



© 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



**OPTIMASI DESAIN STRUKTUR PADA *VESSEL STEAM*
GENERATOR TIPE *HIGH TEMPERATURE GAS COOLED*
REACTOR (HTGR) 30 MWT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA NUKLIR**

SKRIPSI

Oleh:
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Nafisah Amalia

NIM. 2402415006

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



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



**OPTIMASI DESAIN STRUKTUR PADA VESSEL *STEAM*
GENERATOR TIPE *HIGH TEMPERATURE GAS COOLED*
REACTOR (HTGR) 30 MWT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA NUKLIR**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik

Mesin

Oleh:

Nafisah Amalia

NIM. 2402415006

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025



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
LAPORAN SKRIPSI

OPTIMASI DESAIN STRUKTUR PADA *VESSEL STEAM GENERATOR*
TIPE *HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR (HTGR)* 30
MWT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Oleh:

Nafisah Amalia

NIM: 2402415006

Program Studi Sarjana Terapan

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan Skripsi Telah Disetujui Oleh Pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Eng. Ir. Muslimin, M.T. IWE
NIP.197707142008121005

Pembimbing 2

Muhammad Subhan, S.T., M.Eng.
NIP. 198807312010121002

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

M. Prasha Risfi Silitonga, S.Si., M.T.
NIP. 199403192022031006



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 Pengesahan
LAPORAN SKRIPSI

**OPTIMASI DESAIN STRUKTUR PADA *VESSEL STEAM GENERATOR* TIPE
HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR (HTGR) 30 MWT
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR**

Oleh:

Nafisah Amalia

NIM: 2402415006

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang skripsi sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 18 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. Eng. Ir. Muslimin, M.T. IWE NIP. 197707142008121005	Ketua		22/7/2025
2	Dr.Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M.Eng. NIP. 198901312019031009	Anggota		22/7/2025
3	Azam Milah Muhamad, M.T. NIP. 199608232024061001	Anggota		22/7/2025

Depok, 25 Juli 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Ir. Muslimin, M.T. IWE
NIP.197707142008121005



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 Penyataan Orisinalitas

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nafisah Amalia

NIM : 2402415006

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam laporan skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan plagiasi karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya.

Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 25 Juli 2025




Nafisah Amalia

NIM. 2402415005



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 dan syukur kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Optimasi Desain Struktur Pada *Vessel Steam Generator* Tipe *High Temperature Gas Cooled Reactor* (Htgr) 30 MWt Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang mendalam kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak M. Prasha Risfi Silitonga, S.Si., M.T.. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE selaku Dosen Pembimbing I yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Subhan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Orang tua, yang telah memberi ridho saya untuk menyelesaikan skripsi ini dan telah memfasilitasi agar saya mendapatkan kemudahan apapun itu.
6. Kedua kakak saya, yang telah memberikan dukungan dan kepercayaan kepada saya untuk menyelesaikan Skripsi saya ini.
7. Teman-teman Seperjuangan Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur
8. Dhiya Salma Salsabila, sahabat dan teman cerita saya yang telah mendukung saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Serta seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu tetapi tanpa mengurangi rasa hormat dan terimakasih saya atas dukungan yang diberikan.



© 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

Penulis berharap semoga dengan adanya skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama dalam menunjang potensi pembangkit tenaga nuklir/ energi baru terbarukan.

Depok, 5 Mei 2025

Nafisah Amalia





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.....	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Pernyataan Orisinalitas	v
Abstrak	vi
<i>Abstract</i>	vii
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Istilah.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Landasan Teori	4
2.1.1 <i>The High Temperature Gas-Cooled Reactor-Pebble Bed Module</i>	4
2.1.2 <i>Steam Generator</i>	6
2.1.3 Standar dan Kode	7
2.1.4 Konsep Desain	10
2.1.5 Material pada <i>Steam Generator</i>	12
2.1.6 Finite Element Analysis	13
2.1.7 <i>Stress</i> (Tegangan)	15
2.1.8 Deformasi.....	16
2.1.9 <i>Linearized Equivalent Stress</i>	16
2.2 Kajian Literatur	17
2.4 Kerangka Pemikiran.....	19



© 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

BAB 3 METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.1.1 Diagram Alir Pengerjaan.....	21
3.1.2 Penjelasan Langkah Kerja.....	22
3.2 Objek Penelitian	27
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	28
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian	28
3.5 Metode Pengumpulan Data	29
3.6 Metode Analisis Data	30
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Deskripsi	31
4.2 Desain <i>Steam Generator</i> 30 MWt.....	31
4.3 Perhitungan Ketebalan	32
4.5 Kondisi Beban Desain (<i>Design Loading</i>) pada <i>meshing</i> 20mm	36
4.5.1 Keakuratan Simulasi	36
4.5.2 Hasil Simulasi	38
4.5.3 Hasil Akurasi Model	40
4.6 Kondisi Beban Normal Operasi (<i>Service Loading</i>) pada <i>meshing</i> 20mm....	44
4.6.1 Keakuratan Simulasi	44
4.6.2 <i>Enviromental Temperature</i>	47
4.6.1 Hasil Simulasi	50
4.6.2 Hasil Akurasi Model	52
4.7 Pembahasan.....	54
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	58
Daftar Pustaka	59
Lampiran	62
Lampiran 1. Formulir F1 Dosen Pembimbing 1	62
Lampiran 2. Formulir F1 Dosen Pembimbing 2	63
Lampiran 3. Formulir F2 (Lembar Bimbingan Pembimbing 1)	64
Lampiran 4. Formulir F2 (Lembar Bimbingan Pembimbing 2)	65



© 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

Lampiran 5. Surat Keterangan Data Penelitian.....	66
Lampiran 6. Data Material ASME	67
Lampiran 7. Data Tabel.....	78
Lampiran 8. Gambar Teknik	86





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 Gambar

Gambar 2. 1 Produksi Listrik PLTN di Dunia (World Nuclear Association, 2024).	4
Gambar 2. 2 Rangkaian Komponen pada HTGR(Abby L. Harvey, 2017)	5
Gambar 2. 3 Steam Generator HTR PM dan Helical Coil SG(IAEA, 2012).....	6
Gambar 2. 4 Letak Support pada Steam Generator (Li et al., 2011).....	7
Gambar 2. 6 Desain dari HTR-10 MWt (Wu et al., 2002).....	10
Gambar 2. 7 Desain dari HTR-Module 200MWt (Kugeler & Zhang, 2019)	11
Gambar 2. 8 Desain dari HTR PM-250MWt(Kugeler & Zhang, 2019)	11
Gambar 2. 9 Bentuk Mesh (Hafish Ali, 2023)	14
Gambar 2. 10 Kualitas Meshing (Fatchurrohman & Chia, 2017).....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alur penelitian.....	21
Gambar 3. 2 Mesh pada ukuran 20mm	26
Gambar 3. 3. Program Simulasi	27
Gambar 4. 1 Steam Generator 30 MWt.....	31
Gambar 4. 2 Boundary Condition dari pengujian ketebalan.....	33
Gambar 4. 3. Grafik Ketebalan terhadap nilai Stress.....	34
Gambar 4. 4. Grafik Ketebalan 125mm.....	35
Gambar 4. 5 Analisis Ketebalan.....	35
Gambar 4. 6. Boundary Condition pengujian level desain	36
Gambar 4. 7 Grafik Element Quality	37
Gambar 4. 8 Hasil Skewness pada simulasi.....	37
Gambar 4. 9 Hasil Von Mises Stress	38
Gambar 4. 10. Nilai Total Deformasi dari simulasi	39
Gambar 4. 11 Analisis Nilai Stress Tertinggi	40
Gambar 4. 12 Pengujian pada titik stress tertinggi	41
Gambar 4. 13 Grafik Linearized Equivalent Stress	41
Gambar 4. 14 Pengujian pada titik stress tertinggi	42
Gambar 4. 15. Analisis Path 2.....	42
Gambar 4. 16 Gambar Uji Path 3	43
Gambar 4. 17 Grafik Uji Pathlines.....	43



© 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

Gambar 4. 18 Boundary Condition Temperature	45
Gambar 4. 19. Gambar Independent Mesh	46
Gambar 4. 20 Hasil simulasi mesh terhadap nilai Deformasi	46
Gambar 4. 21 Pengujian untuk Environmental Temperature	47
Gambar 4. 22 Boundary Condition Uji thermal	48
Gambar 4. 23 Hasil Uji Suhu	48
Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Suhu	49
Gambar 4. 25 Pengujian Nilai Stress	50
Gambar 4. 26 Nilai Deformasi Tertinggi	51
Gambar 4. 27 nilai stress tertinggi	52
Gambar 4. 28 Analisis Path	52
Gambar 4. 29 Grafik Pathlines 1	53
Gambar 4. 30 Linearized Equivalent Stress 1	53
Gambar 4. 31 Pengujian Linearization Equivalent Stress 2	54

**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 Istilah

HTGR	= <i>High Temperature Gas-Cooled Reactor</i>
PeLUIt	= Pembangkit Listrik dan Uap untuk Industri
RDE	= Reaktor Daya Eksperimental
HTR-PM	= <i>High Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-bed Module</i>
SG	= <i>Steam Generator</i>
FEA	= <i>Finite Element Analysis</i>
ASME	= <i>American Society of Mechanical Engineers</i>
SF	= <i>Safety Factor</i>
BPVC	= <i>Boiler and Pressure Vessel Code</i>

**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

OPTIMASI DESAIN STRUKTUR PADA *VESSEL STEAM GENERATOR* TIPE *HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR* (HTGR) 30 MWT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Nafisah Amalia ¹⁾, Muslimin ¹⁾, Muhammad Subhan ²⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

²⁾ Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), PUSPITEK Serpong, 15314

Email : nafisah.amalia.tm24@stu.pnj.ac.id

Abstrak

Energi nuklir merupakan salah satu pilihan dalam transisi energi global, dengan *High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR)* sebagai teknologi reaktor generasi terbaru yang memiliki efisiensi tinggi dan keselamatan pasif. *Steam Generator* sebagai komponen kritis HTGR 30 MWt memerlukan optimasi desain untuk menjamin integritas struktural dan kinerja operasional dalam skenario pembebanan kompleks. Dengan dilakukannya analisis ini untuk mengoptimalkan desain *Steam Generator* HTGR 30 MWt melalui analisis Pembebanan Desain (*Design Loading*) dan Pembebanan Operasional (*Service Loading*). Mengevaluasi pengaruh intensitas tegangan membran primer dan lentur terhadap integritas struktural. Menggunakan mesh sebanyak 1.882.000 elemen kuadrat pada pengujian ukuran 20 mm. Hasil menunjukkan deformasi total maksimum 1.012 mm pada rata-rata 0.47 mm dan tegangan ekuivalen von Mises maksimum 174.36 MPa didapatkan hasil rata-rata 30.77 MPa, masih di bawah kekuatan luluh material sebesar 388 MPa. Menggunakan mesh lebih kompleks didapatkan nilai 3.335.000 elemen. Simulasi struktural-termal menghasilkan deformasi maksimum 7.20 mm nilai ini masih dalam batas toleransi dan tegangan von Mises rata-rata 40.72 MPa dan nilai ini masih dalam nilai aman. Hasil stress pada beban operasi normal didapatkan 281MPa pada pengujian mesh 50mm, nilai ini masih dalam standar *ASME*, yaitu 1.5 Sm. Berdasarkan pengujian ini didapatkan data telah memenuhi standar keamanan dari *ASME Section III*.

Kata kunci : *Steam Generator, Termal-Mekanis, ASME Section III*



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

STRUCTURAL DESIGN OPTIMIZATION OF A 30 MWT HIGH TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR (HTGR) STEAM GENERATOR VESSEL FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Nafisah Amalia¹⁾, Muslimin¹⁾, Muhammad Subhan²⁾

¹⁾ Applied Bachelor's Program in Manufacturing Engineering Technology, Department of Mechanical Engineering, Jakarta State Polytechnic, UI Depok Campus, Depok 16424, Indonesia

²⁾ Research Center for Nuclear Reactor Technology, National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN), PUSPIITEK Serpong, 15314, Indonesia

Email : nafisah.amalia.tm24@stu.pnj.ac.id

Abstract

Nuclear energy is one of the options in the global energy transition, with the High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) as the latest generation reactor technology featuring high efficiency and passive safety. The Steam Generator, a critical component of the 30 MWt HTGR, requires design optimization to ensure structural integrity and operational performance under complex loading scenarios. This analysis was conducted to optimize the design of the 30 MWt HTGR Steam Generator through Design Basis Loading and Service Level Loading analyses. It evaluates the influence of primary membrane and bending stress intensities on structural integrity. Using a mesh of 1,882,000 quadratic elements with a tested size of 20 mm, the results show a maximum total deformation of 1.012 mm (average: 0.47 mm) and a maximum equivalent von Mises stress of 174.36 MPa (average: 30.77 MPa), which remains below the material yield strength of 388 MPa. A more complex mesh with 3,335,000 elements was used for combined structural-thermal simulation. This yielded a maximum deformation of 7.20 mm (within tolerance limits) and an average von Mises stress of 40.72 MPa (within safe limits). Stress results under normal operating load reached 281 MPa in a 50 mm mesh test. This value complies with the ASME standard (1.5 Sm). Based on these tests, the data confirms compliance with the safety standards of ASME Section III.

Keywords : Steam Generator, Thermo-Mechanical, ASME Section III.



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 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi nuklir telah lama menjadi salah satu sumber energi yang dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan energi global yang mengalami peningkatan kebutuhan energi (Fakhrudin et al., 2023). Pengembangan teknologi reaktor nuklir generasi terbaru menjadi fokus utama untuk menjamin efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan. Salah satu jenis reaktor yang mendapat perhatian besar adalah *High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR)*. HTGR menawarkan berbagai keunggulan, seperti efisiensi termal yang tinggi, sistem pendinginan pasif, dan fleksibilitas dalam penggunaannya, baik untuk pembangkitan listrik maupun aplikasi proses industri (Hendry Purba et al., 2019).

Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN-BRIN) terus melakukan pengembangan terhadap sistem yang berbasis pada energi nuklir. Salah satu desain yang saat ini dikembangkan adalah reaktor Pembangkit Listrik dan Uap untuk Industri (PeLUIt). Desain PeLUIt ini mempelajari dari prinsip dari reaktor HTR-PM yang dikembangkan di China. PeLUIt-40 dikembangkan menjadi PeLUIt-30 MWt dengan mengikuti dari standar BAPETEN untuk mengkonversi menjadi energi listrik. Sehingga, PeLUIt ini merupakan peningkatan kapasitas dari desain RDE 10 MWt menjadi 30 MWt. Salah satu tantangan utama yang dihadapi dalam teknologi ini adalah merancang komponen utama pada proses perpindahan panas yaitu *Steam Generator (SG)* yang mampu mendukung pada saat operasi suhu tinggi dengan efisiensi perpindahan panas yang optimal. Pada Struktur *Steam Generator* harus dirancang dengan baik, karena *Steam Generator* akan menahan tekanan serta suhu yang tinggi akibat perpindahan panas dari reaktor yang memiliki suhu 750°C dan helium menjadi pendingin pada *Steam Generator* dengan suhu disekeliling dalam *Steam Generator* adalah 250 °C (Zhang et al., 2016). Dengan rancangan yang baik sehingga *Steam Generator* mampu menahan tekanan tinggi dan dapat terhindar dari kebocoran. Pentingnya penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan teknologi



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ini memiliki nilai keselamatan yang baik dalam desain. Pada kondisi pembebanan yang digunakan dalam desain berdasarkan analisis meliputi Pembebanan Desain, Pembebanan Layanan pada beberapa tingkatan kondisi dan Pembebanan Uji, serta Evaluasi keselamatan yang lengkap yang mencakup kategori tegangan dan batasan intensitas tegangan untuk Pembebanan Desain. Pembebanan Uji sangat penting untuk memastikan integritas struktural dan keandalan sistem keselamatan generator uap. Dengan melakukan perhitungan desain perancangan yang bertujuan untuk menghitung kekuatan dan tegangan pada material serta analisis pada desain. Distribusi beban dan tekanan dalam bejana tekan dapat di analisis secara formula perhitungan matematis dengan mengacu pada standar ASME CODE Sec. III dan data perhitungan yang sudah di dapat akan di analisis dengan *software Finite Element Analysis (FEA)*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mengoptimalkan desain *Steam Generator* untuk HTGR berdaya 30 MWt berdasarkan analisis Pembebanan Desain (*Design Loading*) dan Pembebanan Operasional (*Service Loading*) agar memenuhi kriteria performa dan keamanan?
2. Bagaimana tingkat intensitas tegangan membran primer dan lentur pada struktur *Steam Generator* Peluit-30 MWt berpengaruh terhadap integritas strukturalnya ketika diuji berdasarkan skenario pembebanan?
3. Rekomendasi desain seperti apa yang dapat diusulkan untuk *Steam Generator* dan Pembangkit Uap Peluit-30 MWt tipe HTGR agar memenuhi standar keselamatan, integritas structural?



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

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengoptimalkan desain *Steam Generator* untuk HTGR berdaya 30 MWt berdasarkan analisis meliputi Pembebanan Desain dan *Service loading*
2. Menganalisis struktur *Steam Generator* Peluit-30 MWt dengan mengevaluasi intensitas tegangan membran primer dan lentur pada beberapa pengujian tingkatan.
3. Memberikan rekomendasi desain *Steam Generator* dan Pembangkit Uap Peluit-30 MWt Untuk Tipe HTGR dengan memenuhi standar keselamatan, dengan memastikan integritas struktural dan keandalan sistem keselamatan generator uap

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan dari tujuan penelitian diatas, maka Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Analisis ini hanyalah menganalisis integritas structural terhadap pembebanan internal berdasarkan dari Standar ASME Section III menggunakan simulasi *Finite Elemen Analysis*, serta pengujian pembebanan meliputi dari level desain, dan normal operasi pada *Steam Generator*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat penelitian mengenai optimasi dari desain struktur *Steam Generator* adalah sebagai berikut ini.

1. Memberikan analisis komputasi desain steam generator HTGR 30 MWt sudah berstandar ASME Section III.
2. kemudian dapat mengidentifikasi area kritis pada sambungan mekanis dan titik tumpu beban.
3. Analisis ini mengurangi biaya berlebihan pada perkembangan Steam Generator 30 MWt, karena hanya menggunakan simulasi.

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Desain Memenuhi Standar Keamanan, optimalisasi dari desain Steam Generator HTGR 30 MWt telah memenuhi standar dan integritas struktural berdasarkan standar ASME Section III, baik pada *Design Loading* (beban desain) maupun *Service Loading* (beban operasi normal), menggunakan material SA 503 dan ketebalan 125mm digunakan pada *upper shell* yang terhubung dengan *support* dan *flange*.
2. Pengaruh dari intensitas tegangan terhadap stuktural menunjukkan tegangan membran primer pada uji desain didapatkan 174 Mpa, dan uji garis linear didapatkan nilai 27.99MPa, 127.16 MPa, dan 173 Mpa. Kinerja di Beban Operasional Simulasi termal-mekanis dengan menganalisis dari tekanan dan suhu, membuktikan nilai tegangan sebesar 281 Mpa, deformasi maksimal 7.20 mm. Area kritis teridentifikasi di sambungan mekanis (Path 1: 265,4 MPa) dan (Path 2: 203,04 MPa) kedua pengujian ini masih memenuhi pada standar ASME.
3. Rekomendasi desain untuk Steam Generator ini menggunakan material SA 508 yang sudah berstandar ASME Section III untuk nuklir, serta penggunaan ketebalan 125mm untuk *upper shell*. Deformasi termal tertinggi terjadi di bagian bawah Steam Generator, sehingga memerlukan *lateral support*. Pada pengujiannya menggunakan validasi Metodologi Analisis *mesh* konvergen (1,8–3,3 juta elemen) dengan kualitas baik (Skewness ≤ 0.426) dan simulasi termal-mekanis terbukti efektif mengoptimalkan desain komponen reaktor nuklir.



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

5.2 Saran

Berdasarkan dari peneltitian yang dilakukan, penelitian ini penulis memiliki beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian mengenai optimalisasi dari steam generator adalah dengan menguji standar lebih ketat, penelitian ini tidak membahas mengenai evaluasi lebih lanjut pada kondisi kecelakaan, analisis ini terdapat pada ASME Section III pada pengujian suhu lebih tinggi untuk melihat kekuatan struktur lebih lanjut.





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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Pustaka

- Abby L. Harvey. (2017). *China Advances HTGR Technology*. <https://www.powermag.com/china-advances-htgr-technology/>.
- Amin Moghaddas. (2024, December). *Harnessing the Power of Finite Element Analysis. Part 4: Heat Transfer Analysis*. <https://ewi.org/harnessing-the-power-of-fea-heat-transfer-analysis/>.
- ASME. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code Section II*.
- Aswin, A., & Anggara, F. (2022). PERANCANGAN DAN ANALISIS TEGANGAN PRESSURE VESSEL HORIZONTAL SEPARATOR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 7(2), 83–97. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v7i2.219>
- Caesar Wiratama. (2022). *Multiphysics Analysis (Analisis Multifisika)*. <https://www.aeroengineering.co.id/2022/01/multiphysics-analysis-analisis-multifisika/>.
- Dahlke, H. J., & Weiner, E. O. (1979). *SEISMIC TRANSIENT ANALYSIS OF A CONTAINMENT VESSEL WITH PENETRATIONS* COPYRIGHT LICENSE NOTIC{.
- Didik, E., & Mardjuki, J. (2015). ANALISA PENGARUH DEFORMASI PLASTIS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA BAJA ST 42. In *TRANSMISI*.
- Fakhrudin, M., Rozi, A., Mahmudi, I., Hanum, M., & Dewi, J. P. (2023). Penerapan Energi Nuklir sebagai Pembangkit Listrik Indonesia pada Tahun 2035. In *Management and Science Proceedings* (Vol. 3, Issue 2). <http://www.openjournal.unpam.ac.id/index.php/SNH>
- Fasya Fashihah Khalid, N., Mohd Salleh, Z., Amin Ishak, I., Hanizam Madon, R., Taib, I., & Fairuz Marian, M. (2024). *Advances in Fluid, Heat and Materials Engineering Analysis of the Performance of a Pressure Vessel Structure: A Numerical Method Approach*. 2, 23–35. <https://doi.org/10.37934/afhme.2.1.2335>
- Fatchurrohman, N., & Chia, S. T. (2017). Performance of hybrid nano-micro reinforced mg metal matrix composites brake calliper: Simulation approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/257/1/012060>



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

- Hafish Ali, S. (2023). *Perancangan Struktur Reactor Pressure Vessel (Rpv) Pada Reaktor Nuklir 40 Mwt (Peluit-40)*.
- Hendry Purba, J., Adhyaksa Waskita, A., & Sony Tjahyani, D. T. (2019). Jurnal Pengembangan Energi Nuklir The Evaluation of the High Temperature Gas Cooled Reactor Safety to Fulfill the Requirement of the Next Generation Nuclear THE EVALUATION OF THE HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR SAFETY TO FULFILL THE REQUIREMENT OF THE NEXT GENERATION NUCLEAR. In *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* (Vol. 21, Issue 2).
- Huner, U., Irsel, G., Bekar, U., & Szala, M. (2025). A comprehensive case study to the implicit and explicit approach in finite element analysis. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(2), 407–417. <https://doi.org/10.12913/22998624/196987>
- IAEA. (2012). *Advances in High Temperature Gas Cooled Reactor Fuel Technology* (IAEA-TECDOC-1674). International Atomic Energy Agency.
- Kim, M.-C., Park, S.-G., Lee, K.-H., & Lee, B.-S. (2014). Comparison on Mechanical Properties of SA508 Gr.3 Cl.1, Cl.2, and Gr.4N Low Alloy Steels for Pressure Vessels. In *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Pyeongchang*.
- Kugeler, K., & Zhang, Z. (2019). *Modular High-temperature Gas-cooled Reactor Power Plant*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57712-7>
- Li, X., Li, X., Shi, L., Zhang, Z., & He, S. (2011). Safety Analysis for Hot Gas Duct Vessel in HTR-PM. *Nuclear Technology*, 174(1), 29–40. <https://doi.org/10.13182/NT11-A11677>
- Niranjana, S. J., Patel, S. V., & Dubey, A. K. (2018). Design and Analysis of Vertical Pressure Vessel using ASME Code and FEA Technique. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 376(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/376/1/012135>
- Nisa, S., Saputri, A., Indaryati, S., Novarty, N., Supardjo, S., & Ginting, A. Br. (2021). KARAKTERISASI TERMAL PEB U-7Mo/Al SEBAGAI BAHAN BAKAR REAKTOR RISET. *Urania : Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 27(2), 85. <https://doi.org/10.17146/urania.2021.27.2.6420>
- Ramayani Yasintha, N., Christopher Ondwasi, O., & Ihn, N. (2024). An investigation of structural integrity of CSB – for normal contact with RV outlet nozzle. *Nuclear Engineering and Design*, 430. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113704>



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

Saravana Kumar, M. (2023). *Practical Guide Structural Boundary Conditions using OnScale*.

Transient Dynamic Analysis and Fatigue Life Prediction of Mixing Chamber. (n.d.).

Trianti, N., Widiawati, N., Wulandari, C., Miftasani, F., Rohanda, A., Khakim, A., & Setiadipura, T. (2023). Optimum power determination and comparison of multi-pass and OTTO fuel management schemes of HTGR-based PeLUIt reactor. *Nuclear Engineering and Design*, 415. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112696>

Vijayaraghavan, S., & Saimurugan, M. (2019). *ScienceDirect Seismic analysis based structure integrity assessment of steam generator in fast breeder reactor*. www.sciencedirect.com

Wang, S., Ren, C., Sun, Y., Tu, J., & Yang, X. (2016). Experimental and numerical investigation of the flow measurement method utilized in the steam generator of HTR-PM. *Nuclear Engineering and Design*, 305, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.05.015>

World Nuclear Association. (2024). *World Nuclear Performance Report 2024*.

Wu, Z., Lin, D., & Zhong, D. (2002). The design features of the HTR-10. *Nuclear Engineering and Design*, 218(1–3), 25–32. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(02\)00182-6](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(02)00182-6)

Zhang, Z., Dong, Y., Li, F., Zhang, Z., Wang, H., Huang, X., Li, H., Liu, B., Wu, X., Wang, H., Diao, X., Zhang, H., & Wang, J. (2016). The Shandong Shidao Bay 200 MWe High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM) Demonstration Power Plant: An Engineering and Technological Innovation. *Engineering*, 2(1), 112–118. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.01.020>

Zhang, Z., Ye, P., Yang, X.-T., Ju, H.-M., Jiang, S.-Y., & Tu, J.-Y. (2019). Supercritical steam generator design and thermal analysis based on HTR-PM. *Annals of Nuclear Energy*, 132, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.04.049>