Menentukan nilai dari bilangan Prandtl

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k}$$

$$Pr = \frac{2.18016 \cdot 10^{-5} \cdot 1008.98}{0.0309358}$$

$$Pr = 0.711065$$

10. Menentukan nilai bilangan Rayleigh

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Ra = 1.833 \cdot 10^{12} \cdot 0.711065$$

$$Ra = 1.303 \cdot 10^{12}$$

11. Menentukan nilai bilangan Nusselt

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{4}{9}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^{\frac{1}{4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Ra_L}{10^9} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot (1.303 \cdot 10^{12})^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.711065} \right)^{\frac{4}{9}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^{\frac{1}{4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{1.303 \cdot 10^{12}}{10^9} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 1206.44$$

12. Menentukan nilai koefisien konveksi termal

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$$

$$h = Nu \cdot \frac{k}{L}$$

$$h = 1206.44 \cdot \frac{0.0309358}{7.37}$$

$$h = 5.064 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

13. Menentukan konveksi termal eksternal

$$Q = h \cdot A(\Delta T)$$

$$Q = 5.064 \cdot 100.4863 (146 - 53.6)$$

$$Q = 47018.906 \text{ W}$$

Menurut acuan data yang ada di publikasi[15] panas konveksi yang dihasilkan di celah anulus memiliki nilai 20%, sehingga:

$$Q = 47018.906 \text{ W} \cdot 20\%$$

$$Q = 9415.78 \text{ W atau } 9.41578 \text{ kW}$$

C. Menentukan nilai konveksi termal internal

1. Menentukan nilai suhu film (T_f)

$$T_f = \frac{T_{CW} + T_{Air}}{2}$$

$$T_f = \frac{55 + 54.3}{2} = 54.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Menentukan nilai massa jenis air

$$\rho = \rho_1 + \frac{T_1 - T}{T_1 - T_2} (\rho_2 - \rho_1)$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\rho = 988.05 + \frac{54.7-50}{60-50}(983.2 - 988.05)$$

$$\rho = 985.77 \text{ kg/m}^3$$

3. Menentukan nilai viskositas air dinamik dengan interpolasi

$$\mu = \mu_1 + \frac{T-T_1}{T_2-T_1}(\mu_2 - \mu_1)$$

$$\mu = 0.547 \cdot 10^{-3} + \frac{54.7-50}{60-50}(0.466 \cdot 10^{-3} - 0.547 \cdot 10^{-3})$$

$$\mu = 0.5089 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

4. Menentukan nilai viskositas air kinematik

$$v = v_1 + \frac{T-T_1}{T_2-T_1}(v_2 - v_1)$$

$$v = 0.547 \cdot 10^{-6} + \frac{54.7-50}{60-50}(0.466 \cdot 10^{-6} - 0.547 \cdot 10^{-6})$$

$$v = 5.16 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

5. Menentukan nilai konduktivitas air termal

$$k = k_1 + \frac{T_1-T}{T_1-T_2}(k_2 - k_1)$$

$$k = 0.643 + \frac{54.7-50}{60-50}(0.650 - 0.643)$$

$$k = 0.6434 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

6. Menentukan nilai *specific heat capacity* air dengan interpolasi

$$Cp = Cp_1 + \frac{T_1-T}{T_1-T_2}(Cp_2 - Cp_1)$$

$$Cp = 4.181 + \frac{50-54.7}{60-50}(4.1839 - 4.181)$$

$$Cp = 4.1828 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

7. Menentukan nilai koefisien volume ekspansi dengan interpolasi

$$\beta = \frac{1}{T+273.15}$$

$$\beta = \frac{1}{54.7 + 273.15} = \frac{1}{327.85} \text{ K}^{-1}$$

8. Menentukan bilangan Grashof

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{v^2}$$

$$Gr = \frac{9.81 \cdot \frac{1}{327.85} \cdot (146-53.4) \cdot 11.2^3}{(5.16 \cdot 10^{-7})^2}$$

$$Gr = 1.462 \cdot 10^{14}$$

9. Menentukan bilangan Prandtl



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Pr = \frac{0.5089 \cdot 10^{-3} \cdot 41828}{0.6434}$$

$$Pr = 3.3084$$

10. Menentukan bilangan Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot l}{\nu}$$

Untuk mengetahui kecepatan fluida yang berada di water cooler, diketahui laju aliran massa untuk 1 loop RCCS dengan nilai 3.9 kg/s.

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot \text{Jumlah pipa}$$

$$A = \pi \cdot 0.016^2 \cdot 50 = 0.0402 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{3.9}{985.77 \cdot 0.0402} = 0.0984 \text{ m/s}$$

Sehingga perhitungan Reynolds adalah:

$$Re = \frac{0.0984 \cdot 0.032 \cdot 985.77}{0.0005089}$$

$$Re = 6099.41$$

11. Menentukan nilai bilangan Rayleigh

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

$$Ra = 1.462 \cdot 10^{14} \cdot 3.3084$$

$$Ra = 4.83 \cdot 10^{14}$$

12. Menentukan nilai bilangan Nusselt

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{4}{9}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 \cdot \left\{ \frac{Pr}{1 + \left(\frac{Pr}{3.3084} \right)^{\frac{1}{4}}} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 9819.58$$

13. Menentukan nilai koefisien konveksi termal



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$$

$$h = Nu \cdot \frac{k}{L}$$

$$h = 9819.58 \cdot \frac{0.6434}{11.2}$$

$$h = 564.09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

14. Perpindahan panas yang terjadi secara konveksi internal

$$Q = h \cdot A(\Delta T)$$

$$Q = 564.09 \cdot 100.4863 \cdot (55 - 54.7)$$

$$Q = 17004.9 \text{ W atau } 17.0049 \text{ kW}$$

D. Perhitungan Konduksi Termal

Untuk mencari laju perpindahan panas secara konduksi pada pipa *air cooler*, dibutuhkan data-data seperti konduktivitas termal material. Data konduktivitas termal didapatkan dari tabel 2.2.

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L (T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 37 \cdot 2.7 (56.4 - 54)}{\ln\left(\frac{0.0125}{0.01}\right)}$$

$$Q = 6751.064 \text{ W atau } 6.751064 \text{ kW}$$

Informasi mengenai T_1 tidak dicantumkan dalam sumber publikasi pada HTR-10 sehingga diasumsikan T_1 dengan nilai 54°C . tidak mencantumkan temperatur pipa bagian dalam dari *air cooler*.

E. Perhitungan Daya Panas yang Terserap oleh Sistem Pendingin Air

Untuk menentukan jumlah panas yang diserap oleh *water cooler* pada sistem RCCS hanya menggunakan 1 loop. Sebagai berikut:

$$Q_{Air} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{Air} = 3.9 \cdot 4.18172 \cdot (56.4 - 50)$$

$$Q_{Air} = 104.375 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil yang didapat, panas yang menyerap air di dalam pipa water cooler memiliki nilai 104.375 kW. Karena hanya menggunakan 1 loop model saja. Oleh



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

karena itu secara teori, energi panas yang dilepas oleh RPV harus sebanding dengan panas yang di serap air di pipa-pipa pendingin air.

$$Q_{Reaktor} = Q_{Air}$$

$$Q_{Reaktor} = Q_{Radiasi} + Q_{KonvLuar} + Q_{KonvDalam} + Q_{Konduksi}$$

$$Q_{Reaktor} = 52.279 \text{ kW} + 9.41578 \text{ kW} + 17.0049 \text{ kW} + 6.751064 \text{ kW}$$

$$Q_{Reaktor} = 85.450 \text{ kW}$$

