



© 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 *LOWER SUPPORT STRUCTURE*
UNTUK *HIGH TEMPERATURE GAS-*
COOLED REACTOR (HTGR) 40 MWT

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:

Minannurrahman Zidan Ramadhani

NIM. 2102311046

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2024



© 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 *LOWER SUPPORT STRUCTURE* UNTUK
HIGH TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR
(HTGR) 40 MWT**

DRAFT TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Diploma III Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Minannurrahman Zidan Ramadhani

NIM. 2102311046

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

AGUSTUS 2024



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 TUGAS AKHIR**

**ANALISIS *LOWER SUPPORT STRUCTURE* UNTUK HIGH
TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR (*HTGR*) 40
MWT**

Oleh:

Minannurrahman Zidan Ramadhani

NIM. 2102311046

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

(Industri)

Dr. Eng. Muslimin, ST., MT.IWE

NIP. 197707142008121005

Muhammad Subhan, ST., M.Eng

NIP. 198807312010121002

Kepala Program Studi
DIII-Teknik Mesin

Budi Yuwono, S.T.

NIP. 196306191990031002



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 TUGAS AKHIR

ANALISIS LOWER SUPPORT STRUCTURE UNTUK HIGH TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR (HTGR) 40 MWT

Oleh:
Minannurrahman Zidan Ramadhani
NIM. 2102311046
Program Studi DIII Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 16 Agustus 2024 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Diploma III pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Hamdi, S. T., M.Kom.	Penguji		16 Agustus 2024
2	Dr. Candra Damis Widiawaty, S.T.P., M.T.	Penguji		16 Agustus 2024
3	Muhammad Subhan S.T., M.Eng	Penguji		16 Agustus 2024
4	Dr. Eng. Ir. Muslimin. S.T., M.T., IWE.	Moderator		16 Agustus 2024

Depok, 16 Agustus 2024
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 mengemukakan 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 : Minannurrahman Zidan Ramadhani
NIM : 2102311046
Program Studi : DIII Teknik Mesin

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 17 Agustus 2024



Minannurrahman Zidan R



ANALISIS *LOWER SUPPORT STRUCTURE* UNTUK *HIGH TEMPERATURE GAS-COOLED REACTOR* (HTGR) 40 MWT

Minannurrahman Zidan R¹⁾, Muslimin²⁾, Muhammad Subhan³⁾, Farisy
Yogatama Sulisty³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Gedung No. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310

Email: minannurrahman.zidan.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Steam generator adalah salah satu komponen reaktor nuklir berpendingin gas (HTGR) yang berfungsi untuk menguapkan air menjadi uap *superheated* bertekanan tinggi. Tekanan, beban, serta suhu yang tinggi dalam operasi SG mengharuskannya memiliki desain yang mampu menahan kondisi tersebut. Salah satu bagian struktur dalam SG HTGR 40 MWt adalah *lower support structure* (LSS) yang berfungsi untuk memberikan integritas pada bagian bawah SG HTGR 40 MWt. LSS akan terpapar suhu 400 °C dan tekanan kerja *steam generator* (34 Bar). Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi numerik *finite element analysis* (FEA) menggunakan *software* Ansys dengan meninjau dua buah standar keselamatan yaitu ASME Code dan *safety factor* sebagai batas keamanan rancangan LSS. Dari simulasi FEA didapatkan hasil deformasi maksimum 0,77 mm, *maximum equivalent stress (von-mises)* 101,95 MPa, *linearized equivalent stress* maksimum 101,95 MPa, dan nilai minimum *safety factor* 1,66. Hasil tersebut menunjukkan bahwa simulasi sudah memenuhi rumus standar keselamatan ASME Code Section III yaitu $P_1 + P_2 < 1,5 S_m$ ($101,95 \text{ MPa} < 154,5 \text{ MPa}$) dan *safety factor* yang nilai minimumnya ditargetkan melebihi 1,5 ($1,66 > 1,5$)

Kata kunci: Reaktor nuklir, HTGR, *steam generator*, *finite element analysis*.

- 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 kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



LOWER SUPPORT STRUCTURE ANALYSIS IN STEAM GENERATORS FOR HIGH-TEMPERATURE GAS-COOLED REACTORS (HTGR) 40 MWt

Minannurrahman Zidan R¹⁾, Muslimin²⁾, Muhammad Subhan³⁾, Farisy
Yogatama Sulisty³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Gedung No. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310

Email: minannurrahman.zidan.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

The steam generator is one of the components of a gas-cooled nuclear reactor (HTGR) that functions to evaporate water into high-pressure superheated steam. The high pressure, load, and temperature during SG operation necessitate a design capable of withstanding these conditions. One of the internal structural parts of the 40 MWt HTGR SG is the lower support structure (LSS), which provides integrity to the lower part of the 40 MWt HTGR SG. The LSS will be exposed to a temperature of 400 °C and the operating pressure of the steam generator (34 Bar). This study will conduct a numerical simulation using finite element analysis (FEA) with Ansys *software*, considering two safety standards: the ASME Code and the safety factor as the safety limits for the LSS design. The FEA simulation results show a maximum deformation of 0.77 mm, maximum von Mises equivalent stress of 101.95 MPa, maximum linearized equivalent stress of 101.95 MPa, and a minimum safety factor of 1.66. These results indicate that the simulation meets the ASME Code Section III safety standard formula, $P_1 + P_b < 1.5 S_m$ ($101.95 \text{ MPa} < 154.5 \text{ MPa}$), and the minimum safety factor, which is targeted to exceed 1.5 ($1.66 > 1.5$).

Keywords: HTGR, nuclear reactor, steam generator, finite element analysis

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 serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis *Lower Support Structure* untuk *High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) 40 Mwt*”.

Dalam proses pembuatan laporan Tugas Akhir ini penulis mendapati beberapa kesulitan, namun atas bantuan dari berbagai pihak laporan ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini, di antaranya:

1. Kepada kedua Orang Tua, keluarga, beserta kerabat yang selalu memberi dukungan
2. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Mesin sekaligus dosen pembimbing Praktik Kerja Lapangan
3. Bapak Budi Yuwono, S.T., MT selaku Ketua Program Studi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
4. Bapak Muhammad Subhan S.T., M.Eng dan Bapak Farisy Yogatama S, S.T. selaku pembimbing Lapangan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
5. Dan semua rekan-rekan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang selalu memberikan ilmu, pengalaman, dan koreksi kepada penulis saat praktik kerja di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
6. Teman seperjuangan penulis dalam melaksanakan kegiatan Praktik Kerja Lapangan semoga amal kebaikan mendapat balasan dari Tuhan Yang Maha ESA.
7. Teman-teman M21 yang telah menghibur penulis disaat membutuhkan

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

Meski penulis telah menyusun laporan Tugas Akhir ini dengan maksimal, namun tidak menutup kemungkinan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran dari pembaca yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca terutama mahasiswa Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Mesin.

Depok, 2 Agustus 2024

Minannurrahman Zidan Ramadhani
NIM. 2102311046





DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Reaktor Nuklir HTGR.....	5
2.2 HTGR 40 MWt	8
2.3 Struktur Dalam SG HTGR 40 MWt.....	9
2.3.1 Studi Desain SG HTGR 40 MWt.....	9
2.3.2 Penjelasan Bagian Dalam SG HTGR 40 MWt	12
2.4 <i>Lower Support Structure (LSS)</i>	16
2.5 Standar Keselamatan.....	17
2.5.1 <i>Safety Factor</i>	17

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



- 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

2.5.2 ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)	18
2.6 Bending dan Membrane Stress	20
2.7 Deformasi	21
2.8 Material	22
2.9 Simulasi Numerik FEA pada Ansys	24
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir	30
3.2 Objek Penelitian	32
3.3 Prosedur Simulasi	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Simulasi <i>Lower Support Structure</i>	40
BAB V	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49
A. Tabel Intensitas Tegangan Izin material Incolloy 800	52
B. Tabel Komposisi Material Incolloy 800H (dalam persen)	51
C. Tabel <i>Linearized Equivalent Stress</i> Simulasi LSS (<i>Pathline</i> permukaan atas)	52
D. Tabel <i>Linearized Equivalent Stress</i> Simulasi LSS (<i>Pathline</i> permukaan bawah)	55



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aspek-aspek umum dari beberapa jenis reaktor nuklir	7
Tabel 2. 2 Ukuran <i>hot gas duct</i>	13
Tabel 2. 3 Spesifikasi <i>riser pipe</i>	14
Tabel 2. 4 Spesifikasi <i>header box</i>	15
Tabel 2. 5 <i>Range safety factor</i> berdasarkan jenis pembebanan.....	18
Tabel 2. 6 Parameter perhitungan deformasi total pada LSS	22
Tabel 2. 7 <i>Tensile Modulus, Shear Modulus, dan Poisson's Ratio</i> Incolloy 800H.....	23
Tabel 2. 8 <i>Thermal Conductivity</i> Incolloy 800H.....	24
Tabel 2. 9 <i>Material Properties</i> Incolloy 800H.....	24
Tabel 2. 10 <i>Mesh quality metric (skewness)</i>	27
Tabel 2. 11 <i>Mesh quality metric (Orthogonal quality)</i>	27
Tabel 2. 12 <i>Boundary condition (Pressure)</i> pada <i>I-beam</i>	28
Tabel 2. 13 Contoh parameter hasil (<i>Equivalent total strain</i>).....	29
Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>lower support structure</i>	33
Tabel 3. 2 <i>Meshing statistic</i>	35
Tabel 3. 3 <i>Mesh quality (skewness)</i>	36
Tabel 3. 4 <i>Mesh quality (Orthogonal quality)</i>	36
Tabel 3. 5 <i>Boundary condition</i>	38
Tabel 4. 1 Nilai deformasi.....	42
Tabel 4. 2 Nilai <i>equivalent stress (von-mises)</i>	43

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 Dua desain utama dari reaktor nuklir HTGR	6
Gambar 2. 2 High Temperature Test Reactor (HTTR) Jepang.....	8
Gambar 2. 3 Uprating Reaktor Daya Eksperimental (RDE).....	9
Gambar 2. 4 Desain steam generator NGNP	10
Gambar 2. 5 Desain struktur dalam SGS	11
Gambar 2. 6 Desain SG HTGR 40 MWt	12
Gambar 2. 7 Helium circulator HTR-10	15
Gambar 2. 8 Desain Lower Support Structure (LSS)	16
Gambar 2. 9 Kurva tegangan regangan.....	17
Gambar 2. 10 Deformasi pada simply supported beam	21
Gambar 2. 11 Simulasi numerik dengan software ANSYS	25
Gambar 2. 12 Meshing	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Desain lower support structure (LSS)	32
Gambar 3. 3 Geometri Lower Support Structure (LSS)	33
Gambar 3. 4 Simulation workflow	34
Gambar 3. 5 Hasil meshing (1)	35
Gambar 3. 6 Hasil meshing (2).....	35
Gambar 3. 7 Grafik mesh quality metric (Skewness)	36
Gambar 3. 8 Grafik mesh quality metric (Orthogonal quality).....	36
Gambar 3. 9 Boundary Condition (1)	37
Gambar 3. 10 Boundary condition (2)	37
Gambar 3. 11 Pathline 1 (permukaan bawah)	38
Gambar 3. 12 Pathline 2 (permukaan atas)	39
Gambar 3. 13 Result parameter.....	39
Gambar 4. 1 Geometri Lower Support Structure (LSS)	40
Gambar 4. 2 Total Deformation Lower Support Structure (LSS).....	41
Gambar 4. 3 Equivalent stress (Von-mises)	43
Gambar 4. 4 Linearized Equivalent Stress (2)	44
Gambar 4. 5 Linearized Equivalent Stress (1)	44
Gambar 4. 6 Safety Factor	45

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



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

SG	=	Steam Generator
RPV	=	Reactor Pressure Vessel
HTGR	=	High Temperature Gas-cooled Reactor
ASME	=	American Society of Mechanical Engineers
BPVC	=	Boiler and Pressure Vessel Code
BRIN	=	Badan Riset dan Inovasi Nasional
LSS	=	Lower Structure Support
MWt	=	Megawatt Termal
RDE	=	Reaktor Daya Eksperimental
SF	=	Safety Factor
LES	=	Linearized Equivalent Stress
NGNP	=	Next Generation Nuclear Plant
HTTR	=	High Temperature Test Reactor
SGS	=	Steam Generator Subsystem
FEA	=	Finite Element Analysis
PBR	=	Pebble Bed Reactor
PMR	=	Prismatic Block Reactor
LES	=	Linearized Equivalent Stress



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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang bekerja sama dengan beberapa institusi nasional saat ini telah melakukan pengembangan desain reaktor nuklir berpendingin gas suhu tinggi (HTGR) 40 MWt. Hal ini merupakan jawaban bagi pemerintah Indonesia yang telah menetapkan energi nuklir sebagai sumber energi ramah lingkungan dan terbarukan dalam upaya mencapai *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060. NZE awalnya disepakati oleh 197 negara pada *Paris Agreement* (Persetujuan Paris) pada tahun 2015. Tujuan utama dari persetujuan ini adalah menjaga kenaikan temperatur rata-rata secara global hingga tetap berada di bawah $1,5^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan masa pra-industri [1].

Pemerintah menargetkan pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir komersial (PLTN komersil) pertama di Indonesia akan dilakukan pada tahun 2030-2034. Pembangunan PLTN ini akan menjadi faktor kunci untuk transisi energi di Indonesia [2].

Steam generator (SG) merupakan salah satu komponen dari HTGR 40 MWt yang berfungsi untuk menghasilkan uap panas *superheated* bertekanan tinggi yang berguna untuk membangkitkan listrik, mentransfer panas, atau pengaplikasian pada industri [3]. *Steam generator* (SG) menggunakan gas helium yang dialirkan dari *reactor pressure vessel* (RPV) untuk menghasilkan uap panas tersebut.

Kondisi operasi dari SG HTGR merupakan hal yang harus diperhatikan karena tingginya tekanan dan suhu di dalam SG. Desain dari SG harus memenuhi prinsip keselamatan yang sesuai dengan peraturan dan standar internasional yang berlaku. ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) Code adalah standar keselamatan yang digunakan dalam industri nuklir. ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) *Section III*, berfokus pada standar desain, konstruksi, dan inspeksi PLTN. Standar ini memberikan panduan yang rinci mengenai material yang digunakan, pengujian, dan inspeksi untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat beroperasi dengan aman.



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

Salah satu struktur dalam SG adalah *lower structure support* (LSS). Struktur ini akan menerima beban dan tekanan yang besar dari komponen lain. Kegagalan struktur dapat berakibat fatal bagi operasi HTGR 40 MWt nantinya. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dan simulasi struktur untuk mengevaluasi kekuatan LSS dalam menahan beban dan tekanan internal yang disesuaikan dengan ASME BPVC menggunakan metode simulasi numerik *finite element analysis* (FEA) dengan *software* Ansys.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kekuatan *lower support structure* (LSS) sebagai salah satu komponen dalam SG HTGR 40 MWt dengan metode simulasi numerik *finite element analysis* (FEA) berdasarkan standar keselamatan fasilitas nuklir (ASME BPVC) dan *safety factor*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi numerik dengan Ansys yang dilakukan hanya pada *lower support structure* SG HTGR 40 MWt.
2. Data sekunder yang terbatas memungkinkan beberapa parameter simulasi belum atau tidak lengkap.
3. Pada simulasi *lower support structure* (LSS) menggunakan Ansys, pembebanan ditetapkan sebesar 32184 Newton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui ketahanan *lower support structure* (LSS) SG HTGR 40 MWt dengan metode simulasi numerik berdasarkan standar keselamatan fasilitas nuklir.
2. Bagi mahasiswa agar dapat mengaplikasikan keterampilan dan ilmu yang telah didapatkan di Politeknik Negeri Jakarta.



1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi numerik dengan aplikasi ANSYS *Mechanical* untuk mensimulasikan ketahanan *lower support structure* (LSS) di dalam SG HTGR 40 MWt. Data-data terkait parameter yang digunakan dalam simulasi diperoleh dari studi literatur dan dari Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir BRIN.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan ini akan disusun menjadi beberapa bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN.

Menguraikan latar belakang, pembatasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Mengulas teori-teori yang terkait dalam pemahaman tentang masalah yang akan diteliti.

BAB III METODE PENELITIAN TUGAS AKHIR

Menjelaskan metode yang akan digunakan dalam melakukan penelitian seperti diagram alir beserta penjelasannya dan metode penyelesaian masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil penelitian yang telah dilakukan dan melakukan pembahasan hasil-hasil terkait.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merangkum semua hasil dari penelitian yang dilakukan, yang menuju pada tujuan penelitian, serta memberikan saran untuk penelitian berikutnya.

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



- 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 DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. *Lower support structure* (LSS) adalah salah satu bagian dalam dari SG HTGR 40 MWt. LSS yang memiliki ketebalan 160 mm dan diameter 1760 mm dengan material yang digunakan adalah Incolloy 800H. Telah dilakukan simulasi FEA menggunakan ANSYS Mechanical dengan hasil sebagai berikut :
 - Nilai deformasi maksimum adalah 0,77 mm sedangkan nilai *equivalent stress von-mises* maksimumnya adalah 101,95 MPa
 - Nilai *linearized equivalent stress* maksimum adalah 101,95 MPa yang terdapat pada *pathline* permukaan atas geometri LSS
 - Nilai *safety factor* minimum adalah 1,66. Area yang mendapat tegangan lebih besar cenderung memiliki nilai *safety factor* yang lebih rendah daripada area yang mendapat tegangan kecil.
 - Hasil simulasi struktur LSS sudah memenuhi dua parameter keselamatan yaitu ASME Code ($101,95 \text{ MPa} < 154,5 \text{ MPa}$) dan *safety factor* ($1,66 > 1,5$).

5.2 Saran

1. Pada penelitian ini hanya dilakukan simulasi struktur LSS saja. Oleh karena itu penelitian lebih lanjut tentang bagian dalam SG HTGR 40 MWt lain perlu dilakukan untuk penjelasan yang lebih lanjut



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Iqbal, "Apa itu Net Zero Emission? Pengertian dan Penerapannya di Indonesia," *lindungihutan.com*, 2023. [Online]. Available: <https://lindungihutan.com/blog/apa-itu-net-zero-emission/>. [Accessed: 27-Jun-2024].
- [2] Humas BRIN, "Di Forum Asia, BRIN Ajak Mitra Internasional Kolaborasi Pengembangan Reaktor PeLUIt-40," *brin.go.id*, 2024. [Online]. Available: <https://www.brin.go.id/news/119261/di-forum-asia-brin-ajak-mitra-internasional-kolaborasi-pengembangan-reaktor-peluit-40>. [Accessed: 27-Jun-2024].
- [3] S. I. Putri, P. S. Darmanto, and R. M. Subekti, "Design of Helical Type Steam Generator for Experimental Power Reactor," *J. Teknol. Reakt. Nukl. Tri Dasa Mega*, vol. 25, no. 1, p. 1, 2023.
- [4] B. W. Riyandwita *et al.*, "Design Scenario and Analysis for Preliminary Specification of Steam Generator in the Peluit-40," *J. Teknol. Reakt. Nukl. Tri Dasa Mega*, vol. 25, no. 1, p. 15, 2023.
- [5] Nuclear Energy Agency, *High-temperature Gas-cooled Reactors and Industrial Heat Applications*. 2022.
- [6] J. H. Purba and D. T. Sony Tjahyani, "A Comparative Study on Safety Design Requirements between HTGR and LWR," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1198, no. 2, 2019.
- [7] K. Kugele and Z. Zhang, *Modular High-temperature Gas-cooled Reactor Power Plant*. 2018.
- [8] H. Ohashi *et al.*, "A small-sized HTGR system design for multiple heat applications for developing countries," *Int. J. Nucl. Energy Sci. Technol.*, vol. 2013, 2013.
- [9] Pertamina, "Jajaki Teknologi HTGR, Pertamina Siap Produksi Green Hydrogen," 2022. [Online]. Available: <https://pertamina.com/id/news-room/energia-news/jajaki-teknologi-htgr-pertamina-siap-produksi-green-hydrogen>. [Accessed: 16-Jul-2024].
- [10] N. V. Hoffer, N. A. Anderson, and P. Sabharwall, "Development and Transient Analysis of a Helical-coil Steam Generator for High

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

Temperature Reactors,” *Journa Young Investig.*, vol. 22, no. 2, pp. 40–50, 2011.

- [11] J. H. Ha, J. K. Ham, M. Ki, and W. J. Lee, “Numerical Study on the Helium Flow Characteristics for Steam Generator Subsystem of HTR,” 2014.
- [12] Simscale, “What is Bending Stress?,” 2024. [Online]. Available: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-bending-stress/>. [Accessed: 01-Jul-2024].
- [13] 3D Scantech, “Numerical Simulation.” [Online]. Available: <https://www.3d-scantech.com/solution/numerical-simulation/>. [Accessed: 30-Jun-2024].
- [14] PT. Pustek E&T, “Analisis Elemen Hingga.” [Online]. Available: <https://pustek.com/v2/services/finite-element-analysis/>. [Accessed: 01-Jul-2024].



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

LAMPIRAN



© 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 1. *Drawing Lower Support Structure (LSS)*

- 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

Ukuran Toleransi Umum	
Ukuran (mm)	Toleransi
>0,5-3	±0,1
>3-6	±0,1
>6-30	±0,2
>30-120	±0,3
>120-315	±0,5
>315-1000	±0,8
>1000-2000	±1,2

Jumlah	Nama Bagian	No.bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	Perubahan:				
	Lower Structure Support		Skala 1:24	Digambar 23/06/24	Minan
	Politeknik Negeri Jakarta		No : 4/4		A4



Lampiran 2. Tabel Komposisi Material Incolloy 800H (dalam persen)

General Requirements			
UNS designation	N08800	N08810	N08811
INCOLOY alloys	800	800H	800HT
Nickel	30.0-35.0	30.0-35.0	30.0-35.0
Chromium	19.0-23.0	19.0-23.0	19.0-23.0
Iron	39.5 min.	39.5 min.	39.5 min.
Carbon	0.10 max.	0.05-0.10	0.06-0.10
Aluminum	0.15-0.60	0.15-0.60	0.25-0.60
Titanium	0.15-0.60	0.15-0.60	0.25-0.60
Aluminum + Titanium	0.30-1.20	0.30-1.20	0.85-1.20
ASTM grain size	Not specified	5 or coarser	5 or coarser

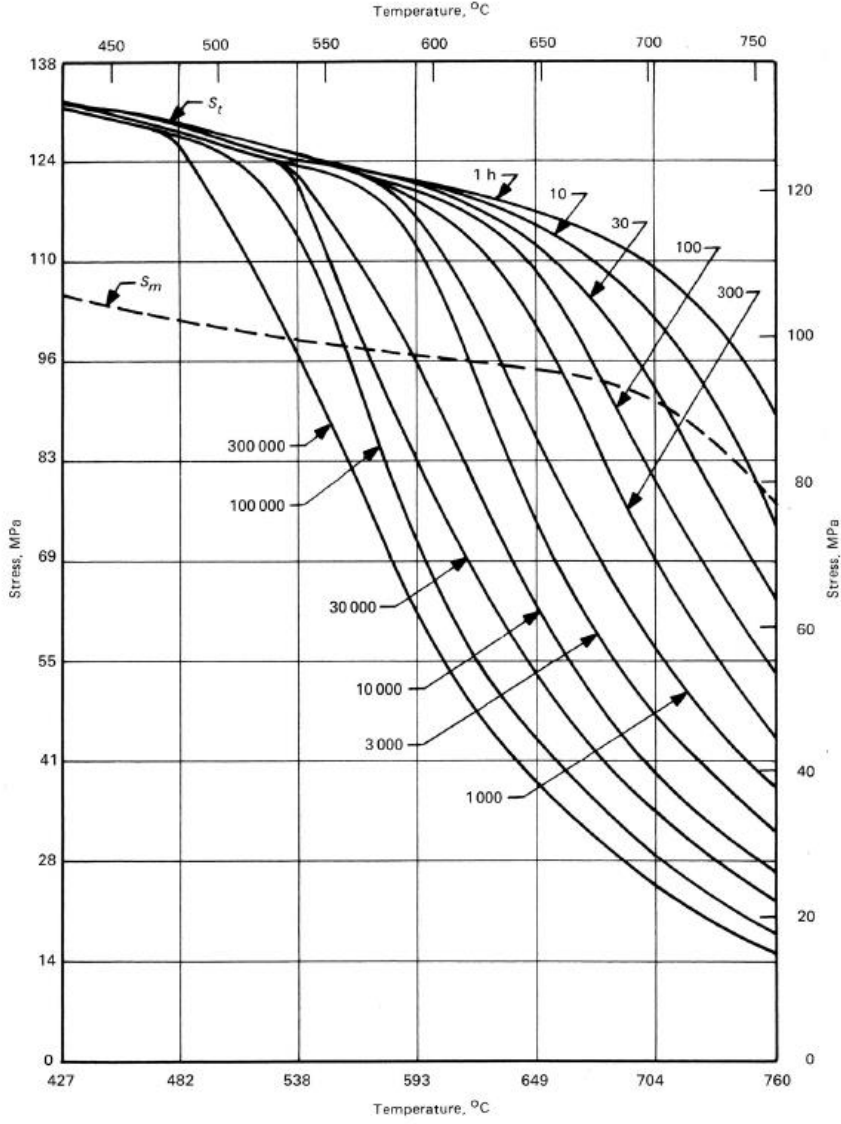


Hak Cipta :

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

Lampiran 3. Tabel Intensitas Tegangan Iizin material Incolloy 800

Figure E-100.4-3
 S_{mt} — Allowable Stress Intensity Values, MPa, Ni-Fe-Cr (Alloy 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



Lampiran 4. Tabel Linearized Equivalent Stress Simulasi LSS (Pathline permukaan atas)

No.	Length (mm)	Membrane (MPa)	Bending (MPa)	Membrane + Bending (MPa)	Peak (MPa)	Total (Mpa)
1	0	8,3433	4,3889	9,4659	97,539	101,85
2	36,666	8,3433	4,206	9,3809	59,04	59,763
3	73,332	8,3433	4,0231	9,2987	59,813	61,548
4	110	8,3433	3,8403	9,2194	64,002	66,6
5	146,66	8,3433	3,6574	9,1431	69,788	72,892
6	183,33	8,3433	3,4745	9,0698	71,686	74,745
7	220	8,3433	3,2916	8,9996	64,574	66,962
8	256,66	8,3433	3,1088	8,9327	51,634	53,15
9	293,33	8,3433	2,9259	8,869	37,781	38,894
10	329,99	8,3433	2,743	8,8086	22,715	22,882
11	366,66	8,3433	2,5602	8,7516	11,474	6,781
12	403,33	8,3433	2,3773	8,6982	16,726	10,059
13	439,99	8,3433	2,1944	8,6482	29,442	24,509
14	476,66	8,3433	2,0116	8,6019	42,405	38,096
15	513,33	8,3433	1,8287	8,5592	54,353	50,411
16	549,99	8,3433	1,6458	8,5202	63,048	59,549
17	586,66	8,3433	1,463	8,485	64,371	61,66
18	623,32	8,3433	1,2801	8,4536	59,873	58,085
19	659,99	8,3433	1,0972	8,426	51,308	50,742
20	696,66	8,3433	0,91435	8,4023	42,568	43,907
21	733,32	8,3433	0,73148	8,3826	38,24	41,44
22	769,99	8,3433	0,54861	8,3668	37,457	41,704
23	806,65	8,3433	0,36574	8,355	37,862	42,472
24	843,32	8,3433	0,18287	8,3472	38,332	43,002
25	879,99	8,3433	0,18287	8,3433	38,516	43,181
26	916,65	8,3433	0,18287	8,3435	38,334	43,004
27	953,32	8,3433	0,36574	8,3477	37,865	42,472
28	989,98	8,3433	0,54861	8,3559	37,474	41,703
29	1026,7	8,3433	0,73148	8,3681	38,27	41,437
30	1063,3	8,3433	0,91435	8,3842	42,643	43,923
31	1100	8,3433	1,0972	8,4043	51,344	50,721
32	1136,6	8,3433	1,2801	8,4284	59,856	58,023
33	1173,3	8,3433	1,463	8,4563	64,314	61,569
34	1210	8,3433	1,6458	8,488	62,966	59,454
35	1246,6	8,3433	1,8287	8,5236	54,34	50,393
36	1283,3	8,3433	2,0116	8,5629	42,395	38,085

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



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

37	1320	8,3433	2,1944	8,6059	29,412	24,486
38	1356,6	8,3433	2,3773	8,6526	16,666	10,028
39	1393,3	8,3433	2,5602	8,7029	11,377	6,7802
40	1430	8,3433	2,743	8,7567	22,655	22,876
41	1466,6	8,3433	2,9259	8,814	37,691	38,829
42	1503,3	8,3433	3,1088	8,8746	51,503	53,061
43	1540	8,3433	3,2916	8,9386	64,436	66,86
44	1576,6	8,3433	3,4745	9,0059	71,596	74,656
45	1613,3	8,3433	3,6574	9,0763	69,791	72,872
46	1650	8,3433	3,8403	9,1499	64,07	66,641
47	1686,6	8,3433	4,0231	9,2265	59,902	61,616
48	1723,3	8,3433	4,206	9,306	59,121	59,835
49	1760	8,3433	4,3889	9,3885	97,643	101,95

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Lampiran 5. Tabel Hasil Simulasi *Linearized Equivalent Stress* Simulasi LSS (*Pathline* permukaan bawah)

No.	Length (mm)	Membrane (MPa)	Bending (MPa)	Membrane + Bending (MPa)	Peak (MPa)	Total (Mpa)
1	0	10,649	3,7191	11,28	89,987	92,954
2	36,667	10,649	3,5642	11,23	58,848	58,26
3	73,333	10,649	3,4092	11,181	59,422	60,155
4	110	10,649	3,2542	11,135	63,42	65,311
5	146,67	10,649	3,0993	11,091	69,349	71,922
6	183,33	10,649	2,9443	11,048	71,646	74,158
7	220	10,649	2,7893	11,008	64,91	66,536
8	256,67	10,649	2,6344	10,97	52,16	52,744
9	293,33	10,649	2,4794	10,934	38,389	38,661
10	330	10,649	2,3245	10,9	23,14	22,561
11	366,67	10,649	2,1695	10,868	11,333	6,0342
12	403,33	10,649	2,0145	10,838	15,969	9,7783
13	440	10,649	1,8596	10,81	28,661	24,458
14	476,67	10,649	1,7046	10,785	41,631	38,099
15	513,33	10,649	1,5496	10,761	53,587	50,461
16	550	10,649	1,3947	10,74	62,438	59,857
17	586,67	10,649	1,2397	10,721	63,916	62,374
18	623,33	10,649	1,0847	10,704	59,675	59,325
19	660	10,649	0,92978	10,69	51,269	52,472
20	696,67	10,649	0,77482	10,677	42,766	46,243
21	733,33	10,649	0,61985	10,667	38,544	44,11
22	770	10,649	0,46489	10,659	37,765	44,452
23	806,67	10,649	0,30993	10,654	38,165	45,233
24	843,33	10,649	0,15496	10,65	38,629	45,762
25	880	10,649	9,4E-16	10,649	38,813	45,942
26	916,67	10,649	0,15496	10,65	38,627	45,761
27	953,33	10,649	0,30993	10,654	38,167	45,235
28	990	10,649	0,46489	10,659	37,769	44,452
29	1026,7	10,649	0,61985	10,667	38,531	44,099
30	1063,3	10,649	0,77482	10,677	42,77	46,247
31	1100	10,649	0,92978	10,69	51,278	52,48
32	1136,7	10,649	1,0847	10,704	59,689	59,338
33	1173,3	10,649	1,2397	10,721	63,951	62,407
34	1210	10,649	1,3947	10,74	62,406	59,828
35	1246,7	10,649	1,5496	10,761	53,593	50,466
36	1283,3	10,649	1,7046	10,785	41,628	38,096

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

37	1320	10,649	1,8596	10,81	28,659	24,455
38	1356,7	10,649	2,0145	10,838	15,97	9,7795
39	1393,3	10,649	2,1695	10,868	11,335	6,0353
40	1430	10,649	2,3245	10,9	23,144	22,564
41	1466,7	10,649	2,4794	10,934	38,396	38,67
42	1503,3	10,649	2,6344	10,97	52,158	52,742
43	1540	10,649	2,7893	11,008	64,91	66,536
44	1576,7	10,649	2,9443	11,049	71,645	74,158
45	1613,3	10,649	3,0993	11,091	69,349	71,922
46	1650	10,649	3,2542	11,135	63,42	65,311
47	1686,7	10,649	3,4092	11,182	59,422	60,155
48	1723,3	10,649	3,5642	11,23	58,847	58,26
49	1760	10,649	3,7191	11,28	89,987	92,954



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