



© 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



Analisis *Fatigue* Struktur Heliks Generator Uap Pada Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi Akibat Beban Mekanis Dan Fluktuasi Termal Dengan Metode *S-N Curve*

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**Alita Syahrani
NIM. 2102321052**

**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



Analisis *Fatigue* Struktur Heliks Generator Uap Pada Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi Akibat Beban Mekanis Dan Fluktuasi Termal Dengan Metode *S-N Curve*

SKRIPSI

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

Oleh :
Alita Syahrani
NIM. 2102321052

**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

“Bismillahirrahmannirahim, skripsi ini ku persembahkan untuk alm papa & almh mama yang paling saya rindukan dan berhasil membuat saya bangkit dari kata menyerah. Alhamdulillah, karya sederhana ini akhirnya dapat kuselesaikan, sebagai persembahan kecil atas harapan besar kalian untuk saya bisa menempuh pendidikan hingga tahap ini. Doa, cinta, dan dukungan tulus dari orang-orang yang selalu hadir dengan kasih tanpa syarat. Semoga Allah membalas setiap kebaikan kalian dengan limpahan rahmat-Nya.

**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

Analisis Fatigue Struktur Heliks Generator Uap Pada Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi Akibat Beban Mekanis Dan Fluktuasi Termal Dengan Metode S-N Curve

Oleh:

Alita Syahrani

NIM: 2102321052

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah di setujui oleh pembimbing

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Vika Rizkia, S.T, M.T.
NIP.198608302009122001

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

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

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



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

SKRIPSI

Analisis *Fatigue* Struktur Heliks Generator Uap Pada Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi Akibat Beban Mekanis Dan Fluktuasi Termal Dengan Metode *S-N Curve*

Oleh:

Alita Syahrani

NIM: 2102321052

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (atau Skripsi) di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 21 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. Vika Rizkia, S.T, M.T. NIP.198608302009122001	Ketua Penguji		28/7-2025
2	Muhammad Subhan, S.T., M.Eng NIP.198807312010121002	Pembimbing Industri		30/7-2025
3	Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. NIP.196605191990031002	Penguji 1		28/7/2025
4	Dr.Eng.,Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si, M.Eng. NIP.198901312019031009	Penguji 2		28/7/2025

Depok, 21 Juli 2025

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng.Ir. Muslimin, S.T., 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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alita Syahrani

NIM : 2102321052

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang di tuliskan dalam Laporan Tugas Akhir (atau 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 Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

Depok, 21 Juli 2025





METERAI
TEMPEL
BCECFAMX348349928

Alita Syahrani

NIM. 2102321052



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

ANALISIS *FATIGUE* STRUKTUR HELIKS GENERATOR UAP PADA REAKTOR NUKLIR GAS TEMPERATUR TINGGI AKIBAT BEBAN MEKANIS DAN FLUKTUASI TERMAL DENGAN METODE *S-N CURVE*

Alita Syahrani¹, Vika Rizkia^{2*}, Muhammad Subhan³

¹Program Studi 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 Pasca Sarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), KST B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan 15314

Email : alita.syahrani.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Struktur heliks pada Helical Coil Steam Generator (HCSG) di Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi (HTGR) tipe HTR-PM mengalami pembebanan kompleks berupa tekanan mekanis (7–16 MPa) dan fluktuasi termal siklik (250–750°C). Kombinasi beban ini berpotensi menyebabkan kegagalan *fatigue* yang mengancam integritas komponen. Penelitian ini menganalisis ketahanan tiga material, Incoloy 800H, Inconel 625, dan Inconel 617 menggunakan metode S-N Curve melalui simulasi *Finite Element Method* (FEM) dengan ANSYS. Simulasi dilakukan dengan memodelkan pembebanan termomekanik lengkap, termasuk distribusi suhu, tekanan helium & fluida, serta *boundary condition* support. Hasil menunjukkan Inconel 625 memiliki performa terbaik dengan tegangan *von Mises* 148,74 MPa, di bawah *fatigue strength* 260 MPa pada 10^7 siklus memenuhi kebutuhan desain 60 tahun (21.900 siklus). Incoloy 800H mencatat tegangan 220,9 MPa dengan *fatigue life* $1,2 \times 10^5$ siklus, sedangkan Inconel 617 mengalami tegangan kritis 290,9 MPa yang melebihi *endurance limit*-nya (130 MPa), dengan umur hanya 540 siklus. Area kritis teridentifikasi di *cylindrical support* akibat pembatasan deformasi radial. Analisis safety factor memperkuat rekomendasi Inconel 625 (nilai 1,748), dibanding Incoloy 800H (1,358) dan Inconel 617 (0,446) yang tidak memenuhi standar untuk beban statis. Penelitian ini membuktikan efektivitas metode *S-N Curve* dalam prediksi *fatigue* komponen nuklir, sekaligus memberikan basis ilmiah untuk seleksi material HTGR. Rekomendasi penggunaan Inconel 625 didukung oleh simulasi yang mempertimbangkan parameter operasional nyata.

Kata Kunci: HTGR, *helical coil*, *fatigue*, metode *S-N Curve*, Inconel 625, FEM, ANSYS



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

**FATIGUE ANALYSIS OF THE HELICAL COIL STEAM GENERATOR
STRUCTURE IN A HIGH-TEMPERATURE GAS-COOLED NUCLEAR
REACTOR UNDER MECHANICAL AND THERMAL CYCLIC LOADS
USING THE S-N CURVE METHOD**

Alita Syahrani¹, Vika Rizkia^{2*}, Muhammad Subhan³

¹Program Studi 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 Pasca Sarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), KST B.J. Habibie, Setu, Tangerang Selatan 15314

Email : alita.syahrani.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

The helical structure of the Helical Coil Steam Generator (HCSG) in the High-Temperature Gas-Cooled Nuclear Reactor (HTGR) type HTR-PM is subjected to complex loading, including mechanical pressure (7–16 MPa) and cyclic thermal fluctuations (250–750°C). These combined loads pose a risk of fatigue failure, threatening component integrity. This study analyzes the fatigue resistance of three materials, Incoloy 800H, Inconel 625, and Inconel 617—using the S-N Curve method through Finite Element Method (FEM) simulations in ANSYS. The simulations model comprehensive thermomechanical loading, including temperature distribution, helium and fluid pressure, and support boundary conditions. Results show that Inconel 625 exhibits the best performance, with a von Mises stress of 148.74 MPa, below its fatigue strength of 260 MPa at 10^7 cycles, meeting the 60-year design life requirement (21,900 cycles). Incoloy 800H recorded a stress of 220.9 MPa with a fatigue life of 1.2×10^5 cycles, while Inconel 617 experienced a critical stress of 290.9 MPa, exceeding its endurance limit of 130 MPa, resulting in a fatigue life of only 540 cycles. The critical region was identified at the cylindrical support due to restricted radial deformation. Safety factor analysis supports the recommendation of Inconel 625 (safety factor: 1.748), compared to Incoloy 800H (1.358) and Inconel 617 (0.446), which fails to meet static load standards. This study validates the effectiveness of the S-N Curve method in predicting fatigue in nuclear components and provides a scientific basis for material selection in HTGRs. The recommendation of Inconel 625 is supported by simulations incorporating realistic operational parameters.

Keywords: HTGR, helical coil, fatigue, S-N Curve, Inconel 625, FEM, ANSYS



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

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan judul “**Analisis *Fatigue* Struktur Heliks Generator Uap Pada Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi Akibat Beban Mekanis Dan Fluktuasi Termal Dengan Metode *S-N Curve***”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, sejak awal seminar proposal hingga penyusunan laporan skripsi ini, penyelesaian skripsi ini akan sangat sulit. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang memberikan kesempatan, kesehatan, dan keselamatan serta rahmat dan karunia-Nya kepada penulis.
2. Alm. Bapak Johan Setiawan dan Almh. Ibu Tuti Istimiatty selaku orangtua, yang meskipun telah tiada, selalu hadir dalam doa dan kenangan penulis. Kasih sayang, doa, dan dukungan mereka menjadi sumber kekuatan yang tak tergantikan dalam setiap langkah penulis hingga saat ini.
3. Ibu Eva Yulia Damir, Ibu Linda, Ibu Yanti serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu dengan penuh kasih sayang dan ketulusan selalu memberikan doa, nasihat, serta menjadi salah satu pilar penting yang membuka jalan bagi penulis untuk menempuh pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta, sehingga dapat melangkah hingga tahap ini.
4. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T, M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
5. Bapak Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi



© 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

6. Ibu Dr.Vika Rizkia selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk bertukar pikiran selama proses pembuatan skripsi ini hingga akhir.
 7. Bapak Muhammad Subhan ,S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing industri yang telah membantu dan memberi kesempatan penulis dalam melaksanakan penelitian di BRIN.
 8. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing dan memberikan ilmu, pengalaman, dan bantuan lainnya selama masa studi dan penelitian.
 9. Seluruh tim Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah menerima saya dengan baik serta memfasilitasi kebutuhan penelitian, termasuk penyediaan perangkat lunak berlisensi resmi.
 10. Mba Riana Selistiawati, Mas Irwan Setiawan, dan Mba Gita Sagita serta keluarga yang telah banyak membantu penulis baik secara moral maupun moril.
 11. Teman-teman seperjuangan di BRIN yang telah banyak membantu serta mengajari software.
 12. Ray Suryo Wicaksono yang telah memberikan semangat, motivasi serta mendampingi penulis selama proses penulisan penelitian ini.
- Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 21 Juli 2025

Alita Syahrani



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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR ISTILAH.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Reaktor Nuklir.....	8
2.1.2 <i>High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR)</i>	9



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

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

2.1.3	<i>High Temperature Reactor-Pebble Bed Module (HTR-PM)</i>	9
2.1.4	Model Geometri <i>Helical Coil Steam Generator (HCSG)</i> pada HTGR 13	
2.1.5	Klasifikasi Material	14
2.1.6	<i>Material Helical Coil Steam Generator (HCSG)</i>	16
2.1.7	Kegagalan <i>Fatigue</i>	20
2.1.8	Tegangan (<i>Stress</i>)	24
2.1.9	<i>Equivalen Stress</i>	25
2.1.10	Simulasi ANSYS	25
2.1.11	<i>Safety Factor</i>	28
2.2	Kajian Literatur	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Jenis Penelitian	32
3.2	Diagram Alir Pengerjaan	32
3.3	Objek Penelitian	36
3.4	Metode Pengambilan Sampel	36
3.5	Jenis dan Sumber Data Penelitian	37
3.6	Varibel Penelitian	37
3.7	Metode Analisis Data	38
BAB IV PEMBAHASAN		48
4.1	Hasil <i>Equivalen Stress (Von mises)</i> Ketiga Material	48
4.2	Area Kritis pada Struktur Heliks Ketiga Material	50
4.3	Analisis <i>Fatigue Life</i> Menggunakan Metode <i>S-N Curve</i>	52
4.3.1	Perhitungan <i>Stress Amplitude σ_a</i> Ketiga Material	52
4.3.2	Hasil <i>Fatigue Life</i> Ketiga Material	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 milik Politeknik Negeri Jakarta**

4.3.3	Kurva <i>S-N</i> dan Prediksi Umur <i>Fatigue</i>	55
4.3.4	Perhitungan Umur Siklus Operasional.....	59
4.4	Performa <i>Safety Factor</i> Ketiga Material.....	60
BAB V KESIMPULAN.....		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		71





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 TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Material Incoloy 800H	16
Tabel 2. 2 Sifat Mekanis Material Incolloy 800H	17
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Material Inconel 625	18
Tabel 2. 4 Sifat Mekanis Material Inconel 625	18
Tabel 2. 5 Komposisi Kimia Material Inconel 617	19
Tabel 2. 6 Sifat Mekanis Material Inconel 617	20
Tabel 3. 1 Variable Metodologi Penelitian	37
Tabel 3. 2 Data Geometri Helical Coil Steam Generator	41
Tabel 3. 3 Hasil meshing	42
Tabel 3. 4 Distribusi Helium dan Distribusi Air/Uap	43
Tabel 3. 5 Distribusi Tekanan Helium dan Air/Fluida	45
Tabel 4. 1 Equivalen Stress Ketiga Material	49



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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Generasi Reaktor Nuklir	8
Gambar 2. 2 Skematik Sistem Reaktor HTR-PM	10
Gambar 2. 3 Struktur HCSG pada HTGR.....	13
Gambar 2. 4 Ilustrasi Wilayah Helical Coil	14
Gambar 2. 5 Kurva S-N	21
Gambar 2. 6 Penentuan Masa Fatigue Material.....	22
Gambar 2. 7 Bentuk Mesh	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan	33
Gambar 3. 2 Objek Penelitian	36
Gambar 3. 3 Antarmuka Awal Perangkat Lunak ANSYS.....	39
Gambar 3. 4 Penginputan Engineering Data Perangkat Lunak ANSYS.....	40
Gambar 3. 5 Kurva S-N Material Incoloy 800H.....	40
Gambar 3. 6 Kurva S-N Material Inconel 625.....	40
Gambar 3. 7 Material Inconel 617 Dalam ANSYS.....	40
Gambar 3. 8 Pembuatan Geometri di Spaceclaim	41
Gambar 3. 9 Hasil meshing.....	42
Gambar 3. 10 Tampilan Steady Thermal dalam Simulasi ANSYS.....	43
Gambar 3. 11 Tampilan Distribusi Helium dalam Simulasi ANSYS.....	44
Gambar 3. 12 Distribusi Air/Uap dalam Simulasi ANSYS	44
Gambar 3. 13 Tampilan Static Structural dalam Simulasi ANSYS	44
Gambar 3. 14 Tampilan Fixed Support	46
Gambar 3. 15 Tampilan Cylindrical Support	46
Gambar 4. 1 Hasil Equivalen Stress Material Incoloy 800H.....	48



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

Gambar 4. 2 Hasil Equivalen Stress Inconel 625.....	49
Gambar 4. 3 Hasil Equivalen Stress Inconel 617.....	49
Gambar 4. 4 Hasil Titik kritis Helical Coil Incoloy 800H	50
Gambar 4. 5 Hasil Titik Kritis Helical Coil Inconel 625	51
Gambar 4. 6 Hasil Titik Kritis Helical Coil Inconel 617	51
Gambar 4. 7 Type Setting ANSYS Fully Reserved	52
Gambar 4. 8 Hasil Fatigue Life Inconel 800H.....	54
Gambar 4. 9 Hasil Fatigue Life Inconel 625.....	54
Gambar 4. 10 Hasil Fatigue Life Inconel 617.....	55
Gambar 4. 11 Hasil Safety Factor Incoloy 800H.....	60
Gambar 4. 12 Hasil Safety Factor Inconel 625	61
Gambar 4. 13 Hasil Safety Factor Inconel 617	62



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 ISTILAH

Singkatan

HTGR
HTR-PM
FEM
PLTN
PRTRN
BRIN
TRISO
HCOTSG
HCSG
FEA

Arti

High Temperature Gas Cooled Reactor
High Temperature Reactor-Pebble-bed Module
Finite Element Method
Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir
Badan Riset Inovasi dan Nasional
Tristructural-Isotropic
Helical Coil Once Through Steam Generator
Helical Coil Steam Generator
Finite Element Analysis

**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

Tantangan global dalam memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan mendorong inovasi di bidang teknologi nuklir. Reaktor Nuklir Gas Temperatur Tinggi (HTGR) tipe HTR-PM (*High Temperature Reactor-Pebble Bed Module*) merupakan salah satu teknologi generasi IV yang menawarkan efisiensi termal tinggi, sistem keamanan pasif, serta fleksibilitas dalam pemanfaatan energi, baik untuk pembangkit listrik maupun produksi *hydrogen* [1]. Menurut laporan IAEA, 2023 HTR-PM yang telah beroperasi di Shidaowan, Shandong, Tiongkok, menjadi contoh keberhasilan penerapan teknologi reaktor *modular pebble-bed* yang menggunakan helium sebagai pendingin dan bahan bakar *TRISO (Tri-isotropic)* [2]. Di Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) melalui Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir (PRTRN) juga sedang mengembangkan teknologi HTGR, termasuk reaktor modular kecil seperti PeLUIt-40, sebagai bagian dari upaya nasional mempercepat transisi menuju energi bersih dan mencapai target pembangunan pembangkit nuklir [3].

Pada sistem HTR-PM, struktur heliks pada generator uap memiliki peran penting dalam proses transfer panas dari gas helium bersuhu tinggi (750–950°C) ke siklus uap, yang secara langsung memengaruhi efisiensi termal pembangkit. Struktur ini terdiri atas tabung-tabung berbentuk heliks yang didesain untuk mengoptimalkan perpindahan panas, namun juga harus mampu bertahan dalam kondisi operasi yang ekstrem, seperti suhu tinggi, tekanan dan siklus termal yang berulang [4]. Disamping itu, kondisi operasional ekstrem tersebut menyebabkan kelelahan material (*fatigue*) pada struktur heliks akibat kombinasi beban mekanis dan termal, yang dapat memicu inisiasi retak, degradasi performa, hingga risiko kegagalan struktural. Menurut Patil, et al (2017), siklus termal pada penukar panas suhu tinggi dapat mempercepat kerusakan material, sehingga analisis *fatigue* menjadi kritis untuk memastikan keandalan dan umur operasional komponen [5].



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

Untuk memenuhi persyaratan operasional ekstrem tersebut, material HCSG harus memiliki ketahanan suhu tinggi, ketahanan korosi, ketahanan *fatigue*, ketahanan *creep*, serta kekuatan mekanis yang memadai. Tiga material yang dipilih untuk analisis dalam penelitian ini adalah Incoloy 800H, Inconel 625, dan Inconel 617, karena sifat-sifatnya yang sesuai dengan kebutuhan HCSG pada HTGR: Incoloy 800H memiliki kandungan nikel (30–35%) dan kromium (19–23%) yang cukup tinggi untuk memberikan ketahanan terhadap suhu hingga 1100°C, dengan ketahanan *creep* yang baik dan stabilitas termal pada suhu tinggi. Kandungan nikel dan kromium material ini menahan oksidasi dan menjaga integritas struktural di bawah beban termal konstan. Namun, material ini memiliki keterbatasan dalam ketahanan korosi pada lingkungan agresif, seperti larutan klorida, yang dapat menyebabkan *pitting* atau *stress corrosion cracking* (SCC). Incoloy 800H dipilih karena keseimbangan antara performa suhu tinggi dan biaya yang lebih ekonomis dibandingkan Inconel [6][28]. Selanjutnya inconel 625 dikenal memiliki ketahanan korosi dan *fatigue* yang sangat baik, bahkan dalam lingkungan yang sangat korosif. Komposisinya terdiri dari nikel (58%), kromium (20–23%) yang meningkatkan ketahanan suhu tinggi dengan menjaga struktur serta ketahanan oksidasi dan korosi, molibdenum (8–10%) dan niobium (3,15–4,15%) kombinasi molibdenum dan kromium memberikan perlindungan terhadap *pitting* dan *crevice corrosion*, sementara niobium meningkatkan kekuatan material tanpa perlu perlakuan panas tambahan. Inconel 625 dipilih karena kemampuannya menahan fluktuasi tegangan siklik dan korosi dalam kondisi operasional HCSG, meskipun memiliki biaya produksi yang lebih tinggi dan kesulitan pemrosesan mekanis [8][31]. Dan terakhir, Inconel 617 menawarkan ketahanan *creep* dan oksidasi yang sangat baik hingga 1200°C, berkat komposisinya yang mencakup nikel (44,5%), kromium (20–24%). Molibdenum (8–10%), dan kobalt (10–15%), meningkatkan ketahanan terhadap korosi reduktif, sedangkan kromium dan aluminium melindungi dari oksidasi. Material ini dipilih karena kemampuan unggul dalam menahan suhu ekstrem dan beban termal jangka panjang. Namun, Inconel 617 rentan terhadap *pitting* dan *stress corrosion cracking* (SCC) di lingkungan klorida, memiliki biaya produksi tinggi karena kandungan kobalt, dan sensitif terhadap cacat pengelasan. Incoloy 800H,



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

Inconel 625, dan Inconel 617 dipilih sebagai kandidat utama karena memenuhi kebutuhan HCSG. [7][29][30].

Menurut Kaimkuriya, et al (2024) umur kelelahan material menurun secara signifikan pada suhu tinggi, yang disebabkan oleh akumulasi tegangan serta penurunan kekuatan dan keuletan material akibat pengaruh termal [9]. Namun, studi yang secara spesifik membandingkan ketiga material ini pada struktur heliks HTR-PM masih sangat terbatas. Penelitian ini dilakukan menunjukkan bahwa pemilihan material komponen kritis, seperti struktur heliks, dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Namun, tantangan dalam memilih material yang menyeimbangkan ketahanan *fatigue* memerlukan analisis mendalam. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik berbasis metode elemen hingga *Finite Element Method* untuk mengevaluasi performa *fatigue* ketiga material dengan pendekatan *S-N Curve*, memungkinkan analisis kuantitatif tanpa menggunakan pengujian fisik mahal dan memakan waktu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *fatigue* pada struktur heliks generator uap HTR-PM dengan membandingkan performa material incoloy 800H, inconel 617 dan inconel 625 menggunakan metode *S-N Curve*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam mendukung pengembangan teknologi HTGR di Indonesia, sekaligus menjadi referensi dalam pemilihan material optimal untuk aplikasi reaktor nuklir generasi IV.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan manfaat penulisan ini, maka muncul beberapa pertanyaan:

1. Masih terbatasnya studi komparatif mengenai ketahanan *fatigue* ketiga material (Incoloy 800H, Inconel 625, dan Inconel 617) dalam kondisi operasi HTGR.



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

2. Belum tersedianya identifikasi area kritis pada struktur heliks generator uap HTGR yang rentan terhadap akumulasi tegangan maksimum sebagai titik awal inisiasi retak lelah.
3. Kurangnya prediksi kuantitatif umur lelah (*fatigue life*) struktur heliks menggunakan metode *S-N Curve*.
4. Minimnya evaluasi faktor keamanan (*safety factor*) struktural berdasarkan hasil simulasi numerik.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana hasil tegangan *equivalen stress (Von Mises)* pada struktur heliks generator uap HTGR akibat beban mekanis dan termal untuk ketiga material?
2. Di mana lokasi area kritis yang berpotensi mengalami kegagalan *fatigue*?
3. Bagaimana prediksi umur lelah (*fatigue life*) ketiga material berdasarkan metode *S-N Curve*?
4. Bagaimana performa faktor keamanan (*safety factor*) masing-masing material?

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini dibatasi melalui batasan-batasan berikut agar ruang lingkupnya lebih terarah, diantaranya:

1. Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada analisis *fatigue* pada bagian heliks Generator Uap HTGR dengan metode *S-N Curve* dengan data material dari literatur yang valid.
2. Beban yang dianalisis meliputi beban mekanis (tekanan) serta beban termal (gradien suhu) yang umum terjadi pada HTGR.
3. Penelitian ini menggunakan software *ANSYS* lisensi BRIN untuk melakukan 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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditujukan untuk mencapai tujuan-tujuan berikut :

1. Menganalisis *equivalen stress* maksimum pada struktur heliks generator uap HTGR akibat beban mekanis dan termal untuk ketiga material
2. Mengidentifikasi area kritis pada struktur heliks generator uap (*helical steam generator*) yang mengalami akumulasi tegangan tertinggi dan potensi kegagalan.
3. Membandingkan prediksi *fatigue life* dari ketiga material menggunakan metode *S-N Curve*.
4. Mengevaluasi nilai *safety factor* setiap material

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Bagi Mahasiswa :

Melalui penelitian ini, penulis berharap dapat memperluas pemahaman terkait fenomena *fatigue* pada struktur heliks generator uap HTGR.

Bagi Politeknik Negeri Jakarta:

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu rujukan bagi mahasiswa, khususnya di lingkungan Politeknik Negeri Jakarta, yang ingin mengetahui *fatigue* akibat beban dan termal pada Struktur Heliks Generator Uap HTGR.
2. Bagi Politeknik Negeri Jakarta:

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu rujukan bagi mahasiswa, khususnya di lingkungan Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bagi Institusi BRIN:

Hasil penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan struktur heliks pada Generator Uap HTGR dalam mendukung pengembangan material yang aman dan handal.

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

2.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan Penelitian Skripsi ini adalah sebagai berikut:

A. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang dilakukan penelitian, rumusan permasalahan penelitian, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian. Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran awal tentang fokus dan arah penelitian.

B. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori yang menjadi panduan penelitian yang mencakup gagasan umum tentang pembangkit listrik tenaga nuklir, meliputi gambaran generasi PLTN yang berkembang, tipe reaktor HTGR (High temperature gas-cooled Reactor) jenis HTR-PM (*high-temperature gas-cooled reactor pebble-bed module*), Model Geometri Helical Coil Steam Generator (HCSG) pada HTG, klasifikasi material meliputi (incoloy 800H, inconel 625, dan inconel 617), penjelasan kegagalan *fatigue*, *equivalen stress*, simulasi ANSYS, *safety factor*. Selain itu, bab ini juga menyajikan kajian literatur yang relevan.

C. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci jenis penelitian yang digunakan, diagram alir pengerjaan, objek penelitian yang dibahas, metode analisis data, penjelasan analisis data menggunakan ANSYS mechanical yang digunakan untuk mengolah dan menafsirkan pengujian yang dilakukan.

D. Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini memuat hasil pengujian simulasi ANSYS meliputi *equivalen stress* maksimum ketiga material, identifikasi area kritis yang menjadi akumulasi kerusakan kegagalan yang terjadi, *fatigue life* menggunakan metode *S-N Curve*, perhitungan terkait *stress amplitude*, prediksi umur *fatigue* serta *safety factor* untuk ketiga material yang diuji.

E. Bab V Penutup

Bab terakhir ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian lanjutan atau implementasi hasil 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



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

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis tegangan *equivalen stress*, area kritis, *safety factor*, dan *fatigue life* menggunakan metode *S-N Curve* terhadap struktur HCSG pada HTGR, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil *equivalen stress* maksimum menunjukkan nilai yang berbeda untuk ketiga material. Incoloy 800H mengalami tegangan sebesar 220,9 MPa, Inconel 625 sebesar 148,74 MPa, dan Inconel 617 sebesar 290,9 MPa. Dengan demikian, Inconel 625 menunjukkan keandalan struktural yang lebih baik daripada dua material lainnya. Namun, intensitas tegangan maksimum bervariasi karena sifat mekanik masing-masing material.
2. Area kritis pada struktur heliks dengan konsentrasi tegangan tinggi teridentifikasi pada lengkungan struktur heliks dan wilayah *cylindrical support* untuk ketiga material. Area ini menjadi titik awal potensial kerusakan akibat beban berulang karena adanya akibat pembebanan tidak dapat menyebar secara merata serta pembatasan radial dan tangensial meskipun bebas pada arah radial.
3. Prediksi *Fatigue life* menggunakan metode *S-N Curve* menunjukkan incoloy memiliki umur hingga 120.000 siklus ($1,2 \times 10^5$) dengan tegangan operasional 220,9 MPa dibawah *fatigue strength* (300 MPa). Inconel 625 memiliki umur hingga 10.000.000 siklus (10^7) dengan tegangan operasional 148,74 MPa, juga berada dibawah *fatigue strength* (260 MPa). Dan untuk inconel 617 memiliki umur hingga 540 siklus dengan tegangan operasional 290 MPa melampaui *fatigue strength* (130 MPa), sehingga akan berpotensi mengalami kegagalan *fatigue* lebih cepat.

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. Performa *safety factor*, Incoloy 800H memiliki nilai sebesar 1,358 yang termasuk dalam kategori aman, karena berada dalam rentang batas *safety factor* untuk beban statis (1,25–2). Inconel 625 memiliki nilai *safety factor* sebesar 1,748, yang dikategorikan sangat aman. Sebaliknya, Inconel 617 memiliki nilai *safety factor* hanya 0,446, sehingga tidak memenuhi standar batas minimal dan dikategorikan tidak aman untuk digunakan dalam kondisi beban statis.

5.2 Saran

Dari keseluruhan proses analisis dan hasil yang diperoleh, beberapa saran berikut dapat diajukan untuk pertimbangan pengembangan lebih lanjut terkait analisis *fatigue* pada struktur heliks generator uap HTGR:

1. Optimalisasi desain geometri heliks, dilakukan optimalisasi desain geometri heliks dengan mengubah pitch heliks, diameter pipa, ketebalan dinding, *boundary support* seperti jenis *support* yang dipakai untuk mengurangi konsentrasi tegangan pada area penting. Konfigurasi yang meminimalkan akumulasi tegangan dapat ditemukan dengan melakukan simulasi tambahan dengan variasi parameter geometri.
2. Pengujian eksperimental
Untuk memvalidasi hasil simulasi numerik, disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental pada prototipe struktur heliks dengan material Incoloy 800H, Inconel 625, dan Inconel 617. Pengujian ini dapat mencakup uji *fatigue* siklik dan uji ketahanan termal pada kondisi operasional HTGR untuk memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan performa aktual material di lingkungan nyata.
3. Integrasi pendekatan *fatigue* tambahan
Selain metode *S-N Curve*, disarankan untuk mengintegrasikan pendekatan *strain-life* (ϵ -N) untuk analisis *fatigue*. Pendekatan ini

dapat memberikan wawasan tambahan mengenai inisiasi dan propagasi retak, terutama pada kondisi siklus rendah (*low-cycle fatigue*) yang mungkin terjadi akibat fluktuasi termal ekstrem. Kombinasi metode $S-N$ dan $\varepsilon-N$ dapat meningkatkan akurasi prediksi umur lelah dan memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang perilaku material.



© 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





DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Atomic Energy Agency, "Advances in small modular reactor technology developments," 2023.
- [2] ANTARA News, "Pembangkit listrik tenaga nuklir generasi IV yang pertama di dunia telah beroperasi secara komersial," Antara News, 28 Des. 2023. [Online]. Available: <https://www.antaranews.com/>
- [3] Kompas.id, "BRIN kaji teknologi reaktor berpendingin gas suhu tinggi untuk pengembangan PLTN," Kompas.id, 5 Des. 2023. [Online]. Available: <https://www.kompas.id/>
- [4] Z. Zhang et al., "Current status and technical description of Chinese 2×250 MWth HTR-PM demonstration plant," Nucl. Eng. Des., vol. 239, no. 7, pp. 1212–1219, Jul. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2009.02.023>
- [5] R. Patil and S. Anand, "Thermo-structural fatigue analysis of shell and tube type heat exchanger," Int. J. Pressure Vessels Piping, vol. 153, pp. 1–11, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jipvp.2017.03.004>
- [6] R. J. Wolwicz, "Creep-rupture properties of Incoloy 800H, 2-1/4 Cr-1 Mo, and Hastelloy X alloys in simulated HTGR environment," General Atomic Company, San Diego, CA, USA, Interim Rep. No. GA-A13876, 1976. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2172/7157062>.
- [7] I. Sah, J.-B. Hwang, and E.-S. Kim, "Creep behavior of diffusion-welded Alloy 617," Metals, vol. 11, no. 5, p. 830, May 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/met11050830>
- [8] M. M. de Oliveira et al., "Mechanical behavior of Inconel 625 at elevated temperatures," Metals, vol. 9, no. 3, Art. 301, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/met9030301>

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



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

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

- [9] A. Kaimkuriya, B. Sethuraman, and M. Gupta, "Effect of physical parameters on fatigue life of materials and alloys: A critical review," *Technologies*, vol. 12, no. 7, p. 100, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/technologies12070100>.
- [10] M. Setiawan, M. A. Widiawaty, and M. Dede, "Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia (Upaya Berkelanjutan Menuju Net Zero Emission)," 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7905583>
- [11] Y. Dong, "Design, safety features and progress of the HTR-PM," Tsinghua University, Institute of Nuclear and New Energy Technology (INET), 2018. [Online]. Available: https://gif.jaea.go.jp/webinar/index_eng.html#webinar017.
- [12] Z. Zhang et al., "The Shandong Shidao Bay 200 MWe High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM)," *Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 112–118, Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.01.020>
- [13] H. D. Gougar, "High Temperature Gas-cooled Reactor – History, Physics, Design Features," Idaho National Laboratory, Apr. 2019. [Online]. Available: https://inldigitallibrary.inl.gov/sites/sti/sti/Sort_24839.pdf.
- [14] M. Ilyas and F. Aydogan, "Steam generator performance improvements for integral small modular reactors," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 49, no. 8, pp. 1669–1679, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.08.011>
- [15] H. Yao et al., "Study on the systematic thermal-hydraulic characteristics of helical coil once-through steam generator," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 154, May 2021, Art. no. 108096, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.108096>
- [16] B. W. Riyandwita et al., "Design scenario and analysis for preliminary specification of steam generator in the PELUIT-40," *J. Teknol. Reaktor Nuklir TRI Dasa Mega*, vol. 25, no. 1, p. 15, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.55981/tdm.2023.6778>
- [17] B. W. Riyandwita et al., "Analytical design of helical coil steam generator for hot temperature gas reactor," in *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1198, no. 4, Art. no. 042014, IOP Publishing, 2019.



- 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 milik Politeknik Negeri Jakarta

- [18] C. Wiratama, "Pengantar ilmu material dan teknik," PT Tensor, 16 Mar. 2022. [Online]. Available: <https://pttensor.com/2022/03/16/pengantar-ilmu-material-dan-teknik/>.
- [19] Special Metals Corporation, "INCOLOY® Alloy 800H/800HT– Technical Bulletin." [Online]. Available: <https://www.specialmetals.com/documents/technicalbulletins/incoloy/incoloy-alloy-800h-800ht.pdf>.
- [20] "INCONEL® Alloy 625 - Technical Bulletin." [Online]. Available: <https://www.specialmetals.com/documents/technical-bulletins/inconel/inconel-alloy-625.pdf>.
- [21] "INCONEL® Alloy 617 – Technical Bulletin." [Online]. Available: <https://www.specialmetals.com/documents/technical-bulletins/inconel/inconel-alloy-617.pdf>.
- [22] A. Amiruddin and F. A. Lubis, "Analisa pengujian lelah material tembaga dengan menggunakan rotary bending fatigue machine," J. Ilm. Mekanika (Teknik Mesin ITM), vol. 4, no. 2, pp. 93–99, Nov. 2018. [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/329180-analisa-pengujian-lelah-material-tembaga-80169c1f.pdf>.
- [23] FiSiBLE STaTE, "Fatigue life analysis," WordPress, n.d. [Online]. Available: <https://fisible.wordpress.com/fatigue-life-analysis/>.
- [24] ANSYS, Inc., "Equivalent stress results," in ANSYS Help Documentation, 2024. [Online]. Available: https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/////Views/Secured/corp/v242/en/wb_sim/ds_Equiv_Stress.html.
- [25] özgün, "Boundary conditions and explanations in ANSYS," Mechead, 10 Okt. 2022. [Online]. Available: <https://www.mechhead.com/boundary-conditions-and-explanations-in-ansys/>.
- [26] Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, "Modul pelatihan ANSYS 2022: Fitur dasar & meshing," 2022. [Online]. Available: <https://studylib.net/doc/25878253/modul-basic-and-meshing-ansys-2022>.



- 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 milik Politeknik Negeri Jakarta

- [27] Libratama, "Faktor keamanan (safety factor) dalam perancangan elemen mesin," Libratama, Okt. 2012. [Online]. Available: <https://libratama.com/faktor-keamanansafety-factor-dalam-perancangan-elemen-mesin/>.
- [28] W. Zhang et al., "Low cycle fatigue behavior of Incoloy 800H weld joint at 800 °C," Int. J. Pressure Vessels Piping, vol. 208, Art. no. 105152, 2024, doi: 10.1016/j.ijpvp.2024.105152.
- [29] S. G. Sukaryo, B. Badriyana, and P. Sebleku, "Pengaruh penambahan molibdenum terhadap morfologi struktur mikro, sifat mekanik, dan ketahanan korosi paduan Zr Nb untuk material implan," Metalurgi, vol. 29, no. 1, pp. 17–26, 2014, doi: 10.14203/metalurgi.v29i1.267.
- [30] Gurumuda.net, "Peranan kromium dalam pembuatan baja tahan karat," n.d. [Online]. Available: <https://gurumuda.net/metalurgi/peranan-kromium-dalam-pembuatan-baja-tahan-karat.htm>. [Accessed: 1 Jul. 2025].
- [31] Yu Qiuqing, "A comprehensive guide to nickel based super alloy: Inconel 625 (UNS N06625 / W. Nr. 2.4856)," Epower Metals, 16 Agustus 2022.[Online]. Available: <https://www.epowermetals.com/id/a-comprehensive-guide-to-nickel-based-super-alloy-inconel-625-uns-n06625-w-nr-2-4856.html>.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama Lengkap : Alita Syahrani
NIM : 2102321052
Tempat. Tanggal Lahir : Bekasi, 03 September 2002
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Nurul Iman. RT 009/ RW 001. Kel.
Jakasampurna, Kec. Bekasi Barat, Kota Bekasi, Jawa Barat,
17145
Email : alita.syahrani.tm21@mhs.w.pnj.ac.id
Pendidikan
SD
(2009- 2015) : SDN Jakasampurna X
SMP
(2015-2018) : SMPN 90 Jakarta
SMA
(2018-2021) : SMAN 2 Bekasi
8. Program Studi : D4- Teknologi Rekayasa Konversi Energi
9. Jurusan : Teknik Mesin

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