



© 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 PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR

SKRIPSI

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

Oleh:

**Andini Efriyanto Putri**  
NIM: 2002421024

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
AGUSTUS, 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 PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR

## SKRIPSI

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

Oleh:

**Andini Efriyanto Putri**  
**NIM: 2002421024**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
AGUSTUS, 2024**



*“Skripsi ini kupersembahkan untuk ayah ibu, bangsa, dan almamater”*

## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

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





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

HALAMAN PERSETUJUAN  
LAPORAN SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM  
GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR  
NUKLIR

Oleh:

Andini Efriyanto Putri  
NIM: 2002421024

Program Studi Sarjana Terapan

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Laporan Skripsi Telah Disetujui Oleh Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

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

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

Kepala Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T.  
NIP. 196605191990031002



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

HALAMAN PENGESAHAN  
LAPORAN SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA  
STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE  
REAKTOR NUKLIR

Oleh:  
Andini Efriyanto Putri  
NIM: 2002421024

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang skripsi sarjana terapan di hadapan Dewan  
Penguji pada tanggal 26 Agustus 2024 dan diterima sebagai persyaratan untuk  
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi  
Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

| No | Nama                                                         | Posisi Penguji | Tanda Tangan | Tanggal         |
|----|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| 1  | Dr. Eng. Ir. Muslimin, M.T. IWE<br>NIP.197707142008121005    | Ketua          |              | 26 Agustus 2024 |
| 2  | Muhammad Subhan, S.T., M.Eng.<br>NIP. 198807312010121002     | Anggota        |              | 26 Agustus 2024 |
| 3  | Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, S.T., M.T.<br>197111142006041001 | Anggota        |              | 26 Agustus 2024 |
| 4  | Dr. Dianta Mustofa Kamal S.T., M.T.<br>197312282008121001    | Anggota        |              | 26 Agustus 2024 |

Depok, 26 Agustus 2024

Disahkan oleh:  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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



**Hak Cipta :**

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

**LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andini Efriyanto Putri

NIM : 2002421024

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 26 Agustus 2024



Andini Efriyanto Putri

NIM. 2002421024



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 PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR

Andini Efriyanto Putri <sup>1)</sup>, Muslimin <sup>1)</sup>, Muhammad Subhan <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

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

Email : [andini.efriyantoputri.tn20@mhs.w.pnj.ac.id](mailto:andini.efriyantoputri.tn20@mhs.w.pnj.ac.id)

### ABSTRAK

*Steam generator merupakan salah satu komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga nuklir yang berfungsi mengkonversikan panas menjadi uap untuk memutar turbin. Penelitian ini menganalisis perbandingan desain material dan kinerja dua model steam generator, yaitu model helix dan model shell & tube, menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), Fish Boned Diagram. Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan material, risiko operasional, serta memberikan rekomendasi pengembangan model steam generator yang optimal. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap model memiliki karakteristik kinerja dan risiko kerusakan yang berbeda. Model helix cenderung lebih efisien dalam transfer panas namun rentan terhadap kerusakan struktural akibat stres tarik selama fabrikasi, sedangkan model shell & tube lebih tahan terhadap tekanan tinggi namun berpotensi mengalami korosi pada material tabung. Rekomendasi diberikan untuk perbaikan desain dan pemilihan material yang lebih sesuai agar steam generator dapat beroperasi dengan efisiensi dan keamanan yang lebih tinggi. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi nuklir di Indonesia, khususnya dalam hal pemilihan dan pengoptimalan model steam generator. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk meningkatkan keandalan pembangkit tenaga nuklir dan mendukung pengembangan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan.*

**Kata Kunci:** *Steam Generator, FMEA, Fish Boned Diagram, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu 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

# ***ANALYSIS OF DESIGN, MATERIAL, AND PERFORMANCE COMPARISON OF HELIX AND SHELL & TUBE STEAM GENERATOR MODELS IN NUCLEAR REACTORS***

**Andini Efriyanto Putri<sup>1)</sup>, Muslimin<sup>2)</sup>, Muhammad Subhan<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Study Program of Bachelor of Applied Energy Generation Engineering Technology, Department of Mechanical Engineering, State Polytechnic of Jakarta, Kampus UI Depok 16425

<sup>2)</sup>Research Center for Nuclear Reactor Technology, National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN), PUSPIPTEK Serpong, 15314

Email : [andini.efriyantoputri.tm20@mhs.wpnj.ac.id](mailto:andini.efriyantoputri.tm20@mhs.wpnj.ac.id)

## **ABSTRACT**

A steam generator is one of the essential components in nuclear power plants that functions to convert heat into steam to drive turbines. This study analyzes the comparison of material design and performance between two steam generator models, namely the helix model and the shell & tube model, using *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* and *Fishbone Diagram methods*. The study was conducted to identify potential material failures, operational risks, and provide recommendations for the optimal development of steam generator models. The analysis results indicate that each model has different performance characteristics and failure risks. The helix model tends to be more efficient in heat transfer but is prone to structural damage due to tensile stress during fabrication, while the shell & tube model is more resistant to high pressure but may be susceptible to corrosion in the tube material. Recommendations are provided for design improvements and the selection of more suitable materials to ensure that the steam generator can operate with higher efficiency and safety. This research provides significant contributions to the development of nuclear technology in Indonesia, particularly in terms of the selection and optimization of steam generator models. The findings from this study are expected to be used as a reference to enhance the reliability of nuclear power plants and support the development of environmentally friendly renewable energy.

**Keywords: Steam Generator, FMEA, Fishbone Diagram, Nuclear Power Plant**





## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisa Desain, Material dan Kinerja pada perbandingan model helix dan model shell and tube untuk steam generator (pembangkit tenaga uap) reaktor nuklir dan memakai metode Fish Boned, FMEA dan”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang mendalam kepada:

1. Bapak Dr.Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr.Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE selaku Dosen Pembimbing I yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Subhan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Andi Ulfiana selaku Pembimbing Akademik.
6. Bapak dan Mamah yang telah memberi ridho saya untuk menyelesaikan skripsi ini dan telah memfasilitasi agar saya mendapatkan kemudahan apapun itu.
7. Tri Murti selaku Tante saya yang telah mendukung tambahan keuangan untuk saya menjalankan apapun hobi dan minat saya dari saya kecil sampai kebutuhan apapun untuk skripsi ini.
8. Ayu Putri Lestari selaku sahabat saya dari SMP yang telah mendengarkan seluruh cerita hidup saya dengan sabar, selalu memberikan saya nasihat tentang semua hal dan menyemangati untuk saya menyelesaikan skripsi ini dengan 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



9. Wulan Pragustha sahabat saya yang paling *random* namun berhati sabar dan baik sudah mendukung saya dari jaman SMA sampai saat skripsi ini selesai.
10. Annisa Saadatul dan Vinny selaku sahabat saya yang selalu mendukung dan mendengarkan semua proses hidup saya dari jaman SMA sampai saat ini.
11. Evi latifah selaku sahabat sejak saya memasuki dunia perkuliahan. Terimakasih telah sangat tulus dan berjasa membantu saya dari awal perkuliahan sampai dengan membantu saya untuk mendapatkan magang untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Zakia nur haliza, Susi, Juwita Selaku sahabat seperjuangan di perkuliahan yang telah mendukung dan menyemangati saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Abida dan Salma selaku sahabat saya ketika saya mengikuti *Student Exchange*, yang telah memberikan saya lingkungan yang sangat positif dan selalu menasihati tentang semua hal.
14. Ibu Titi selaku orang tua paling baik yang pernah saya temui di Samsun, Turkey. Terimakasih selalu mendukung saya di Turkey dan mendoakkan agar skripsi saya bisa selesai dengan baik.
15. Nur afiani selaku sahabat saya ketika saya mengikuti *Student Exchange* yang telah memberikan nasihat yang sangat berarti untuk diri saya untuk melanjutkan hidup dan tetap bangkit ketika mengalami masa *down* selama menyusun skripsi ini.
16. Fikrah, Khairunisa, Moddy selaku sahabat saya yang telah menemani saya ketika mengerjakan tugas dan telah memberikan semangat agar skripsi saya
17. Khoirul Insan selaku sahabat saya yang selalu menemani saya untuk mengetik skripsi ini sampai dengan selesai.
18. Teman-teman Seperjuangan Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.
19. Serta seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu tetapi tanpa mengurangi rasa hormat dan terimakasih saya atas dukungan yang diberikan.

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



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

Depok, 19 Agustus 2024

Andini Efriyanto Putri

NIM.2002421024



- 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

**DAFTAR ISI**

|                                                                      |                                     |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Halaman Persetujuan.....                                             | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Halaman Pengesahan .....                                             | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Lembar Pernyataan Orisinalitas .....                                 | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Abstrak .....                                                        | vii                                 |
| Abstract .....                                                       | viii                                |
| Kata Pengantar .....                                                 | ix                                  |
| Daftar Isi.....                                                      | xii                                 |
| Daftar Gambar.....                                                   | xv                                  |
| Daftar Lampiran .....                                                | xvi                                 |
| BAB I Pendahuluan .....                                              | 1                                   |
| 1.1 Latar Belakang.....                                              | 1                                   |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                             | 3                                   |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                           | 3                                   |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                             | 3                                   |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                          | 4                                   |
| 1.6 Sistematika Penelitian.....                                      | 4                                   |
| BAB II Tinjauan pustaka .....                                        | 6                                   |
| 2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) .....      | 6                                   |
| 2.2 <i>Steam Generator</i> atau Generator uap .....                  | 7                                   |
| 2.2.1 Steam Generator shell & tube (Recirculating SG).....           | 7                                   |
| 2.2.2 Steam Generator Once-Through .....                             | 9                                   |
| 2.2.3 Steam Generator Helix .....                                    | 9                                   |
| 2.3 Macam – macam Generasi dari Steam Generator Reaktor Nuklir ..... | 10                                  |
| 2.3.1 Generasi I .....                                               | 11                                  |
| 2.3.2 Generasi II.....                                               | 11                                  |
| 2.3.3 Generasi III.....                                              | 12                                  |
| 2.3.4 Generasi III+ .....                                            | 12                                  |
| 2.3.5 Generasi IV .....                                              | 13                                  |
| 2.4 Sistem primer / <i>Primary System</i> .....                      | 13                                  |
| 2.5 Sistem sekunder / <i>Secondary system</i> .....                  | 14                                  |
| 2.6 Metode <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....      | 15                                  |
| 2.7 Metode Fault Tree Analysis (FTA) .....                           | 17                                  |



## © 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 satu 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

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8 Metode Fish Boned Diagram.....                                                                        | 18 |
| 2.9 Kajian Literatur.....                                                                                 | 19 |
| 2.10 Siklus Rankine.....                                                                                  | 20 |
| BAB III Metode Penelitian .....                                                                           | 21 |
| 3.1 Jenis Penelitian .....                                                                                | 20 |
| 3.2 Diagram Alir Penelitian.....                                                                          | 20 |
| 3.2.1 Identifikasi Masalah .....                                                                          | 20 |
| 3.2.2 Kajian Literatur .....                                                                              | 21 |
| 3.2.3 Pengkajian dan Pengumpulan Data Kerusakan antara Model <i>Helix</i> dan <i>Shell and Tube</i> ..... | 22 |
| 3.2.4 Pembuatan Metode.....                                                                               | 22 |
| 3.2.5 Perbandingan dan Analisa Metode.....                                                                | 22 |
| 3.2.6 Validasi memakai diagram.....                                                                       | 22 |
| 3.2.7 Kesimpulan .....                                                                                    | 22 |
| 3.3 Objek Penelitian.....                                                                                 | 23 |
| 3.4. Metode Pengambilan Sampel .....                                                                      | 23 |
| 3.5. Jenis Data Penelitian.....                                                                           | 23 |
| 3.6. Metode Pengumpulan Data.....                                                                         | 24 |
| 3.7. Metode Analisis Data .....                                                                           | 24 |
| BAB IV Hasil Penelitian.....                                                                              | 25 |
| 4.1 Hasil.....                                                                                            | 25 |
| 4.1.1 Hasil Kajian Steam Generator CANDU ( <i>Canada Deuterium Uranium</i> ).....                         | 25 |
| 4.1.2 Hasil Kajian Steam Generator VVER (Rusia).....                                                      | 30 |
| 4.1.3 Hasil Kajian Steam Generator Westinghouse .....                                                     | 35 |
| 4.1.4 Hasil Kajian Steam Generator Siemens .....                                                          | 38 |
| 4.1.5 Hasil Kajian Steam Generator Tiongkok ( <i>Helix Tube</i> ).....                                    | 41 |
| 4.1.6 Diagram total distribusi kerusakan.....                                                             | 43 |
| 4.2 Pembahasan .....                                                                                      | 43 |
| BAB V Penutup .....                                                                                       | 59 |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                                       | 59 |
| 5.2 Saran .....                                                                                           | 59 |
| Daftar Pustaka .....                                                                                      | 61 |



**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 ..... 64

**DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Kerusakan Steam Generator CANDU ..... 26

Tabel 4. 2 Kerusakan Steam Generator VVER (Rusia)..... 30

Tabel 4. 3 Kerusakan steam Generator Westinghouse..... 35

Tabel 4. 4 Kerusakan Steam Generator Siemens ..... 38

Tabel 4. 5 Kerusakan Steam Generator Tiongkok (Helix Tube) ..... 41

Tabel 4. 6 Rekomendasi Tube and U-Bend Support Structure Materials..... 45

Tabel 4. 7 Manfaat Tube Support Structure Design ..... 46

Tabel 4. 8 Rekomendasi Tube Support Structure Design ..... 46

Tabel 4. 9 Rekomendasi Tube Materials..... 48

Tabel 4. 10 Rekomendasi Tube fabrication U-bends..... 49

Tabel 4. 11 Rekomendasi Tube fabrication – Tubesheet Expansion ..... 49

Tabel 4. 12 Rekomendasi U-Bend Support Structure ..... 50

Tabel 4. 13 Rekomendasi Steam Generator Tube Bundle Assembly ..... 51

Tabel 4. 14 Rekomendasi Mechanical Design- Penetrations ..... 52

Tabel 4. 15 Rekomendasi Steam Water Separation Quipment ..... 54

Tabel 4. 16 Rekomendasi Steam Water Separation Quipment ..... 55



**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 GAMBAR**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Steam Generator Vertikal PWR [10] .....                   | 7  |
| Gambar 2. 2 Ketentuan Nilai Severity [18] .....                       | 16 |
| Gambar 2. 3 Ketentuan Nilai Occurrence [18] .....                     | 16 |
| Gambar 2. 4 Ketentuan Nilai Detection [18] .....                      | 17 |
| Gambar 2. 5 Keterangan Simbol Fault Tree Analysis [19].....           | 18 |
| Gambar 2.6 Siklus Rankine.....                                        | 20 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....                             | 21 |
| Gambar 4. 1 Grafik Kerusakan Steam Generator CANDU .....              | 28 |
| Gambar 4. 2 Diagram Fish Boned CANDU (Canada Deuterium Uranium) ..... | 28 |
| Gambar 4. 3 Steam Generator CANDU (Canada Deuterium Uranium).....     | 29 |
| Gambar 4. 4 Grafik Kerusakan Steam Generato VVER.....                 | 32 |
| Gambar 4. 5 Diagram Fish Boned VVER (Rusia).....                      | 32 |
| Gambar 4. 6 WWER-440 Steam Generato (side view) .....                 | 33 |
| Gambar 4. 7 WWER 1000 Steam Generator PGV-1000MKP (side view) .....   | 33 |
| Gambar 4. 8 Kegagalan yang ditemukan di WWER .....                    | 34 |
| Gambar 4. 9 Grafik Kerusakan Steam Generator Westinghouse.....        | 37 |
| Gambar 4. 10 Diagram Fish Boned Westinghouse.....                     | 37 |
| Gambar 4. 11 Grafik Kerusakan Steam Generator Siemens.....            | 40 |
| Gambar 4. 12 Diagram Fish Boned Siemens .....                         | 40 |

**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

**DAFTAR LAMPIRAN**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1 .Formulir F1 Dosen Pembimbing – 1 .....                      | 64 |
| Lampiran 2 Formulir F1 Dosen Pembimbing – 2 .....                       | 65 |
| Lampiran 3 Formulir F2 (Lembar Bimbingan dengan Dosen Pembimbing) – 1.. | 66 |
| Lampiran 4 Formulir F2 (Lembar Bimbingan dengan Dosen Pembimbing) –2 .. | 67 |
| Lampiran 5 Fault Tree Analysis CANDU .....                              | 68 |
| Lampiran 6 Fault Tree Analysis VVER.....                                | 69 |
| Lampiran 7 Fault Tree Analysis Westinghouse .....                       | 70 |
| Lampiran 8 Fault Tree Analysis Siemens .....                            | 71 |
| Lampiran 9 Fault Tree Analysis Tiongkok .....                           | 72 |





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

Kebutuhan energi listrik sudah menjadi pola hidup untuk masyarakat Indonesia, sementara ketersediannya sampai saat ini belum bisa digantikan dengan energi lain (Lukas & Dwiatmanto, 2016). Untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik, Pemerintah masih belum membangun pembangkit tenaga listrik yang memadai dan ramah lingkungan (Hadi, 1993). Di dalam draf Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2015-2034 dijelaskan, bahwa kebutuhan tambahan pembangkit tenaga listrik sampai dengan Tahun 2025 adalah sekitar 108 GW (Dwi Antoningtyas, 2018). Dalam menentukan pembangkit tenaga listrik yang andal untuk dipilih ada beberapa aspek yang harus dilihat, yaitu aspek sumber daya alam, aspek sosial budaya, aspek keamanan dan aspek ekonomi (Hadi, 1993). Pemerintah harus memberikan informasi kepada masyarakat agar dampak positif dari pembangkit tenaga nuklir ini menjadi potensi yang bermanfaat untuk kelanjutan hidup masyarakat (Lukas & Dwiatmanto, 2016).

Perkembangan Pembangkit tenaga nuklir dari berbagai dunia khususnya dalam perkembangan *Steam Generator* (SG) di dalam reaktor nuklir yang inovatif dan memiliki keandalan yang tinggi. Indonesia memiliki potensi besar dalam menciptakan Pembangkit Tenaga Nuklir (PLTN) guna menciptakan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan (Suhaemi et al., n.d.). Indonesia memiliki tiga reaktor nuklir riset yaitu TRIGA Mark II di Bandung, Kartini di Yogyakarta, dan G.A. Reaktor Serbaguna Siwabessy di Serpong (Ardiansyah, 2022a).

Steam Generator adalah salah satu komponen pembangkit uap yang mengkonversikan panas menjadi uap bertekanan tinggi dari reaktor nuklir (Suhaemi et al., n.d.). Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin, Integritas tabung pembangkit uap perlu dijaga karena pembangkit uap merupakan fraksi yang besar dari boundary tekanan sistem primer, dan hal ini merupakan faktor penting untuk mencapai tujuan keselamatan (Suhaemi et al., n.d.). Keandalan *Steam Generator*

harus diperhatikan untuk terciptanya keselamatan dan menghindari kerusakan.  
Kerusakan dari material Steam generator



## © 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

bisa menyebabkan kebocoran dan tidak tercapainya daya output yang ingin dikeluarkan(Suhaemi et al., n.d.).

Perkembangan steam generator terbagi menjadi empat generasi, yaitu Generasi I hingga IV. Generasi I, merupakan reaktor yang menghasilkan listrik untuk disalurkan ke jaringan listrik, sekaligus menghasilkan energi panas yang diperlukan oleh pabrik proses olah ulang bahan bakar(Ardiansyah, 2022a). Generasi II, diciptakan dengan inovasi yang lebih andal dan ekonomis, serta dirancang untuk beroperasi selama 40 tahun. Reaktor ini mencakup Reaktor Air Bertekanan (PWR), Kanada Deuterium Reaktor uranium (CANDU), reaktor air mendidih (BWR), reaktor gas maju didinginkan (AGR), dan Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktor (VVER). Generasi III, memiliki konsep yang hampir sama dengan Generasi II namun mengalami perkembangan dalam teknologi bahan bakar, efisiensi termal, konstruksi termodulasi, sistem keselamatan pasif, dan desain standar.

Generasi III+, menekankan peningkatan kualitas keselamatan pasif yang tidak memerlukan kontrol dan hanya mengandalkan gravitasi serta sirkulasi alami untuk memitigasi dampak kejadian yang di luar kendali. Reaktor ini meliputi Advanced Power Reactor (APR) Korea Selatan, European Power Reactor (EPR), Advanced Pressurized Water Reactor (APWR) Jepang, VVER-12000 Rusia, dan AP-600 serta AP-1000 Amerika Serikat. Generator Generasi IV memiliki peningkatan kualitas dalam segala aspek, seperti dalam bidang ekonomi, keselamatan, keberlanjutan, dan ketahanan terhadap proliferasi. Reaktor-reaktor ini termasuk reaktor cepat berpendingin gas suhu tinggi (HTGR), reaktor cepat berpendingin natrium (SFR), reaktor cepat berpendingin gas (GFR), reaktor cepat berpendingin timbal (LFR), reaktor garam cair (MSR), dan reaktor berpendingin air super kritis (SCWR).

Kajian dan penelitian dari desain dan material steam generator ari berbagai dunia ini bisa membuat inovasi bagi kelanjutan energi terbarukan di indonesia (Ilyas & Aydogan, 2017). Dalam penelitian ini dilakukan kajian dan kinerja perbandingan material antara model shell&Tube dan Model Helix memakai metode FMEA, Fish Boned dan System Engineering. Output dalam penelitian ini bertujuan agar ada pembaharuan dan masukan terhadap steam generator yang sedang di teliti di Indonesia. Indonesia mempunyai inovasi steam generator HTGR. Kajian ini



**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 kritis 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

diperlukan agar bisa dijadikan sumber listrik yang andal, ekonomis dan berguna bagi masyarakat sekitar.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah yang akan dirumuskan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi kerusakan material pada kedua model antara shell and tube dan model helix tersebut dan dampaknya terhadap performa steam generator?
2. Bagaimana desain, material dan generasi dari kedua model mempengaruhi kelebihan dan kekurangan *steam generator*?
3. Bagaimana cara membuat kelebihan dan kekurangan tersebut dengan menggunakan metode FMEA, Fault Tree Analysis dan Fish Boned?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi kerusakan material dan risiko operasional pada kedua model,
2. Memberikan rekomendasi untuk pengembangan dan pemilihan model *steam generator* yang optimal
3. Menganalisis kinerja material pada model Shell & Tube dan model Helix dalam *steam generator* menggunakan metode FMEA, Fault Tree Analysis dan Fish Boned.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian merupakan batas-batas sebuah topik penelitian yang sedang dikaji dan diteliti. Dibawah ini merupakan batasan masalah penelitian:

1. Perbandingan Kinerja Material Antara Model Shell & Tube dan Model Helix pada *Steam Generator*.



**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. Performa *Steam Generator* yang dibatasi pada desain, material, perawatan dan operasional.
3. Implementasi Metode FMEA, Fish Boned, dan Fault Tree Analysis dalam Evaluasi Kinerja kelebihan dan kekurangan pada *Steam Generator*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan beberapa manfaat yang bisa didapatkan melalui penelitian ini:

1. Penelitian ini dapat menjadi pembelajaran dan meningkatkan pengetahuan bagi mahasiswa politeknik negeri Jakarta.
2. Dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi nuklir di Indonesia, khususnya dalam hal pemilihan dan pengoptimalan model *Steam Generator*.
3. Optimalisasi dengan menganalisis kinerja *Steam Generator* menggunakan metode FMEA, Fish Boned, dan Fault Tree Analysis penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang bagaimana penggunaan metode-metode tersebut dapat dimanfaatkan oleh BRIN dan Politeknik Negeri Jakarta sebagai repository.

### 1.6 Sistematika Penelitian

Adapun sistematika penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut.

#### a. BAB I Pendahuluan

Menguraikan latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan pembatasan masalah, lokasi objek skripsi, garis besar metode penyelesaian masalah, manfaat yang akan didapat, dan sistematika penulisan keseluruhan skripsi.

#### b. BAB II Tinjauan Pustaka

Memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan/ penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam skripsi.



**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

c. Bab III Metodologi

Menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah/ penelitian, meliputi diagram alur penelitian, pembuatan jadwal kegiatan (Pengambilan data, perancangan alat, analisis data, serta validasi data).

d. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menguraikan anggaran untuk mengerjakan tugas akhir atau skripsi dan jadwal kegiatan untuk menyelesaikannya.

e. BAB V Kesimpulan





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Penelitian ini bisa mengidentifikasi dan menganalisis perbedaan desain material dan kinerja antara steam generator model Helix dan Shell & Tube pada reaktor nuklir. Dengan menggunakan metode FMEA, Fault Tree Analysis (FTA), dan diagram Fishbone, penelitian ini memberikan berbagai kajian jenis kerusakan spesifik di setiap model yang memberikan dampak terhadap efisiensi dan integritas sistem. Hasil Kajian ini menyatakan bahwa desain dan pemilihan material pada komponen steam generator berpengaruh besar kepada risiko kegagalan dan kinerja operasionalnya.
2. Model shell and tube, yang memiliki konfigurasi tabung berbeda dibandingkan helix , memberikan variasi kerusakan seperti kebocoran dan retakan karena korosi dan stres mekanik. Kerusakan ini cenderung lebih serius dalam kondisi operasi ekstrem, tetapi dapat diminimalisir dengan pemilihan material yang tepat dan penerapan prosedur perawatan yang sesuai.
3. Berdasarkan hasil analisis ini, disarankan agar desain pembangkit uap terus dikembangkan. Fokus pengembangan meliputi pemilihan material yang lebih tahan korosi dan optimasi desain penyangga untuk mengurangi keausan dan gesekan pada tabung. Selain itu, penting untuk memvalidasi hasil penelitian melalui diagram tren kerusakan. Diagram ini akan menjadi acuan berharga untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem di masa mendatang.

### 5.2 Saran

1. Melalui Penelitian Ini, Penulis Menyarankan Beberapa Topik Penelitian Lanjutan Yang Berkaitan Dengan Pengaruh Desain dan Material Steam Generator terhadap kinerja Komponen.
2. Penulis menyarankan agar penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengembangkan material baru yang lebih tahan korosi dan kelelahan untuk digunakan pada steam generator model Helix. Selain itu, optimasi desain Shell

#### 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

### Hak Cipta :

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

3. & Tube perlu dilakukan untuk meningkatkan efisiensi termal dan pengaturan aliran uap.
4. Temuan penelitian ini dapat dijadikan rujukan penting bagi industri nuklir nasional dalam merancang pembangkit uap yang lebih efektif. Penerapan teknologi Helix yang telah disempurnakan, misalnya, berpotensi meningkatkan efisiensi dan ramah lingkungan pembangkit tenaga nuklir di Indonesia.
5. Penulis memberikan saran akan penelitian lebih lanjut untuk menguji kinerja pembangkit uap di berbagai kondisi dan mengeksplorasi material alternatif yang lebih efisien.







**Hak Cipta :**

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

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alex. (n.d.). *Sekilas tentang cara kerja PLTN*.  
<https://ilmunuklir.id/2012/03/15/Sekilas-Tentang-Cara-Kerja-Pltn/>.
- Ardiansyah, H. (2022a). The Case for Nuclear Energy. In *Indonesia Post-Pandemic Outlook: Strategy towards Net-Zero Emissions by 2060 from the Renewables and Carbon-Neutral Energy Perspectives*. Penerbit BRIN. <https://doi.org/10.55981/brin.562.c10>
- Ardiansyah, H. (2022b). The Case for Nuclear Energy. In *Indonesia Post-Pandemic Outlook: Strategy towards Net-Zero Emissions by 2060 from the Renewables and Carbon-Neutral Energy Perspectives*. Penerbit BRIN. <https://doi.org/10.55981/brin.562.c10>
- Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators*. (2011).
- Bonavigo, L., & De, M. (2011). Issues for Nuclear Power Plants Steam Generators. In *Steam Generator Systems: Operational Reliability and Efficiency*. InTech. <https://doi.org/10.5772/14853>
- Dwi Antoningtyas. (2018, July 5). *Empat Poin Substantif Draft RUKN*.  
<https://www.esdm.go.id/en/media-center/arsip-berita/empat-poin-substantif-draft-rukun>.
- EPRI, L. in electrification through global collaboration. (n.d.). *Steam Generator Reference Book, Revision 1 EPRI*.
- Hadi, O. S. (1993). PLTN SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI PULAU JAVIA. In *Cakrawala Pendidikan Nomor* (Vol. 1).
- Ilyas, M., & Aydogan, F. (2017). Steam generator performance improvements for integral small modular reactors. *Nuclear Engineering and Technology*, 49(8), 1669–1679.  
<https://doi.org/10.1016/j.net.2017.08.011>
- Industri, J. T. (2015). PERBAIKAN KUALITAS PRODUK KERATON LUXURY DI PT. X DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE and EFFECT ANALYSIS (FMEA) dan FAULT TREE ANALYSIS (FTA) \* RICHMA YULINDA HANIF, HENDANG SETYO RUKMI, SUSY SUSANTY. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Juli*.
- Kadek Fendy Sutrisna. (n.d.). *Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir*.  
<https://blog.unnes.ac.id/handisurya/2015/10/14/Prinsip-Kerja-Pembangkit-Listrik-Tenaga-Nuklir/>.



**Hak Cipta :**

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

- Lukas, O. :, & Dwiatmanto, J. (2016). *PENANTIAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR DI INDONESIA* (Vol. 12, Issue 2). <https://ilmunuklir.wordpress.com>
- Mukesh Kumar, P. C., & Chandrasekar, M. (2019). CFD analysis on heat and flow characteristics of double helically coiled tube heat exchanger handling MWCNT/water nanofluids. *Heliyon*, 5(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02030>
- Nadyanya, F. (n.d.). *Pengaruh pengendalian pembangkit listrik tenaga nuklir ( PLTN) HTGR terhadap pembentukan fouling pada heat exchanger.*
- Pelayaran, P. (n.d.). *BAB II TINJAUAN PUSTAKA.*
- Pembangkit, A. P., Siklus, L., Organik, R., Dengan, S., Panas, S., Geothermal, U., Rendah, B., Pintoro, A., & Siregar, A. H. (2019). JSTI Jurnal Sistem Teknik Industri. *Jurnal Sistem Teknik Industri (JSTI)*, 21(1), 1–11.
- Putri, S. I., Darmanto, P. S., & Subekti, R. M. (2023). DESIGN OF HELICAL TYPE STEAM GENERATOR FOR EXPERIMENTAL POWER REACTOR. *JURNAL TEKNOLOGI REAKTOR NUKLIR TRI DASA MEGA*, 25(1), 1. <https://doi.org/10.55981/tm.2023.6656>
- Šadek, S., & Grgić, D. (2017). Operation and Performance Analysis of Steam Generators in Nuclear Power Plants. In *Heat Exchangers - Advanced Features and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66962>
- Steam Generator Reference Book, Revision 1 EPRI.* (n.d.).
- Steam Generator Reference Book, Revision 1 EPRI.* (1994).
- Suhaemi, T., Djen, & Djainal, D., Muhammadiyah, U., & Hamka, J. (n.d.). *Perkembangan Desain Pembangkit Uap Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Jenis PWR.*
- Susun, D. (n.d.). *MAKALAH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN).*
- Universitas esa unggul Jakarta, D. T. F. (n.d.). *Pemanfaatan diagram fishbone untuk mendukung kebutuhan proses bisnis.*
- Wei, X., Wu, S., Wang, P., & Zhao, F. (2016). Study on the Structure Optimization and the Operation Scheme Design of a Double-Tube Once-Through Steam Generator. *Nuclear Engineering and Technology*, 48(4), 1022–1035. <https://doi.org/10.1016/j.net.2016.02.012>
- Widianti, T. (2015). *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) sebagai Tindakan Pencegahan pada Kegagalan Pengujian.* <https://www.researchgate.net/publication/290899548>



## © 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





## 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 .Formulir F1 Dosen Pembimbing – 1

Hak Cipta :

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

**FORMULIR F1**  
**LEMBAR KESEDIAAN MEMBIMBING TUGAS AKHIR / SKRIPSI**

Dengan ini saya nama : Dr. Eng. Muslimin, ST, MT,IWE menyatakan bersedia membimbing pembuatan Tugas Akhir /Skripsi dan membimbing revisi Tugas Akhir / Skripsi (jika ada) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, berikut :

| JUDUL TUGAS AKHIR / SKRIPSI                                                                                       | NAMA                   | PROGRAM STUDI                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| ANALISA PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR | ANDINI EFRIYANTO PUTRI | D4 Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi |

Demikian, atas perhatian dan kerjasamanya saya ucapkan terima kasih.

Depok, 10 Juli 2024

Dr. Eng. Muslimin, ST, MT, IWE  
NIP. 197707142008121005



## © 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

## Lampiran 2 Formulir F1 Dosen Pembimbing – 2


**FORMULIR F1**  
**LEMBAR KESEDIAAN MEMBIMBING TUGAS AKHIR/SKRIPSI**

Dengan ini saya nama : Muhammad Subhan, S.T.,M.Eng  
menyatakan bersedia membimbing pembuatan Tugas Akhir /Skripsi dan membimbing revisi  
Tugas Akhir / Skripsi (jika ada) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri  
Jakarta, berikut :

| JUDUL TUGAS AKHIR /<br>SKRIPSI                                                                                                    | NAMA                   | PROGRAM<br>STUDI                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| ANALISA PERBANDINGAN<br>DESAIN, MATERIAL DAN<br>KINERJA STEAM<br>GENERATOR MODEL HELIX<br>DAN MODEL SHELL&TUBE<br>REAKTOR NUKLIR. | ANDINI EFRIYANTO PUTRI | D4 Terapan Teknologi<br>Rekayasa Pembangkit<br>Energi |

Demikian, atas perhatian dan kerjasamanya saya ucapkan terima kasih.

Depok, 10 Juli 2024

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



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Lampiran 3 Formulir F2 (Lembar Bimbingan dengan Dosen Pembimbing) – 1

#### Hak Cipta :

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

**FORMULIR F2**

**LEMBAR KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI DAN KESIAPAN MENGIKUTI UJIAN**

**JUDUL TUGAS AKHIR / SKRIPSI**  
 ANALISA PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR

**NAMA MAHASISWA BIMBINGAN/NIM**  
 Andini Efriyanto Putri/ 2002421024

**PROGRAM STUDI** : D4 Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
**PEMBIMBING 1** : Dr. Eng. Muslimin, ST, MT,IWE

| No | Tanggal | Bahasan                                                                                                  | Pembimbing      | Panitia |
|----|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|
| 1  | 10 Mei  | Membahas perkenalan judul TA                                                                             | <i>Muslimin</i> |         |
| 2  | 17 Mei  | Membahas data-data yang dibutuhkan untuk pembuatan metode kerusakan dari kajian buku dan jurnal          | <i>Muslimin</i> |         |
| 3  | 24 Mei  | Membahas hasil pembuatan pengelompokan kerusakan dan berbagai kajian                                     | <i>Muslimin</i> |         |
| 4  | 31 Mei  | Membahas inputan pada data kajian sementara                                                              | <i>Muslimin</i> |         |
| 5  | 7 Juni  | Membahas hasil pengelompokan kajian dari berbagai desain dan material dari berbagai negara tujuan kajian | <i>Muslimin</i> |         |
| 6  | 14 Juni | Membahas revisi metode tentang kerusakan desain dan material                                             | <i>Muslimin</i> |         |
| 7  | 21 Juni | Membahas hasil metode kajian untuk lanjutan data                                                         | <i>Muslimin</i> |         |
| 8  | 28 Juni | Membahas validasi data kajian                                                                            | <i>Muslimin</i> |         |

Berdasarkan hasil pembimbingan mahasiswa diatas dinyatakan siap mengikuti ujian Tugas Akhir/ Skripsi

Yang menyatakan Pembimbing  
*Muslimin*  
 Dr. Eng. Muslimin, ST, MT, IWE  
 NIP. 197707142008121005



## © 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

## Lampiran 4 Formulir F2 (Lembar Bimbingan dengan Dosen Pembimbing) – 2

FORMULIR F2

**LEMBAR KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI DAN KESIAPAN MENGIKUTI UJIAN**

JUDUL TUGAS AKHIR / SKRIPSI

ANALISA PERBANDINGAN DESAIN, MATERIAL DAN KINERJA STEAM GENERATOR MODEL HELIX DAN MODEL SHELL&TUBE REAKTOR NUKLIR

NAMA MAHASISWA BIMBINGAN/NIM

Andini Ebriyanto Putri/ 2002421024

PROGRAM STUDI : D4 Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
 PEMBIMBING 2 : Muhammad Subhan, S.T.,M.Eng

| No | Tanggal | Bahasan                                                                                                  | Pembimbing         | Parota |
|----|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|
| 1  | 10 Mei  | Membahas perkenalan judul TA                                                                             | <i>[Signature]</i> |        |
| 2  | 17 Mei  | Membahas data-data yang dibutuhkan untuk pembuatan metode kerusakan dari kajian buku dan jurnal          | <i>[Signature]</i> |        |
| 3  | 24 Mei  | Membahas hasil pembuatan pengelompokan kerusakan dari berbagai kajian                                    | <i>[Signature]</i> |        |
| 4  | 31 Mei  | Membahas inputan pada data kajian sementara                                                              | <i>[Signature]</i> |        |
| 5  | 7 Juni  | Membahas hasil pengelompokan kajian dari berbagai desain dan material dari berbagai negara tujuan kajian | <i>[Signature]</i> |        |
| 6  | 14 Juni | Membahas revisi metode tentang kerusakan desain dan material                                             | <i>[Signature]</i> |        |
| 7  | 21 Juni | Membahas hasil metode kajian untuk lanjutan data                                                         | <i>[Signature]</i> |        |
| 8  | 28 Juni | Membahas validasi data kajian                                                                            | <i>[Signature]</i> |        |

Berdasarkan hasil pembimbingan mahasiswa diatas dinyatakan siap mengikuti ujian Tugas Akhir/ Skripsi.

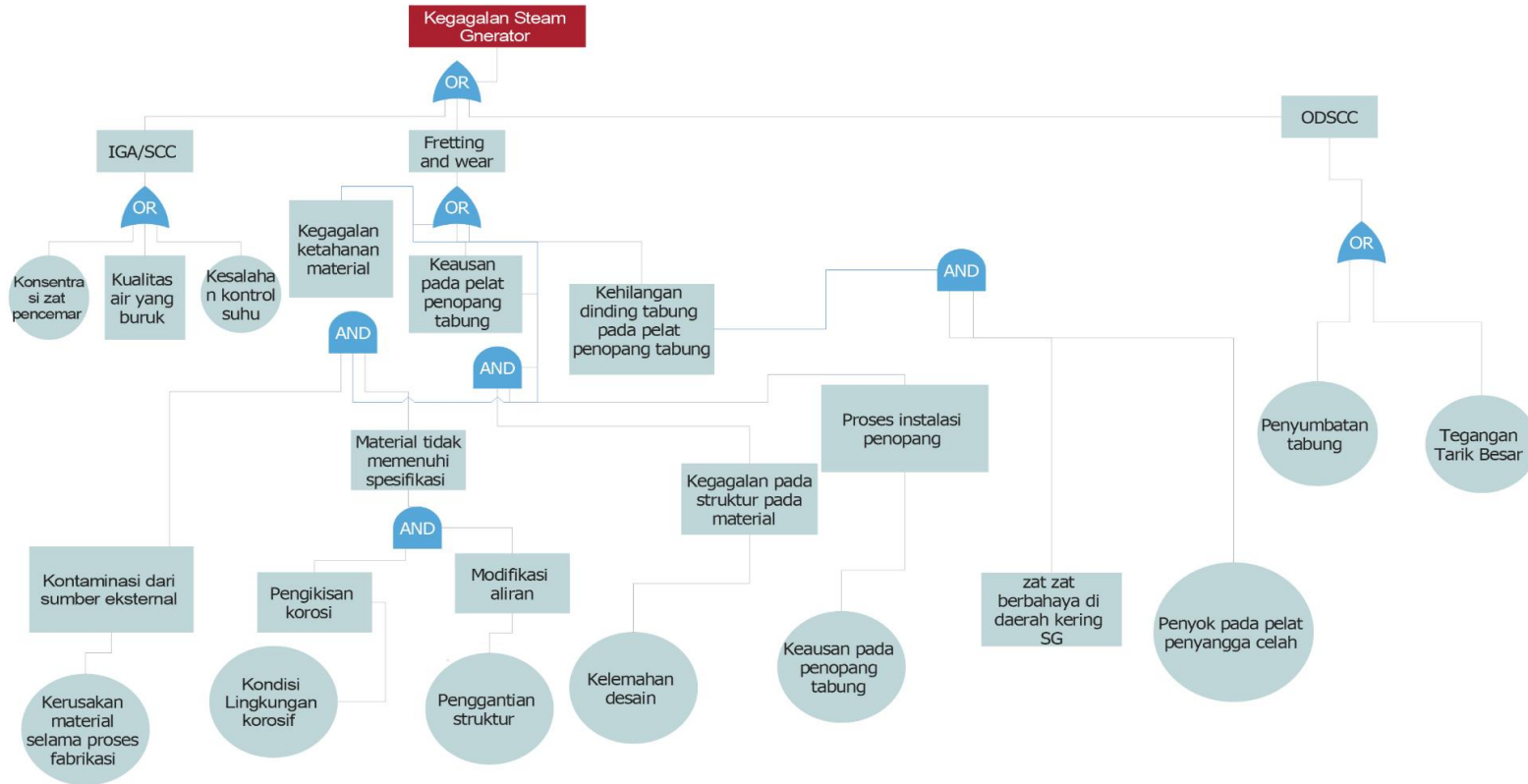
Yang menyatakan Pembimbing

*[Signature]*  
 Muhammad Subhan, S.T.,M.Eng  
 NIP.198807312010121002





Lampiran 5 Fault Tree Analysis CANDU



- 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
    - 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 6 *Fault Tree Analysis* VVER



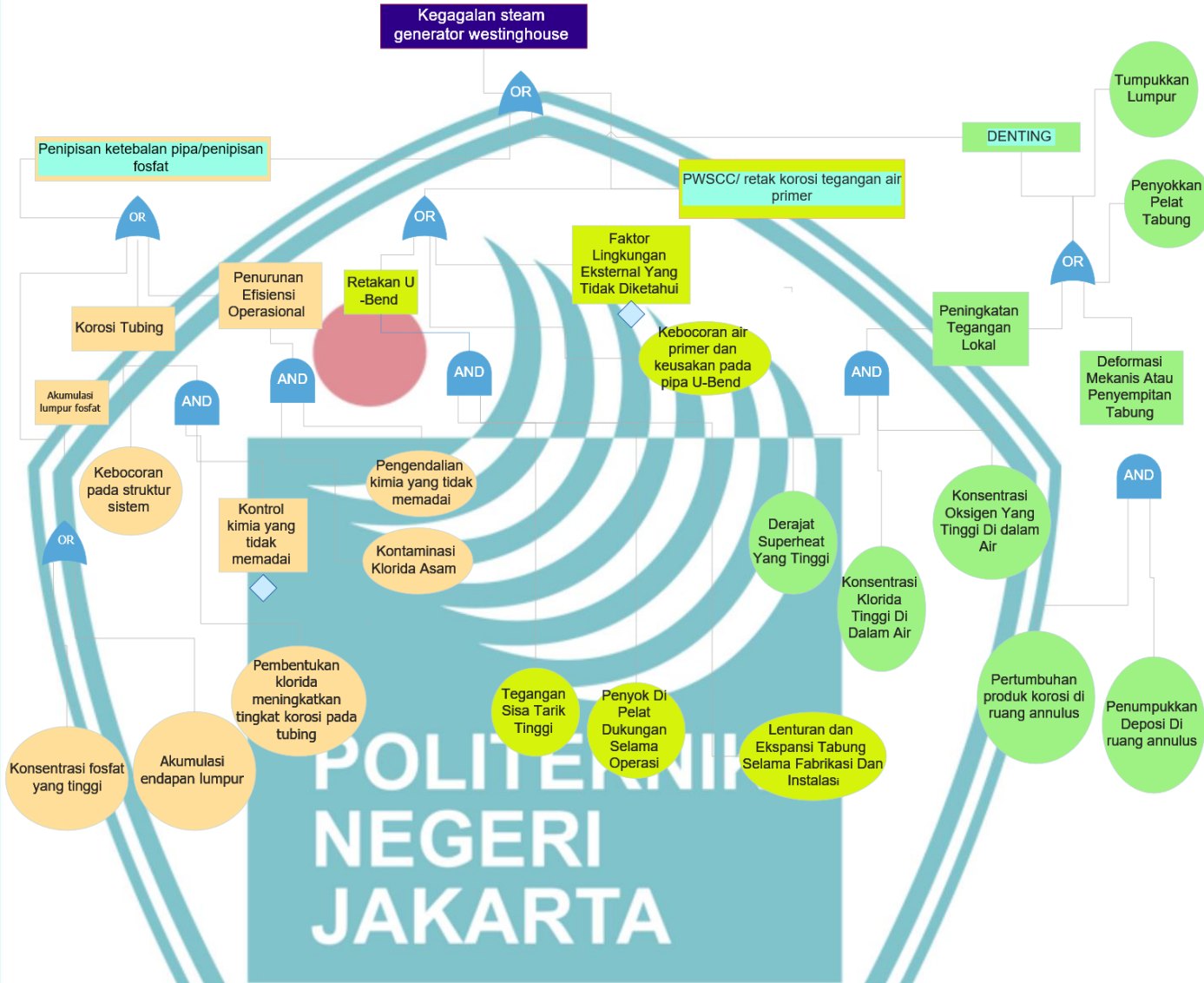
**Hak Cipta :**

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
- 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 milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 7 Fault Tree Analysis Westinghouse



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
  - 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 milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 8 Fault Tree Analysis Siemens



- 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
    - 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

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 9 *Fault Tree 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
    - 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