

**ANALISA KERUSAKAN SUDU PEMUTAR TURBIN UAP
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Mendapat Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

DONNIE ZEVI ARDO PURBA

NPM : 14.331.0633

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Donnie Zevi Ardo Purba
Npm : 143310633
Fakultas / Prodi : Teknik/ Program Studi Teknik Mesin
Judul TA : Analisa Kerusakan Sudu Pemutar Turbin Uap
Menggunakan Metode Elemen Hingga

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa Penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil Penelitian, Pemikiran, dan pemaparan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau. Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, januari 2022
Yang membuat pernyataan



Donnie Zevi Ardo Purba

143310633

ANALISA KERUSAKAN SUDU PEMUTAR TURBIN UAP MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Donnie Zevi Ardo Purba, Jhonni Rahman

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email :donniezeviardo24@gmail.com

ABSTRAK

Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi energi yang dapat merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik pada poros turbin yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Pada turbin uap sering ditemukan kerusakan-kerusakan, salah satu dari kerusakan tersebut adalah sudu turbin uap yang merupakan penggerak mesin turbin. Kerusakan pada sudu turbin uap dikarenakan adanya pengikisan terhadap sudu turbin, dimana pengikisan yang terjadi pada sudu turbin ini disebabkan oleh tekanan uap sebesar 18 kg/cm^2 , Sehingga jenis material yang digunakan oleh sudu turbin ini tidak dapat menahan tekanan yang diberikan oleh uap kepada sudu turbin dalam jangka waktu yang lebih lama. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada sudu turbin dengan menggunakan *software elemen hingga*. Hasil penelitian didapat material yang aman digunakan untuk turbin uap adalah Inconel 625 dengan nilai *Alternating Stress* 648 MPa dari nilai *Yield Strength* 655, sedangkan material yang digunakan pada spesimen perusahaan adalah Inconel 718 dengan nilai *Alternating Stress* 647 MPa dari nilai *Yield Strength* 648 MPa.

Kata Kunci :Turbin Uap, Elemen Hingga, Inconel, Alternating Stress

ABSTRACT

Steam turbine is an energy conversion machine that can convert steam kinetic energy into mechanical energy on the turbine shaft which is then converted into electrical energy through a generator. In steam turbines, damage is often found, one of which is the steam turbine blade which drives the turbine engine. Damage to the steam turbine blades is due to the erosion of the turbine blades, where the erosion that occurs in the turbine blades is caused by a steam pressure of 18 kg/cm², so that the type of material used by the turbine blades cannot withstand the pressure exerted by the steam on the blades. turbine for a longer period of time. Therefore, this study aims to determine the damage that occurs to the turbine blades by using *finite element software*. The results obtained that the material that is safe to use for steam turbines is Inconel 625 with an *Alternating Stress* value of 648 MPa from a *Yield Strength* value of 655, while the material used in the company's specimen is Inconel 718 with an *Alternating Stress* value of 647 MPa from a *Yield Strength* value of 648 MPa.

Keywords : Steam Turbine, Finite Element, Inconel, Alternating Stress

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kita masih diberi kesehatan, kesempatan dan nikmat, agar penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Sarjana ini dengan judul. **“ANALISA KERUSAKAN SUDU PEMUTAR TURBIN UAP MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”**. Penulisan Tugas Akhir Sarjana ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan Tugas Akhir Sarjana ini juga bertujuan agar mahasiswa biasa berfikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Tugas Akhir Sarjana ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua tercinta yakni Bapak Jan Novriaman Purba dan Ibu Ralentina Saragih yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moral maupun material.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T. Selaku Ketua Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau .
3. Bapak Jhonni Rahman B.Eng., M.Eng., PhD. Selaku Ketua Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau dan selaku pembimbing yang telah banyak memberikan waktu serta materi dan membantu saya dalam menyelesaikan proposal Tugas akhir ini.
4. Bapak Rafil Arizona, S.T., M.Eng Selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Seluruh Dosen pengajar Prodi Teknik Mesin.

6. Rekan satu angkatan Teknik Mesin 2014, terkhusus kelas C Teknik Mesin 2014 yang tak bisa saya sebutkan satu persatu terimakasih persahabatan dari awal hingga akhir masa perkuliahan (Salam Solidarity Forever).
7. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa penulis sebutkan semua.

Semoga apa yang diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin. Penulis berharap Tugas Akhir Sarjana ini dapat memberikan manfaat dan sumbangan pemikiran khususnya dibidang Teknik Mesin.

Tugas Akhir Sarjana ini belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, bila ada kekurangan di dalam Tugas Akhir Sarjana ini dapat menjadi pertimbangan bagi penulis-penulis lain agar menjadi sebuah karya tulis yang lebih baik dan mohon kritik serta saran yang membangun bagi penulis.

Pekanbaru, 24 November 2021

Penulis

Donnie Zevi Ardo Purba

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat penelitian..... | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Turbin Uap..... | 5 |
| 2.2 Klasifikasi Turbin Uap..... | 6 |
| 2.3 Prinsip Kerja..... | 8 |
| 2.4 Jenis Sudu Turbin Uap..... | 10 |
| 2.4.1 Sudu Impuls..... | 11 |
| 2.4.2 Sudu Reaksi..... | 12 |
| 2.5 Siklus Rankine pada Turbin Uap..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 2.5.1 Siklus Rankine Ideal | 14 |
| 2.6 Teori Tegangan Von Mises | 15 |
| 2.7 <i>Software ANSYS Multiphysic</i> | 15 |
| 2.8 Gaya Sentrifugal pada turbin Uap | 17 |
| 2.9 Analisa SUDu Turbin yang Sudah di Teliti | 18 |
| 2.10 Material Inconel..... | 19 |
| 2.11 Spesifikasi Turbin Uap..... | 20 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Prosedur Penelitian | 21 |
| 3.2 Prosedur Simulasi | 22 |
| 3.3 Rencana Jadwal Kegiatan | 28 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Analisa Simulasi..... | 30 |
| 4.2 Beban yang diterima Sudu Turbin Uap | 30 |
| 4.3 Simulasi <i>Steady State Thermal</i> | 32 |
| 4.3.1 <i>Steady State Thermal</i> Material Inconel 718 | 32 |
| 4.3.2 <i>Steady State Thermal</i> Material Inconel 625 | 33 |
| 4.3.3 <i>Steady State Thermal</i> Material 316 Stainless Steel | 34 |
| 4.4 Simulasi <i>Alternating Stress Von Misses</i> | 35 |
| 4.4.1 <i>Alternating Stress</i> Material Inconel 718..... | 35 |
| 4.4.2 <i>Alternating Stress</i> Material Inconel 625..... | 36 |
| 4.4.3 <i>Alternating Stress</i> Material 316 Stainless Steel..... | 36 |
| 4.5 Simulasi Normal Stress..... | 37 |

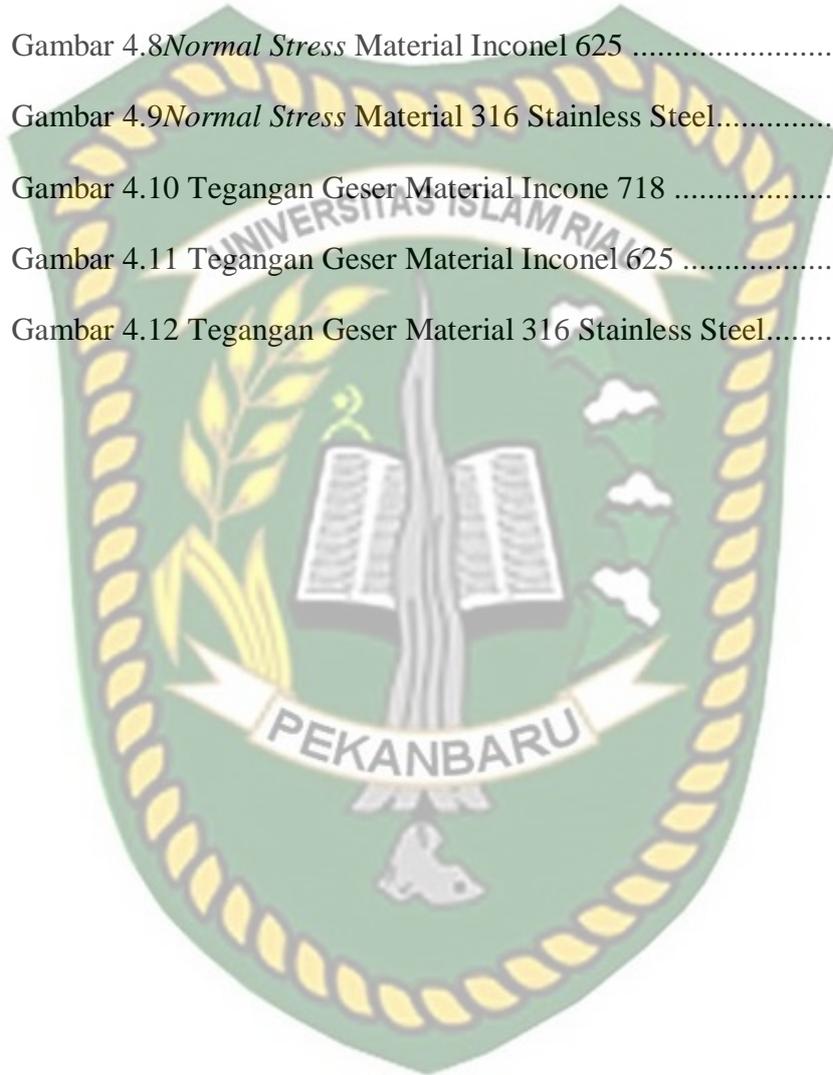
| | |
|---|----|
| 4.5.1 <i>Normal Stress</i> Material Inconel 718 | 37 |
| 4.5.2 <i>Normal Stress</i> Material Inconel 625 | 38 |
| 4.5.3 <i>Normal Stress</i> Material 316 Stainless Steel | 38 |
| 4.6 Simulasi <i>Maximum Shear Stress</i> | 39 |
| 4.6.1 <i>Maximum Shear Stress</i> Material Inconel 718..... | 39 |
| 4.6.2 <i>Maximum Shear Stress</i> Material Inconel 625..... | 40 |
| 4.6.3 <i>Maximum Shear Stress</i> Material 316 Stainless Steel..... | 40 |
| 4.7 Hasil Analisa | 41 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 42 |
| 5.2 Saran | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |



DAFTAR GAMBAR

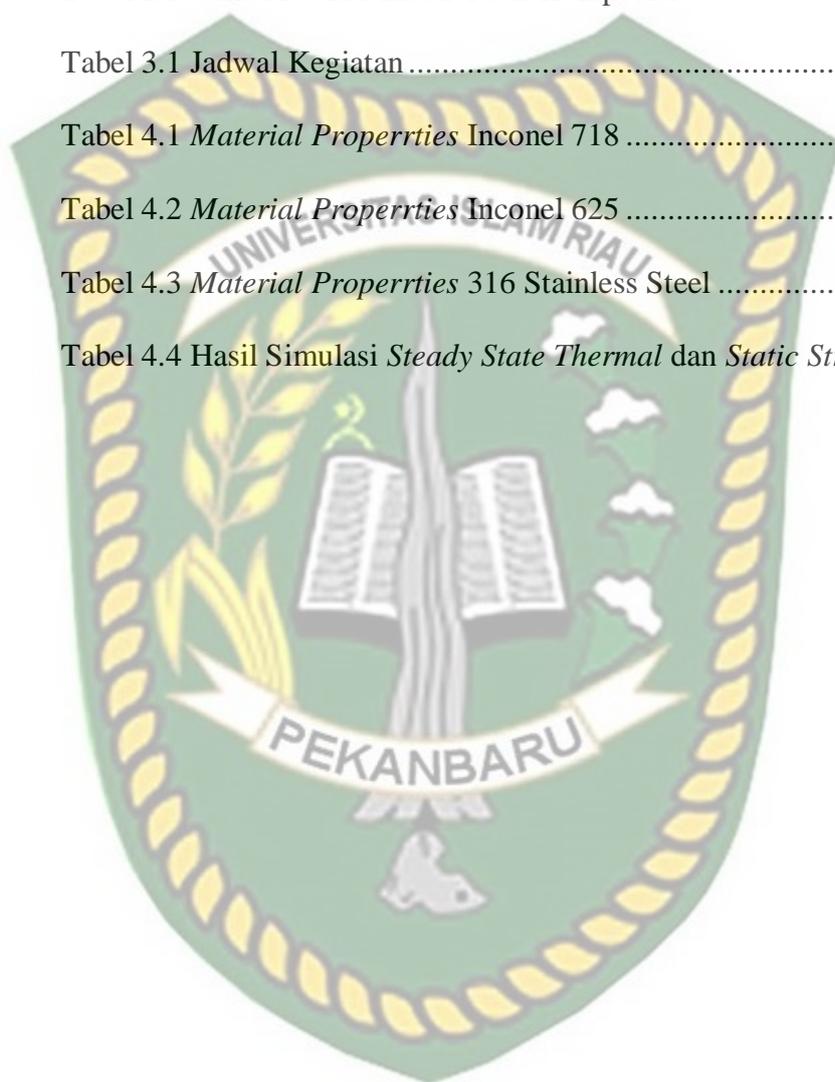
| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Turbin Uap..... | 6 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Prinsip Kerja Turbin Uap | 10 |
| Gambar 2.3 Prinsip Sudu Reaksi dan Sudu Impuls | 11 |
| Gambar 2.4 Profil dan Karakteristik Sudu Reaksi dan Impuls | 12 |
| Gambar 2.5 Diagram Siklus Rankine Ideal | 14 |
| Gambar 2.6 Hasil Output ANSYS Yang Berupa Kontor Warna..... | 16 |
| Gambar 2.7 Haste Alloy Simulasi ANSYS | 18 |
| Gambar 2.8 Simulasi Stress Turbin Uap menggunakan ANSYS | 19 |
| Gambar 3.1 Tahapan Penelitian | 21 |
| Gambar 3.2 Tampilan Pembuka ANSYS 19.2 | 23 |
| Gambar 3.3 Model 2D Dan 3D Dari Sudu Turbin..... | 24 |
| Gambar 3.4 Geometri Desain Sudu Turbin | 24 |
| Gambar 3.5 Tampilan Engineering data Pada ANSYS..... | 25 |
| Gambar 3.6 Mesh pada Sudu Turbin..... | 26 |
| Gambar 3.7 Ansys <i>Multiphysic</i> | 26 |
| Gambar 3.8 Pemilihan <i>Steady State Thermal</i> | 27 |
| Gambar 3.9 Hasil Temperatur dan konveksi | 27 |
| Gambar 3.10 Pemilihan <i>Fixed Support</i> | 28 |
| Gambar 3.11 Pemilihan Solusi | 28 |
| Gambar 4.1 <i>Total Heat Flux</i> Inconel 718..... | 32 |
| Gambar 4.2 <i>Total Heat Flux</i> Inconel 625 | 33 |
| Gambar 4.3 <i>Total Heat Flux</i> 316 Stainless Steel..... | 34 |
| Gambar 4.4 <i>Alternating Stress</i> Inconel 718..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.5 <i>Alternating Stress</i> Inconel 625 | 36 |
| Gambar 4.6 <i>Alternating Stress</i> 316 Stainless Steel..... | 37 |
| Gambar 4.7 <i>Normal Stress</i> Inconel 718 | 37 |
| Gambar 4.8 <i>Normal Stress</i> Material Inconel 625 | 38 |
| Gambar 4.9 <i>Normal Stress</i> Material 316 Stainless Steel..... | 39 |
| Gambar 4.10 Tegangan Geser Material Inconel 718 | 39 |
| Gambar 4.11 Tegangan Geser Material Inconel 625 | 40 |
| Gambar 4.12 Tegangan Geser Material 316 Stainless Steel..... | 40 |

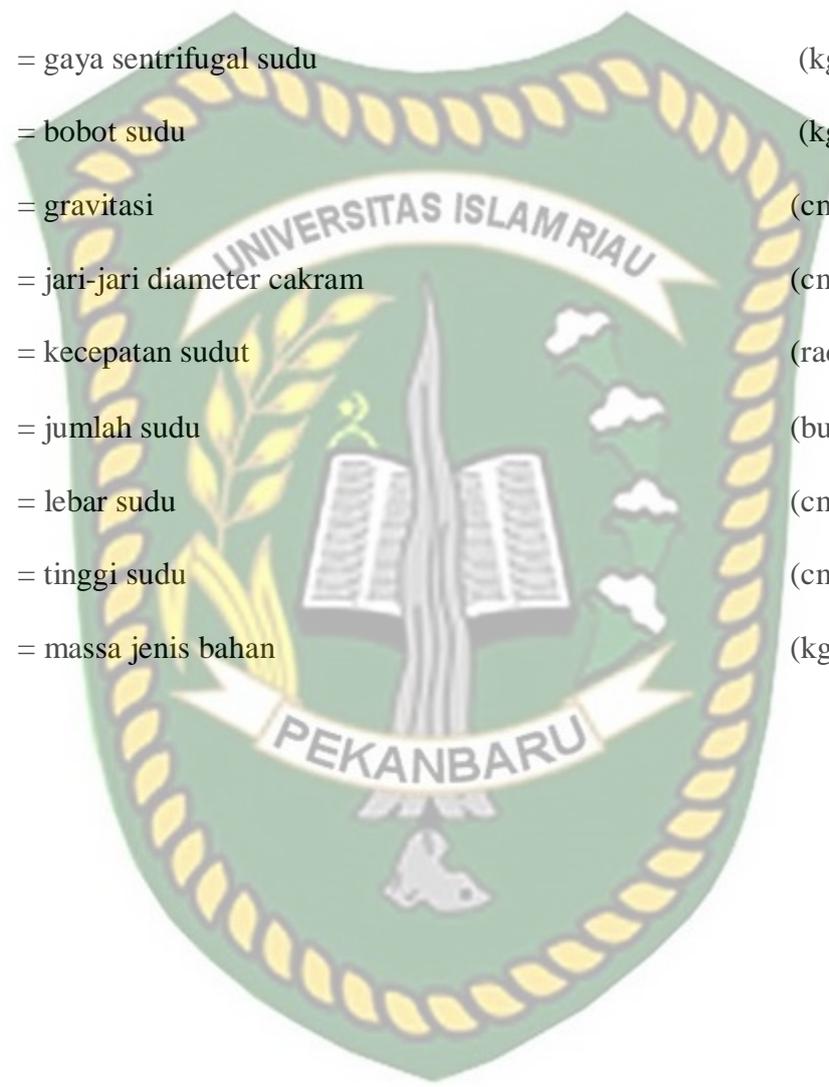


DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Jenis Material Inconel dan Komposisi | 20 |
| Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan | 29 |
| Tabel 4.1 <i>Material Properrties</i> Inconel 718 | 32 |
| Tabel 4.2 <i>Material Properrties</i> Inconel 625 | 33 |
| Tabel 4.3 <i>Material Properrties</i> 316 Stainless Steel | 34 |
| Tabel 4.4 Hasil Simulasi <i>Steady State Thermal</i> dan <i>Static Structural</i> | 41 |



DAFTAR NOTASI



| | | |
|----------|-----------------------------|-----------------------|
| C_b | = gaya sentrifugal sudu | (kg) |
| G | = bobot sudu | (kg) |
| g | = gravitasi | (cm/s ²) |
| r | = jari-jari diameter cakram | (cm) |
| ω | = kecepatan sudut | (rad/s) |
| z | = jumlah sudu | (buah) |
| b | = lebar sudu | (cm) |
| t | = tinggi sudu | (cm) |
| ρ | = massa jenis bahan | (kg/cm ³) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi energi yang dapat merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik pada poros turbin. Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik, energi potensial uap terlebih dahulu dikonversikan menjadi energi kinetik melalui *nozzel* (pada turbin *impuls*) dan sudu-sudu gerak (pada turbin *reaksi*). Energi mekanis yang dihasilkan dalam berbentuk putaran poros turbin, sehingga dapat secara langsung dengan bantuan roda gigi reduksi yang dihubungkan dengan mekanisme yang bergerak. Untuk mendapatkan hasil energi mekanisme yang digerakkan dalam hal ini adalah poros generator. Pada generator mekanik yang diteruskan dari poros akan dirubah menjadi energi listrik. [Arismunandar, 1997].

Permasalahan yang terjadi pada turbin uap adalah terjadi kerusakan pada daun sudu turbin. Jenis kerusakan ini berupa pengikisan pada daerah daun, sehingga terjadi penipisan dan menyebabkan patahan karena adanya tekanan yang tinggi [Tarmizi, 2011].

Penelitian yang dilakukan oleh Ade Irfansyah (2018) yang meneliti bila kipas mesin turbofan dengan menggunakan elemen hingga didapat model 2D tanpa *scallop* akan menyebabkan umur kipas akan lebih pendek sekitar 5.043 cycle dibanding umur yang ditentukan pabrik yaitu 20.000 cycle. Fatkur Rachmanu (2016) mendesain ulang kekuatan sudu turbin gas *saturn-20* dengan

menggunakan elemen hingga didapat bahwa tegangan maksimum yang terjadi $2.01 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ masih dibawah *yield strength* $9.2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ pada material GTD 111. Alekhya (2018) memodeling dan menganalisis dari sudu turbin uap dengan menggunakan software Catia V5 kemudian model di import ke ANSYS untuk mencari masalah struktural dari sudu turbin dengan menggunakan material baja krom, *haste alloy* dan *inconel* didapat material yang cocok dengan turbin uap adalah *haste alloy*. Dari masalah penelitian diatas maka penelitian ini akan meneliti tentang analisa kerusakan sudu pemutar turbin uap dengan menggunakan metode elemen hingga yang dilakukan pada sudu turbin tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui kerusakan sudu turbin menggunakan *software* elemen hingga?
2. Bagaimana hasil Von Misses yang bekerja pada sudu turbin?
3. Bagaimana jenis material yang sesuai digunakan sebagai sudu turbin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari analisa kerusakan sudu pemutar turbin uap adalah :

1. Untuk mengetahui kerusakan sudu turbin uap menggunakan *software* elemen hingga.
2. Untuk mengetahui hasil Von misses yang bekerja pada sudu turbin.

3. Untuk mengetahui jenis material yang sesuai digunakan pada sudu turbin.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:.

1. Model dari sudu turbin dibuat dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2016*.
2. *Software* elemen hingga yang digunakan adalah ANSYS 19.2
3. Jenis turbin yang dipakai adalah turbin 1 tingkat
4. Turbin yang dipakai memiliki tekanan masuk 18 kg/cm^2

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah untuk memudahkan dan mengetahui jenis kerusakan yang terjadi pada sudu turbin uap dengan menggunakan metode elemen hingga, sehingga mempercepat proses perbaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai acuan atau kerangka bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir, Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat, batasan masalah dan sistematika perancangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang tinjauan pustaka dan teori-teori dasar yang berhubungan dengan sudu turbin uap

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas mengenai analisa kerusakan sudu dan diagram alir untuk penelitian ini

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang realisasi dari metodologi berupa hasil identifikasi permasalahan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang di anggap perlu diketahui bagi pihak-pihak yang memerlukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Uap

Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi energi yang hasil konversi energinya digunakan mesin yang lain untuk mendapatkan hasil daya. Didalam turbin ada beberapa perubahan dari energi potensial uap menjadi energi kinetik kemudian dirubah menjadi energi mekanik pada poros turbin, kemudian energi mekanik dirubah kembali menjadi energi listrik pada generator.

Energi mekanis yang dikeluarkan dalam bentuk putaran poros turbin kemudian dapat secara langsung dengan mendapatkan bantuan dari roda gigi reduksi, kemudian dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dipakai sebagai salah satu penggerak mula mesin, seperti menggerakkan pompa, kompresor dan mesin lainnya. apabila dibandingkan dengan penggerak generator listrik yang lainnya, maka turbin uap mempunyai keunggulan sebagai berikut:

1. Pemanfaatan panas yang lebih baik.
2. Pengendalian putaran yang lebih gampang.
3. Tidak mengeluarkan loncatan bunga api listrik.
4. Uap bekasnya dapat dimanfaatkan lagi atau untuk proses.

Siklus yang terjadi pada turbin uap adalah siklus rankine, yaitu berupa siklus tertutup, yang uap bekas dari turbin digunakan kembali dengan mendinginkannya pada kondensor, setelah itu dialirkan kembali ke pompa dan

seterusnya sehingga merupakan siklus tertutup, contoh turbin dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Turbin Uap

(Dietzel, 1993)

2.2 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap dapat diklasifikasikan ke dalam kategori yang berbeda yang tergantung pada jumlah tingkat tekanan, arah aliran uap, proses penurunan kalor, kondisi uap pada sisi masuk turbin dan pemakaiannya dibidang industri. Adapun klasifikasinya antara lain :

1. Menurut jumlah tingkat tekanan
 - a. Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan, yaitu turbin yang biasanya berkapasitas kecil dan turbin ini kebanyakan dipakai untuk menggerakkan kompresor sentrifugal.
 - b. Turbin impuls, yaitu tingkat yang dibuat dalam jangka kapasitas yang luas mulai dari yang kecil sampai yang besar.
2. Menurut arah aliran uap
 - a. Turbin aksial, yaitu turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang sejajar terhadap sumbu turbin.
 - b. Turbin radial, yaitu turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu poros.
3. Menurut jumlah silinder
 - a. Turbin silinder tunggal
 - b. Turbin silinder ganda
 - c. Turbin tiga silinder
 - d. Turbin empat silinder
4. Menurut metode pengaturan, terdiri dari beberapa pengaturan :
 - a. Turbin yang pengaturan pengecekan (*throttling*), dalam proses ini uap panas lanjut yang dihasilkan dari ketel masuk melewati satu atau lebih katup pengecekik yang dioperasikan secara bersamaan.
 - b. Turbin dengan proses pengaturan nosel dimana uap segarnya masuk kedalam melewati dua atau lebih pengatur pembuka yang beraturan.

- c. Turbin yang pengaturan langkah (by-pass governing), yang uap panas lanjutnya yang keluar melalui ketel disamping kemudian dialirkan ke tingkat pertama, kemudian langsung dialirkan ke satu, dua, atau hingga tiga tingkat menengah turbin tersebut.
5. Menurut prinsip kerja aksi uap, terdiri dari beberapa poin:
- a. Turbin impuls, yang energi potensial uapnya dirubah menjadi energi kinetik dalam nozel atau jalur yang dibentuk dari sudu-sudu diam yang berdampingan, dan didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap dirubah jadi energi mekanis.
 - b. Turbin reaksi aksial yang ekspansi uapnya diantara jalur sudu, baik sudu pengarah maupun sudu gerak.
 - c. Turbin reaksi radial tanpa sudu pengarah yang diam.
 - d. Turbin reaksi radial dengan sudu pengarah yang diam.

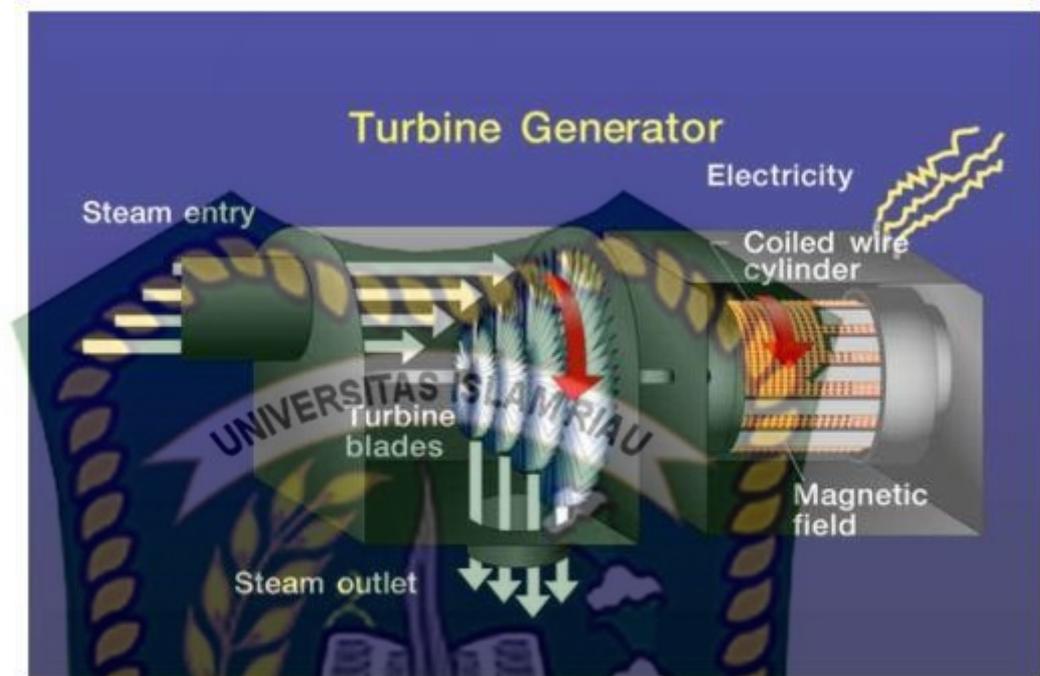
2.3 Prinsip Kerja Turbin Uap

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nozel. Didalam nozel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nozel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nozel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nozel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nozel. Uap yang memancar keluar dari nozel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir

melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

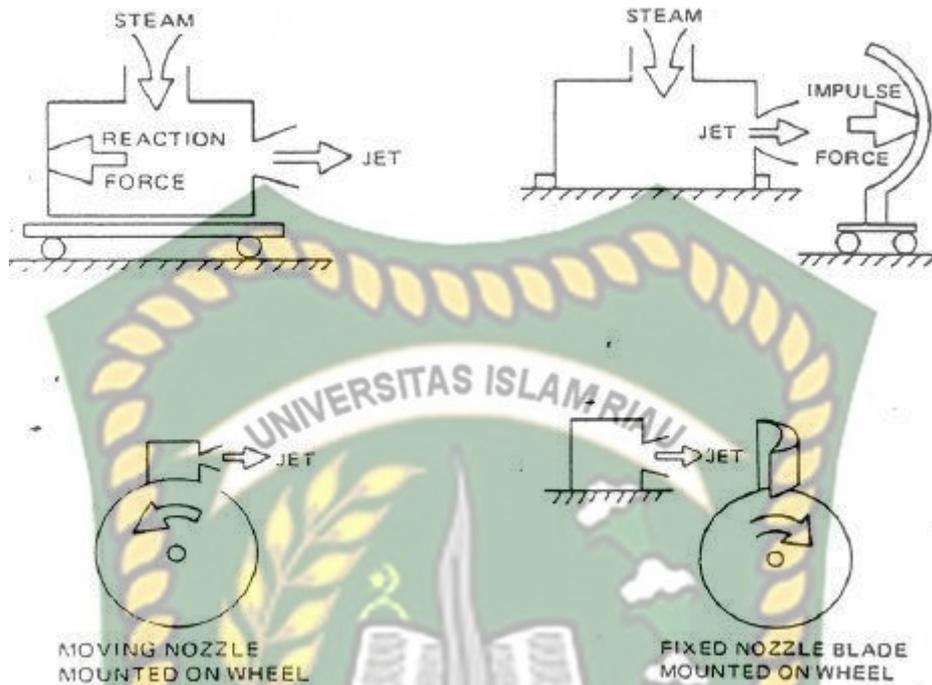
2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.



Gambar 2.2 Ilustrasi Prinsip Kerja Turbin Uap
(Najamudin, 2014)

2.4 Jenis Sudu Turbin

Berdasarkan tekanan uap yang digunakan untuk menggerakkan roda/rotor turbin sebelum masuk dan setelah keluar dari sudu-sudu yang terpasang pada roda tersebut, maka dikenal sudu impuls dan sudu reaksi. Turbin uap untuk pembangkit listrik saat ini umumnya terdiri dari kombinasi kedua macam sudu tersebut. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat prinsip sudu Reaksi dan sudu impuls.



Gambar 2.3 Prinsip Sudu Reaksi dan Sudu Impuls

(Dietzel, 1993)

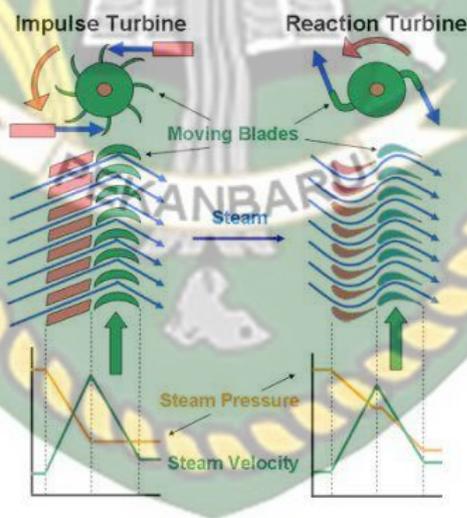
2.4.1 Sudu Impuls

Sudu impuls juga disebut sudu aksi atau sudu tekanan tetap, adalah sudu dimana uap mengalami ekspansi hanya dalam sudu-sudu tetap. Sudu-sudu tetap berfungsi sebagai nosel (saluran pancar) sehingga uap yang melewati akan mengalami peningkatan energi kinetik. Uap dengan kecepatan tinggi selanjutnya akan membentur (impuls) sudu-sudu gerak. Benturan antara uap dengan sudu gerak ini menimbulkan gaya yang mengakibatkan poros turbin berputar. Setelah memutar sudu gerak, selanjutnya uap diarahkan masuk ke dalam sudu tetap baris berikutnya. Selama melintasi sudu gerak tekanan dan entalpi uap tidak berubah.

Dengan demikian pada sudu impuls penurunan tekanan dan energi panas uap hanya terjadi pada sudu-sudu tetap atau nosel.

2.4.2 Sudu Reaksi

Dalam suatu turbin yang terdiri dari 100 % sudu-sudu reaksi, maka sudu-sudu gerak juga berfungsi sebagai nosel-nosel sehingga uap yang melewatinya akan mengalami peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan. Peningkatan kecepatan ini akan menimbulkan gaya reaksi yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan uap. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat perbedaan sudu turbin Reaksi dan Impuls.



Gambar 2.4 Profil dan Karakteristik Sudu Reaksi dan Impuls

(Dietzel,1993)

Gaya reaksi pada sudu gerak inilah yang akan memutar poros turbin. Uap selanjutnya dialirkan ke sudu tetap yang berfungsi untuk mengarahkan uap ke sudu gerak baris berikutnya. Sudut dan profil sudu-sudu dibuat sedemikian rupa

sehingga apabila turbin berputar pada kecepatan rancangannya uap akan mengalir dengan mulus melewati sudu-sudu tersebut sehingga dapat menurunkan erosi sampai pada tingkat minimum. Pada sebuah roda/poros turbin sudu-sudu yang terpasang pada roda tersebut bisa terdiri dari satu baris sudu atau beberapa baris sudu. Setiap baris sudu terdiri dari sudu yang disusun melingkari roda turbin masing-masing dengan bentuk dan ukuran yang sama. Turbin dengan hanya satu baris sudu yang terpasang pada rotornya dinamai turbin bertingkat tunggal. Sedangkan turbin dengan beberapa baris sudu-sudu yang terpasang pada rotornya dinamai turbin bertingkat banyak (multi stages). Ditinjau dari tekanan uap meninggalkan turbin, maka dapat dibedakan menjadi turbin kondensasi (condensing turbine) dan turbin tekanan lawan (back pressure turbine). Turbin kondensasi adalah turbin yang saluran keluarnya dihubungkan dengan kondensor, sehingga tekanan uap pada saluran keluar lebih kecil dari 1 atmosfer, sedangkan turbin tekanan lawan adalah turbin yang tekanan uap keluarnya di atas tekanan atmosfer. Turbin tekanan lawan jarang sekali digunakan.

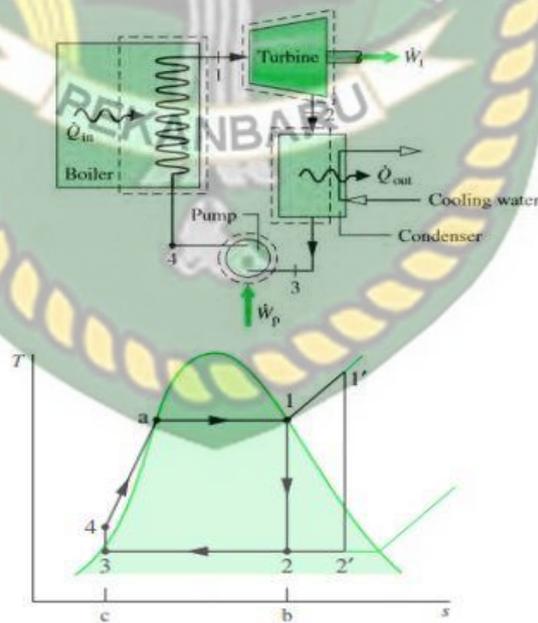
2.5 Siklus Rankine pada Turbin Uap

Siklus Rankine sebagai standar untuk pembangkit daya yang menggunakan uap. Siklus Rankine yang digunakan nyata dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus Rankine ideal yang asli yang sederhana. Kerumitan tersebut merupakan modifikasi yang bertujuan untuk menjadikan siklus itu paling efisien untuk membangkitkan listrik.

2.5.1 Siklus Rankine Ideal

Siklus rankine ideal terdiri dari empat proses yang dapat dilihat pada Gambar 2.5, yaitu:

1. Proses 3 – 4 : kompresi isentropic dalam pompa menuju ke kondisi 4 dalam daerah cairan hasil kompresi.
2. Proses 4 – 1 : perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui boiler untuk menyelesaikan siklus.
3. Proses 1 – 2 : ekspansi isentropic dari fluida kerja melalui turbin dari uap jenuh pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan condenser.
4. Proses 2 – 3 : perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensser dengan cairan jenuh pada kondisi 3.



Gambar 2.5 Diagram Siklus Rankine Ideal

(Dietzel, 1993)

2.6 Teori Tegangan Von Mises

Kriteria yield dari von Mises menunjukkan bahwa pencapaian batas kekuatan bahan dimulai ketika invariasi (resultan) tegangan deviatorik kedua J_2 mencapai nilai kritis k . Untuk alasan ini, kadang-kadang disebut plastisitas- J_2 atau teori aliran J_2 . Ini adalah bagian dari sebuah teori plastisitas yang berlaku terbaik untuk bahan ulet, seperti logam. Sebelum hasil, respon material diasumsikan elastis.

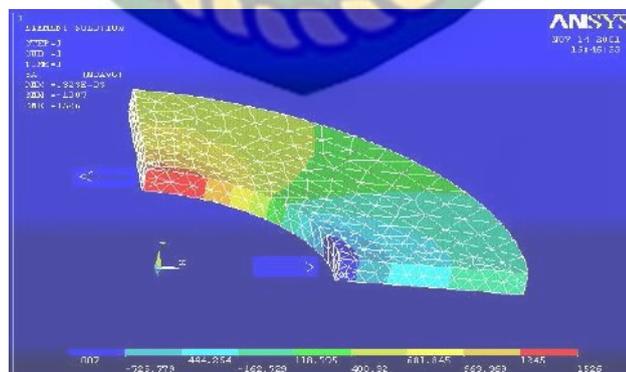
Dalam ilmu rekayasa material, kriteria yield von Mises dapat juga diformulasikan dalam bentuk tegangan von Mises atau stres tarik equivalent (σ_v), nilai skalar stres yang dapat dihitung dari tensor stres. Dalam hal ini, material dikatakan untuk memulai batas yield ketika tegangan von Mises mencapai nilai kritis yang dikenal sebagai kekuatan luluh, (σ_y). Von Mises stress digunakan untuk memprediksi batas kekuatan bahan dalam setiap kondisi pembebanan dari hasil tes sederhana tarik uniaksial. Tegangan von Mises memenuhi keadaan yang menyatakan dua arah tegangan dengan energi distorsi yang sama telah menyamai stres von Mises.

2.7 *Software ANSYS Multiphysic*

Dalam dunia teknik pemesinan, banyak pemecahan-pemecahan dasar dari struktur yang mampu diselesaikan oleh ANSYS, seperti lendutan, perpindahan posisi, stress dan strain, torsi. Demikian juga jenis materi yang mampu diselesaikan oleh ansys antara lain Baja, titanium, alumunium, dll, dimana padapemilihan material tidak disediakan nama bahan, tetapi perlu dimasukkan karakteristik dari bahannya saja. Setelah itu gejalanya bisa kita lihat langsung, baik dari perubahan posisi, bentuk dan kontour warna dari hasil analisisnya.

Dimana dalam ANSYS juga terdapat beberapa Main Menu utama yang digunakan baik pengarahannya material, mendesain dan analisa object. Menu ini terbagi dalam 4 bagian utama, yaitu:

1. *Preferences*, berfungsi sebagai referensi analisis yang akan digunakan. Dimana disini kita akan memilih fungsi besar penggunaan ansys tersebut, misalnya untuk struktur, elektrikal, fluida, dll.
2. *Preprocessor*, berfungsi untuk mendesain object yang akan dianalisis. Dan pada bagian ini akan diperlukan pendefinisian sistem analisa kerja struktur, seperti titik, garis, luasan, dan volume.
3. *Solution*, bagian ini adalah menu yang berhubungan dengan pendefinisian analisa dari komputer tersebut pada sistem struktur sebagaimana *Real loading* nya (kinerja nyata).
4. *General Postproc*, berfungsi untuk menampilkan hasil Analisa berdasarkan visual grafis, seperti kejadian pada stress, geser, maupun panas (*thermal*) yang umumnya disajikan dalam bentuk warna. Pada Gambar 2.6 menunjukkan output kontur warna ANSYS.



Gambar 2.6 Hasil Output ANSYS Yang Berupa Kontur Warna

(Shingley's, 2008)

Tetapi perlu diingat bahwa output yang dikeluarkan pada *software* ini umumnya hanya mendekati, atau tidak benar-benar pasti sesuai dengan lapangan.

2.8 Gaya Sentrifugal pada Turbin Uap

Gaya sentrifugal adalah gaya percepatan yang muncul secara sederhana dari percepatan rotasi kerangka acuan. Untuk mencari gaya sentrifugal untuk gaya pada sudu digunakan rumus sebagai berikut

$$C_b = \frac{G}{g} \times r \times \omega^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

(Shlyakhin, Turbin Uap, Hal 288)

Dimana :

C_b = gaya sentrifugal sudu (kg)

G = bobot sudu (kg)

g = percepatan gravitasi (cm/s^2)

r = jari-jari diameter cakram (cm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

Bobot Sudu

$$G = \frac{2 \times \pi \times r}{z} \times b \times l \times \rho \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

r = jari-jari diameter cakram (cm)

z = jumlah sudu

b = lebar sudu (cm)

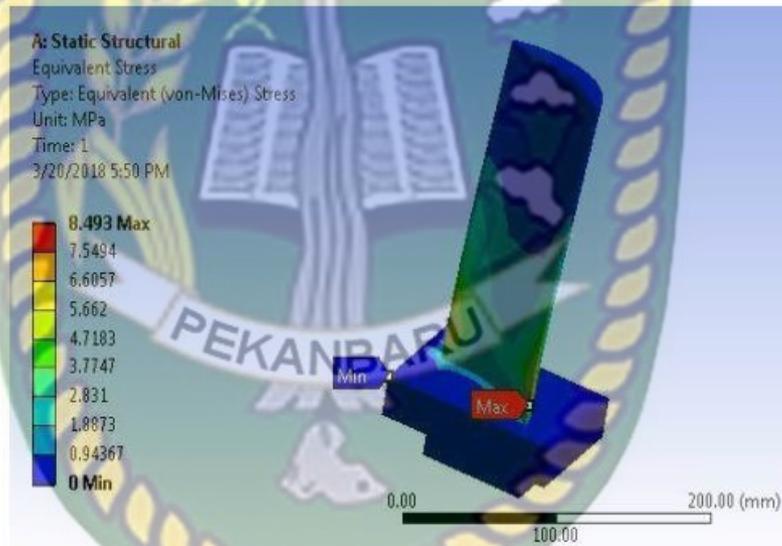
t = tinggi sudu (cm)

ρ = massa jenis bahan (kg/cm^2)

2.9 Analisa Sudu Turbin yang Sudah di Teliti

Untuk penelitian sudu turbin menggunakan elemen hingga itu sendiri sudah ada yang meneliti seperti yaitu:

1. M N V Alekhya (2018), “Modelng and Analysis of Steam Turbine” yang meneliti dengan 3 jenis material yaitu Hastealoy, Inconel 600, dan Chrome Steel. Membuat model 3D dengan *software* Catia dan Analisis menggunakan ANSYS dan didapat kesimpulan bahwa Hastealoy memilik tegangan yang rendah, dan distribusi temperatur yang tinggi.



Gambar 2.7 Haste Alloy Simulasi ANSYS

(M N V Alekhya, 2018)

2. K. Swarnalata Naga Durga (2015), “ Design and Analysis of Steam Turbine Blade Using FEA”. Meneliti fatik pada sudu turbin uap dengan membandingkan kalkulasi teoritis dan kalkulasi simulasi, didapat bahwa kalkulasi teoritis umur fatik 2.4×10^6 dan kalkulasi simulasi 86436.

Sehingga dibutuhkan modifikasi untuk turbin uap untuk mendapatkan 10^6 cycle.



Gambar 2.8 Simulasi Stress Turbin Uap menggunakan ANSYS

.(Swarnalata Naga Durga, 2015)

2.10 Material Inconel

Logam inconel adalah superalloy yang berbasis nikel (*nickel-base alloys*) dengan tambahan kandungan unsur *Chrome* (Cr) dan Besi (Fe), sehingga kadang disebut juga superalloy yang berbasis nikel-kromium-besi (Ni-Cr-Fe alloys) unsur terbesar adalah pada kandungan Nikel (Ni)

Paduan inconel adalah material yang tahan oksidasi dan korosi pada suhu tinggi, material inconel ini akan mempertahankan kekuatannya pada rentang suhu yang tinggi dimana aluminium dan baja akan mengalami *creep* (mulur) pada suhu tinggi. Pada Tabel 2.1 Jenis Material Inconel dan Komposisinya

| Inconel | Element (% by mass) | | | | | | | | | | | | | | HB | |
|---------|---------------------|-----------|--------------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|-----------|-----------|-------------|---------------|---------------|--------------|-------|-------------|
| | Ni | Cr | Fe | Mn | Nb | Cu | Mn | Cu | Al | Ti | Si | C | S | P | | B |
| 600 | 72.0 | 14.0-17.0 | 6.0 -11.0 | | | | 1.0 | 0.5 | | | 0.5 | 0.15 | 0.015 | | | |
| 617 | 41.2-56.0 | 20.0-24.0 | 3.0 | 3.0-10.0 | | 10.0-15.0 | 0.5 | 0.5 | 0.8-1.5 | 0.6 | 0.5 | 0.15 | 0.015 | 0.015 | 0.006 | |
| 625 | 58.0 | 20.0 23.0 | 5.0 | 3.0 10.0 | 3.15 4.15 | 1.0 | 0.5 | | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.015 | 0.015 | | <21 HRC |
| 718 | 50.0 55.0 | 17.0 21.0 | 5.0 | 2.8 3.3 | 4.75 5.5 | 1.0 | 0.35 | 0.2 0.8 | 0.65 1.15 | 0.3 | 0.35 | 0.08 | 0.015 | 0.015 | 0.006 | 34-39 HRC |
| X-750 | 70.0 | 14.0-17.0 | 5.0 3.0 | | 0.7-1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.4-1.0 | 2.25-2.75 | 0.5 | 0.08 | 0.01 | | | |
| 800 | 30 34 | 19 23 | max 35.5 | Max. 2.0 | | Max. 2.0 | Max. 1.5 | Max. 0.75 | 0.15 0.60 | 0.15 0.60 | Max. 1.0 | 0.06- 0.10 | Max. 0.015 | Max. 0.03 | | Max. 192 |
| 925 | 44 | 20.14 | 27.49 | 3.18 | 0.3 | | 0.17 | 2.02 | 0.23 | 2.19 | 0.06 | 0.008 | <0.0003 | 0.008 | | 30 38 HRC |

Tabel 2.1 Jenis Material Inconel dan Komposisi (Babcock & Wilcox,2003)

Aplikasi Inconel melibatkan ketahanan terhadap korosi dan tahan panas, beberapa aplikasi inconel antara lain:

1. Turbin gas pesawat
2. Aplikasi medis
3. Sistem tenaga nuklir
4. Kimia dan petrokimia
5. Industri batrai
6. Elektronik, industri tekstil
7. Pembangkit listrik tenaga gas dan uap

2.11 Spesifikasi Turbin Uap

Spesifikasi yang dipakai sebagai referensi penelitian ini yaitu :

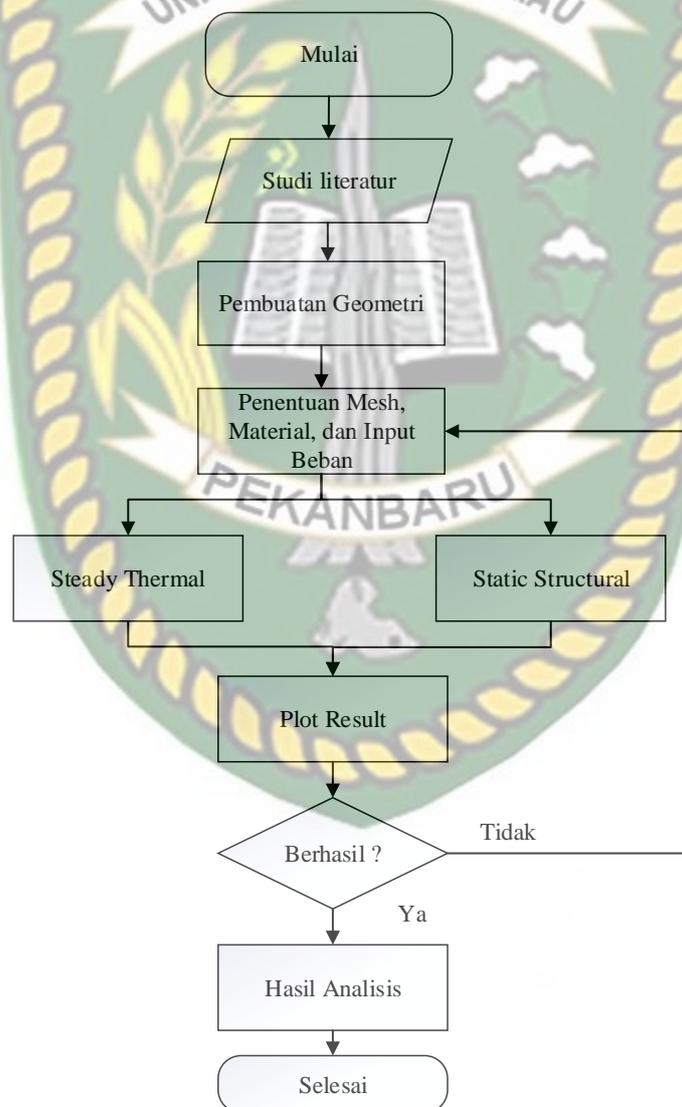
| | |
|---------------------|--------------------------|
| Jenis | : Turbodyne |
| Inlet Pressure | : 18 kg/cm ² |
| Inlet Temperature | : 250 C |
| Trip Speed | : 4950 rpm |
| Daya | : 1170 HP |
| Exhaust pressure | : 3.5 kg/cm ² |
| Exhaust Temperature | : 159 C |

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tahap studi literatur

Tahapan ini merupakan proses pembelajaran bahan-bahan dan pendalaman pemahaman terhadap konsep yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal penelitian, dan situs-situs internet.

2. Tahap penentuan geometri

Tahap ini dilakukan penyiapan *software* yang akan dilakukan pengujian. Kemudian dilakukan penggambaran sudu turbin yang akan diuji.

3. Penentuan mesh, material, dan input beban

Tahapan ini dilakukan dengan menentukan mesh pada sudu turbin dan di cek errornya. Kemudian menentukan material yang akan dipakai dan menginput beban pada *software* elemen hingga tersebut.

4. Penentuan hasil *multyphysic*

Tahapan ini dibagi dua yaitu *steady thermal* dan *static structural*.

5. Tahap analisis dan kesimpulan

Tahapan ini data yang diperoleh akan ditarik kesimpulannya dari semua proses yang dilakukan.

3.2 Prosedur Simulasi

Dalam simulasi ini digunakan suatu *software* yang cukup populer yaitu ANSYS versi 19.2, dimana *software* ini mampu melakukan analisis beban, pengaruh temperature, deformasi, defleksi, dan tegangan pada *truss*, dan

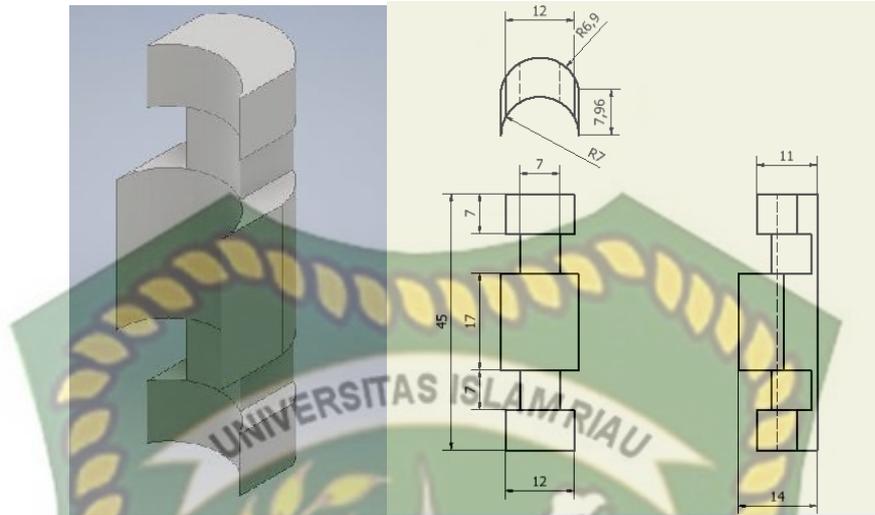
sebagainya. untuk simulasi dalam penelitian ini Gambar 3.2 merupakan tampilan *software* ANSYS versi 19.2.



Gambar 3.2 Tampilan Pembuka ANSYS 19.2

1. Desain Sudu

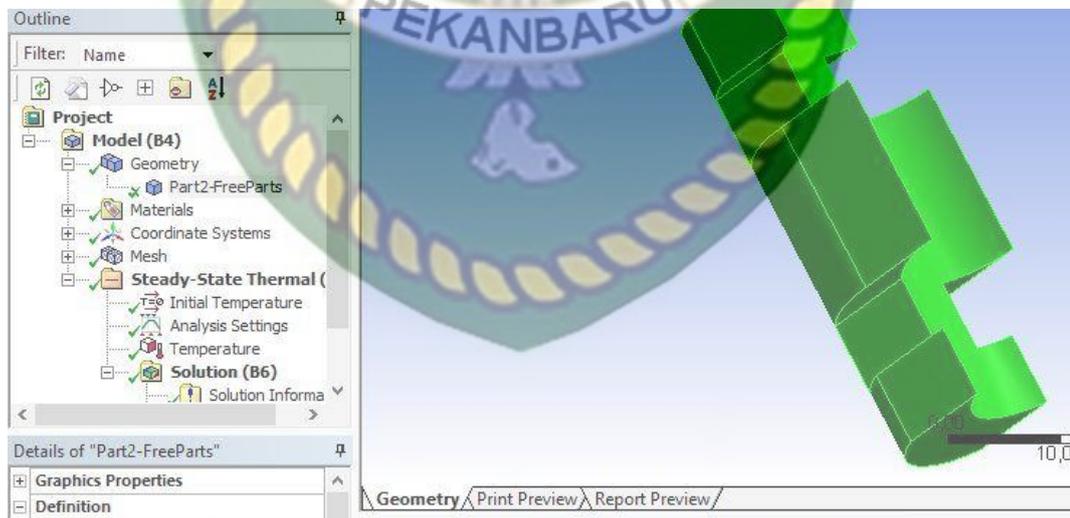
Pengambilan data menggunakan FEA ini dimulai dengan membuat geometri model sudu turbin yang akan diteliti. Desain geometri sudu turbin dibuat dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor 2020 yang disesuaikan dengan data atau ukuran sudu turbin dari mesin turbin uap di PTPN V Seigara. Geometri sudu turbin dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Model 2D Dan 3D Dari Sudu Turbin

2. Import geometri

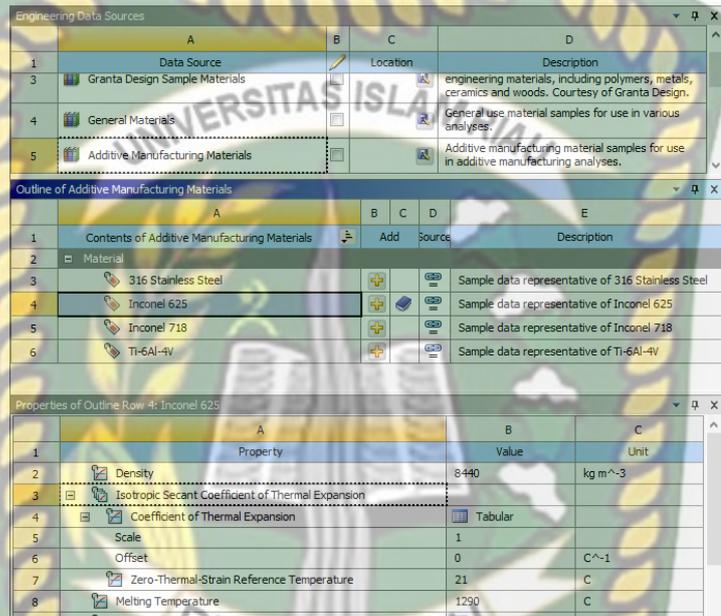
Desain dari inventor yang sudah digambar maka akan dipindahkan kedalam geometri ANSYS yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Geometri Desain Sudu Turbin

3. Pemilihan material dan input *Data*

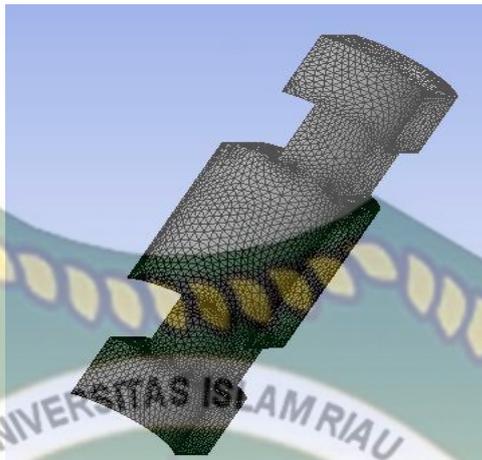
Engineering data merupakan parameter dimana memilih material yang akan dipakai pada simulasi, tampilan *engineering data* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan *Engineering data* Pada ANSYS

4. Proses Meshing

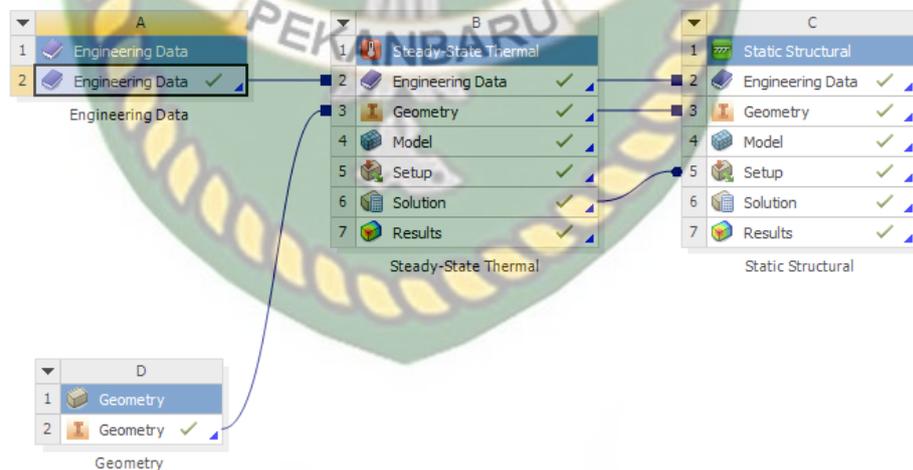
Setelah pemilihan material pada *engineering data* di input, maka langkah berikutnya adalah proses meshing dengan node dan elemen. Proses meshing adalah pembagian model menjadi elemen-elemen kecil. Hasil meshing dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesh pada Sudu Turbin

5. Pemilihan Kondisi Simulasi

Pada penelitian ini dipilih solusi dengan menggunakan *Multiphysic Ansys*, metode ini adalah gabungan dari 2 solusi yaitu *Steady state thermal* dan *Static Structural* yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Ansys *Multiphysic*

Pada solusi ini dimulai dengan memilih temperatur dan konveksi thermal yang terjadi pada turbin uap yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pemilihan *Steady State Thermal*

Posisi pemilihan konveksi dan temperature berada dibagian bada suhu dikarenakan panas dari uap mengenai bada suhu tersebut. Sehingga hasil dapat keluar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



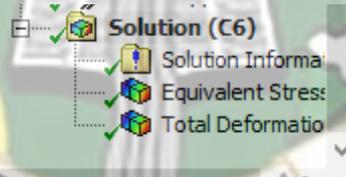
Gambar 3.9 Hasil Temperatur dan konveksi

Setelah pemilihan *steady state thermal* dan mengecek error atau tidaknya maka selanjutnya memilih solusi pada static structural yang dimulai dengan langkah memilih *fixed support* yaitu dimana suhu akan ditahan ketika menerima beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Pemilihan *Fixed Support*

Kemudian memilih solusi yang akan dikeluarkan oleh *result* *Ansys* yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Pemilihan solusi

Output penelitian ini berupa *report* dari pemilihan *solution* yang dikeluarkan ANSYS dan dilakukan Analisa terhadap *report* tersebut

3.3 Rencana Jadwal Kegiatan

Pada penelitian ini dibutuhkan jadwal kegiatan guna menentukan waktu untuk penyelesaian penelitian. Pada tabel 3.1 dapat dijelaskan jenis kegiatan dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

| No | Jenis Kegiatan | Bulan 1 | | Bulan 2 | | Bulan 3 | | Bulan 4 | | bulan 5 | | bulan 6 | | bulan 7 | | bulan 8 | |
|----|-----------------------------|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1 | Survei dan Studi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Analisis Data | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Menyusun Bab 1 - Bab 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Seminar Proposal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | membuat desain dan simulasi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Penyusunan Skripsi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Sidang | | | | | | | | | | | | | | | | |



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Simulasi

Untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada sudu turbin uap di PTPN V PKS Sei Garo maka dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS. Penggambaran spesimen dibuat menggunakan Autodesk Inventor yang bertujuan untuk mencegah *error* pada saat mesh di *generate*, pengambilan data menggunakan salah satu bagian *software* ANSYS yaitu ANSYS *Workbench* yang digunakan untuk simulasi guna mengetahui semua parameter yang diinginkan seperti *Equivalent Von Mises Stress*, *Normal Stress*, dan *Maximum Shear Stress*.

4.2 Beban yang diterima Sudu Turbin Uap

Pada penelitian ini hanya meneliti pada bagian sudu turbin uap, beban yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$C_b = \frac{G}{g} \times r \times \omega^2$$

Dimana :

C_b = gaya sentrifugal sudu (kg)

G = bobot sudu (kg)

g = gravitasi (cm/s^2)

$$= 981 \text{ cm/s}^2$$

r = jari-jari diameter cakram (cm)

$$= 123 \text{ cm}$$

ω = kecepatan sudut (rad/s)

$$= 450 \text{ rad/s}$$

Untuk mencari bobot sudu dapat menggunakan persamaan 2.2 :

Bobot Sudu

$$G = \frac{2 \times \pi \times r}{z} \times b \times l \times \rho$$

Dimana :

r = jari-jari diameter cakram (cm)

= 123 cm

z = jumlah sudu (buah)

= 65 buah

b = lebar sudu (cm)

= 1,2 cm

t = tinggi sudu (cm)

= 4,5 cm

ρ = massa jenis bahan (kg/cm^3)

= $0,00817 \text{ kg}/\text{cm}^3$

Maka bobot sudu dapat dihitung :

$$G = \frac{2 \times 3,14 \times 123 \text{ cm}}{65} \times 1,2 \text{ cm} \times 4,5 \text{ cm} \times 0,00817 \text{ kg}/\text{cm}^3$$

$$G = 0,52 \text{ kg}$$

Setelah bobot sudu didapat maka gaya sentrifugal sudu dapat dicari

$$C_b = \frac{0,52 \text{ kg}}{981 \text{ cm}/\text{s}^2} \times 123 \text{ cm} \times \left(450 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2$$

$$C_b = 29,34 \text{ kg}$$

$$C_b = 288 \text{ N}$$

Dari perhitungan tersebut didapat beban yang akan disimulasikan adalah 288 N.

4.3 Simulasi *Steady State Thermal*

4.3.1 *Steady State Thermal Material Inconel 718*

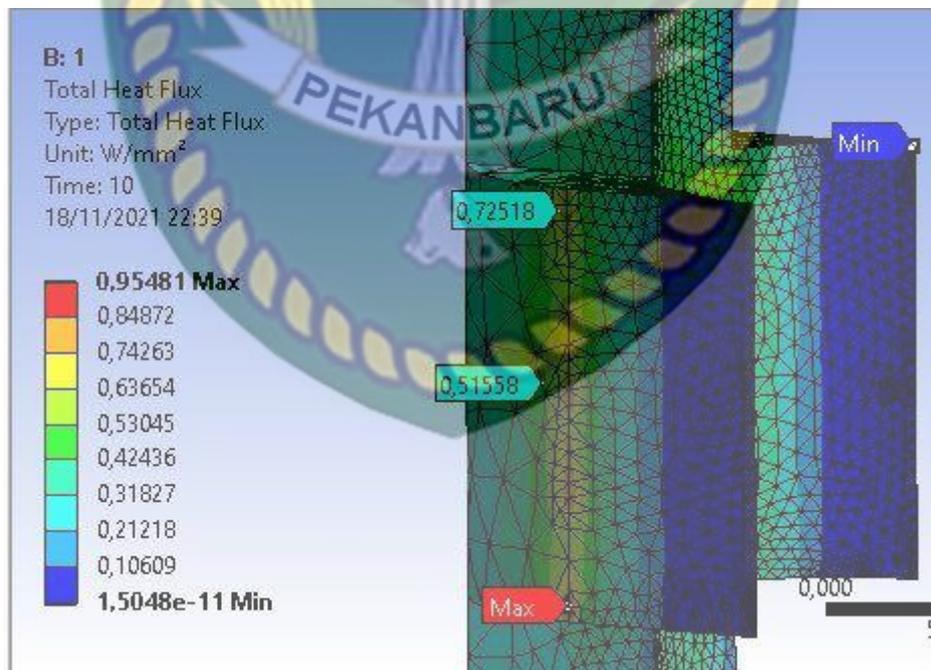
Sebelum memulai simulasi terlebih dahulu memilih material yang akan digunakan. Pada penelitian ini menggunakan material Inconel 718, material ini digunakan pada turbin uap karena sifatnya tahan panas dan tidak mudah berkarat.

Properties dari material Inconel 718 dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Material Properrties*Inconel 718

| No | Material | Density (g cm ⁻³) | Yield Strength (MPa) | Poisson's Ratio | Bulk Modulus (Pa) |
|----|-------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------|
| 1 | Inconel 718 | 8,22 | 648 | 0,3 | 1,375x10 ¹¹ |

Setelah pemilihan material maka langkah pertama adalah *Steady State Thermal* yaitu penambahan panas yang terjadi pada turbin dengan suhu 250° C. pada gambar 4.1 dapat dilihat *Total Heat Flux* yang terjadi pada turbin uap pada suhu 250° C, didapat maksimum terjadi pada kedua sirip turbin uap dengan nilai 0,955 W/mm².



Gambar 4.1 *Total Heat Flux*Inconel 718

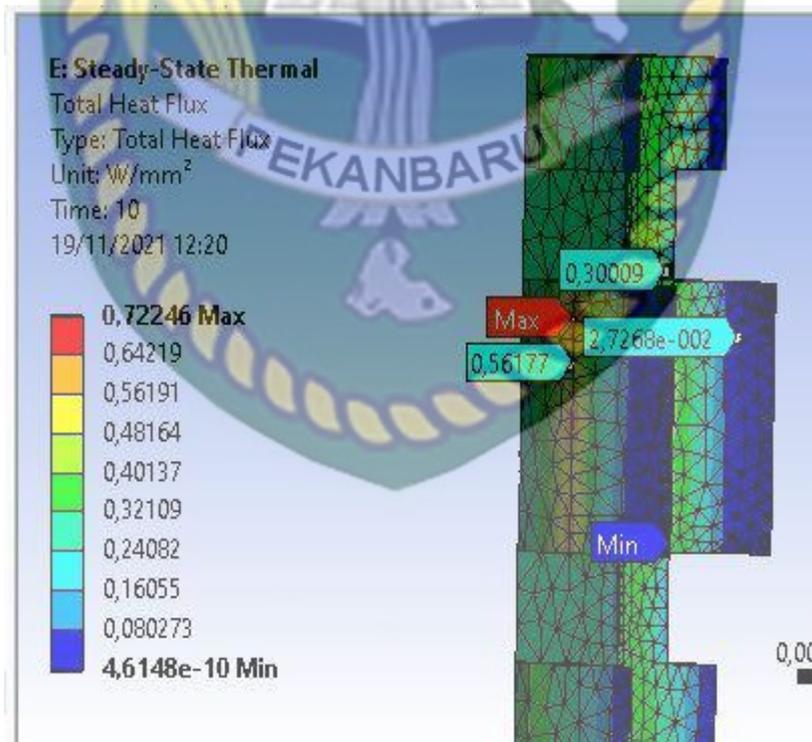
4.3.2 Steady State Thermal Material Inconel 625

Simulasi untuk material Inconel 625 hampir sama dengan material Inconel 718, sebelum melakukan simulasi harus diketahui *material properties* pada material Inconel 625. *Material Properties* dari Inconel 625 dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Material Properties* Inconel 625

| No | Material | Density (g cm ⁻³) | Yield Strength (MPa) | Poisson's Ratio | Bulk Modulus (Pa) |
|----|-------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------|
| 1 | Inconel 625 | 8,44 | 655 | 0,3 | 1,216x10 ¹¹ |

Setelah pemilihan material maka langkah selanjutnya adalah simulasi *Steady State Thermal* dengan penambahan panas yang terjadi sama dengan material inconel 718 yaitu 250° C. pada gambar 4.2 dapat dilihat *Total Heat Flux* yang terjadi pada turbin uap, didapat maksimum terjadi pada kedua sirip turbin uap dengan nilai 0,723 W/mm².



Gambar 4.2 *Total Heat Flux* Inconel 625

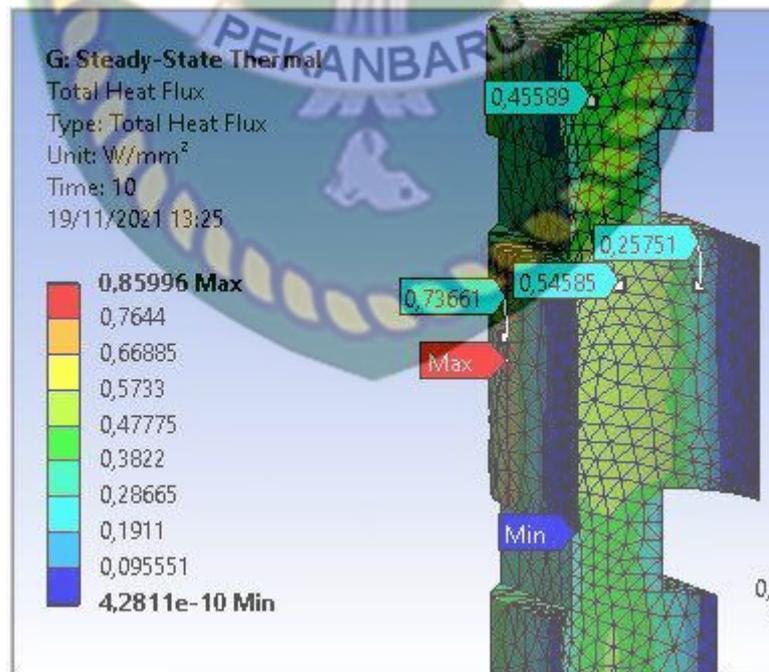
4.3.3 Steady State Thermal 316 Stainless Steel

Simulasi yang pertama dilakukan untuk material 316 stainless steel adalah *steady State Thermal*, dimana untuk memasukkan suhu yang sama dengan material sebelumnya yaitu 250⁰ C. penggunaan stainless steel 316 sangat jarang pada turbin uap dikarenakan mahalnya material tersebut. Material ini memiliki keunggulan akan katahanan pada korosi yang diakibatkan oleh air. Material *Properties* dari 316 Stainless Steel dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Material Properties* 316 Stainless Steel

| No | Material | Density (g cm ⁻³) | Yield Strength (MPa) | Poisson's Ratio | Bulk Modulus (Pa) |
|----|---------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 316 Stainless Steel | 7,96 | 225 | 0,3 | 1,3x10 ¹¹ |

Setelah pemilihan material maka langkah selanjutnya adalah simulasi *Steady State Thermal* dengan penambahan panas yang terjadi sama dengan material 316 Stainless Steel yaitu 250⁰ C. pada gambar 4.3 dapat dilihat *Total Heat Flux* yang terjadi pada turbin uap, didapat maksimum terjadi pada kedua sirip turbin uap dengan nilai 0,86 W/mm².



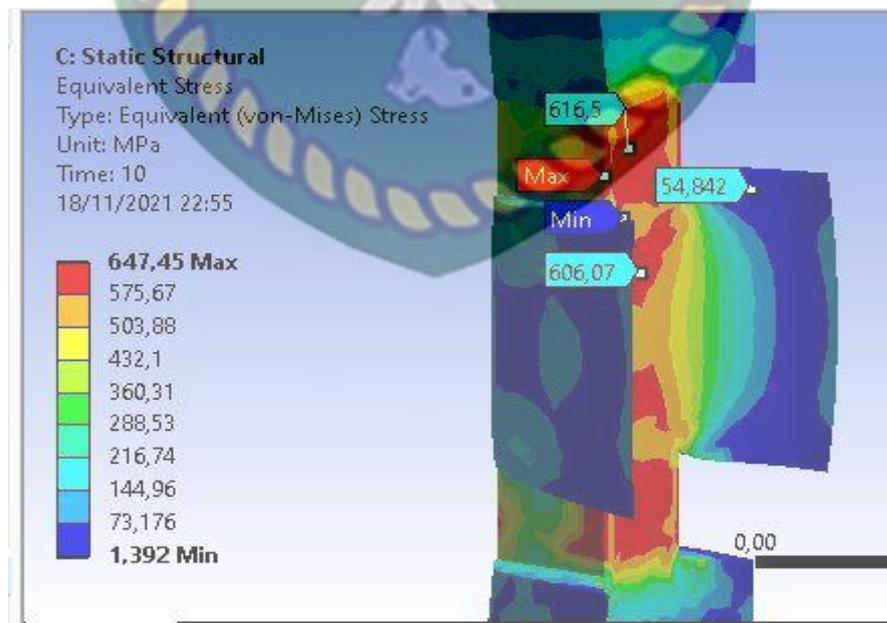
Gambar 4.3 *Total Heat Flux* 316 Stainless Steel

Setelah didapat nilai dari *steady state thermal* dan penambahan panas pada sudu turbin maka selanjutnya dilakukan simulasi *static structural*. Pada simulasi ini digunakan untuk menganalisa *Alternating stress von misses*, *Normal Stress* dan *Maximum Shear Stress*.

4.4 Simulasi *Alternating Stress Von Misses*

4.4.1 *Alternating Stress Material Inconel 718*

Pada simulasi *Alternating Stress* didapat nilai maksimum 647 MPa. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat pada leher sudu mengalami perubahan bentuk dari kontur warna. Sehingga secara aktual dari sudu yang didapat diperusahaan mengalami patah pada bagian leher sudu. Minimum *stress* pada sudu turbin tersebut adalah 73,2 Mpa. Pada simulasi ini dilakukan dengan menggunakan waktu 10 detik. Bisa dikatakan dalam waktu 10 detik sudu menerima maksimum nilai *alternating stress* sebesar 647 MPa dari nilai *yield strength* 648 Mpa, sehingga material untuk sudu turbin ini pada suhu 250⁰ C dikatakan tidak mengalami kegagalan, karena tidak melebihi dari nilai *yield strength* material Inconel 718. Tetapi nilai tersebut terlalu mendekati nilai *yield strength* yang ditentukan.



Gambar 4.4 *Alternating Stress* Inconel 718

4.4.2 Alternating Stress Material Inconel 625

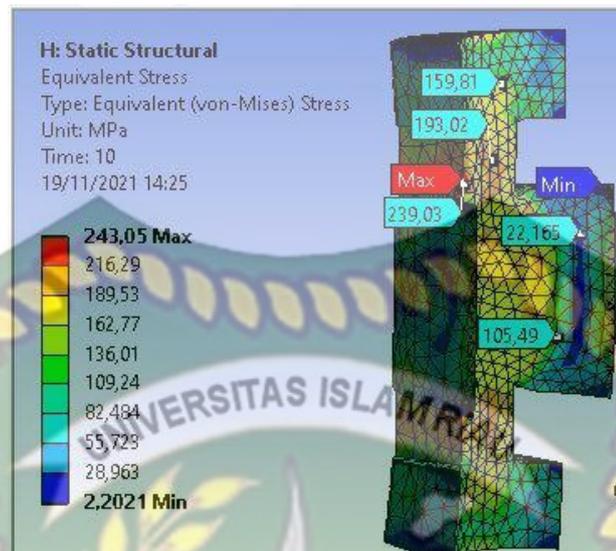
Pada simulasi alternating stress untuk material Inconel 625 didapat nilai maksimumnya adalah 648 MPa. Dapat dilihat dari simulasi perambatan terjadi pada leher sudu turbin kemudian merambat ke bagian badan dan sirip sudu turbin. Nilai yield strength pada material ini adalah 655 Mpa sedangkan hasil simulasi didapat 648 MPa, dapat dikatakan dengan menggunakan material inconel 625 sudu masih dikatakan aman. Simulasi Alternating stress dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Alternating Stress Inconel 625

4.4.3 Alternating Stress Material 316 Stainless Steel

Pada simulasi alternating stress untuk material 316 stainless steel didapat nilai maksimumnya adalah 243 MPa. Dapat dilihat dari simulasi perambatan terjadi pada bagian sirip sudu kemudian merambat ke leher sudu. Nilai yield strength pada material ini adalah 225 Mpa sedangkan hasil simulasi didapat 243 MPa, dapat dikatakan dengan menggunakan material 316 stainless steel dikatakan tidak aman karena melebihi dari nilai *yield strength* dari material tersebut. Simulasi Alternating stress dapat dilihat pada Gambar 4.6.

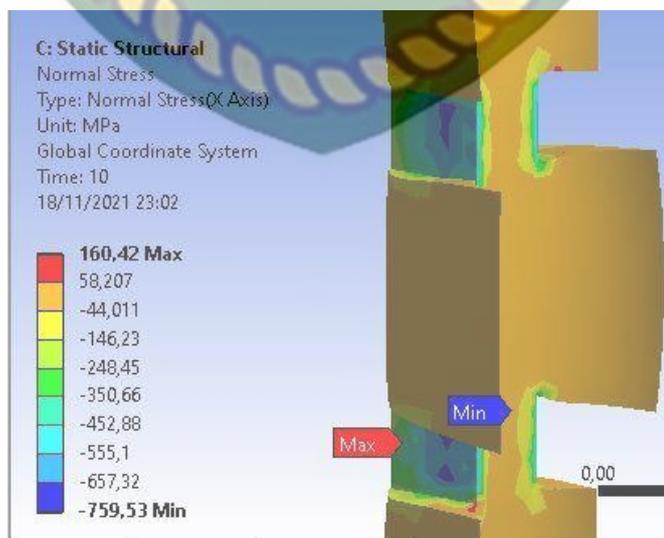


Gambar 4.6 Alternating Stress 316 Stainless Steel

4.5 Simulasi Normal Stress

4.5.1 Normal Stress Material Inconel 718

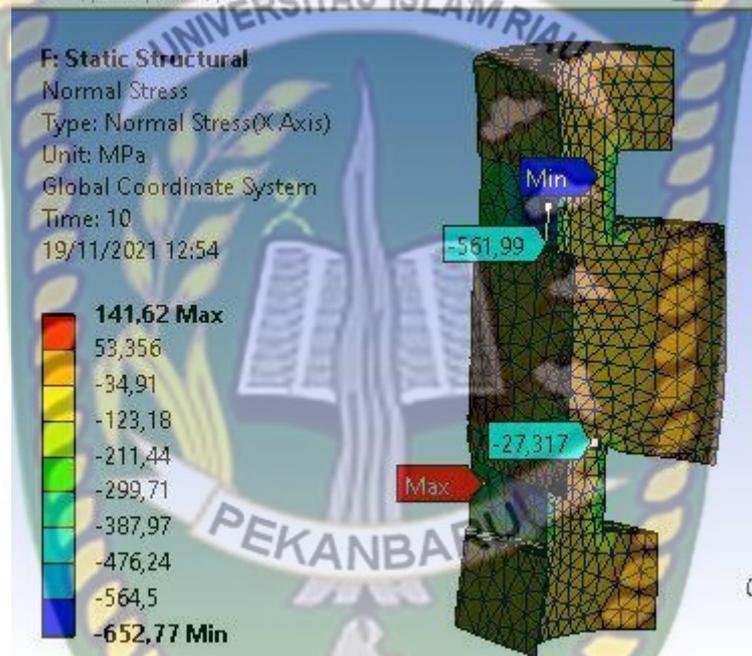
Simulasi selanjutnya adalah untuk mengetahui tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap. Nilai maksimum yang didapat untuk tegangan normal sudu adalah 160 MPa. Dari penjelasan alternating stress bisa ditentukan bahwa material dan beban yang diterima sudu tidak mengalami kegagalan. Pada gambar 4.7 dapat dilihat tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap terfokus pada leher sudu turbin uap.



Gambar 4.7 Normal Stress Inconel 718

4.5.2 Normal Stress Material Inconel 625

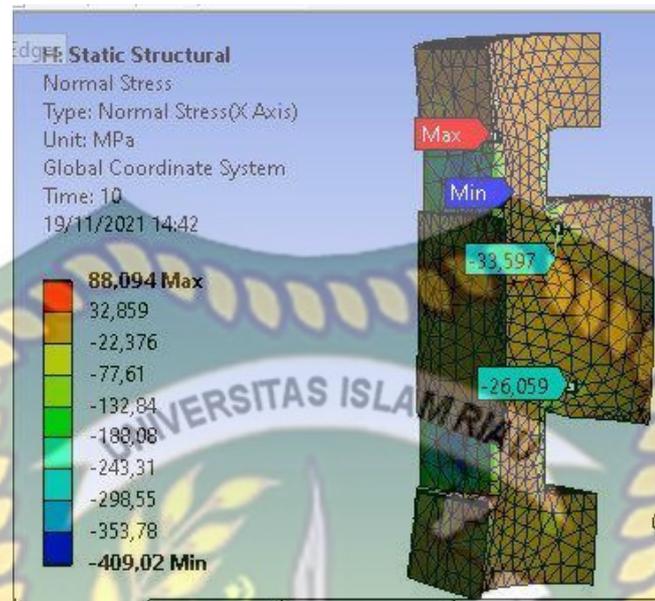
Selanjutnya adalah simulasi tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap dengan material inconel 625. Nilai maksimum yang didapat untuk tegangan normal sudu adalah 141 MPa. Dari penjelasan alternating stress bisa ditentukan bahwa material dan beban yang diterima sudu tidak mengalami kegagalan. Pada gambar 4.8 dapat dilihat tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap terfokus pada leher sudu turbin uap kemudian merambat ke sirip sudu.



Gambar 4.8 Normal Stress Material Inconel 625

4.5.3 Normal Stress Material 316 Stainless Steel

Selanjutnya adalah simulasi tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap dengan material 316 stainless steel. Nilai maksimum yang didapat untuk tegangan normal sudu adalah 88 MPa. Dari alternating stress sudu turbin dengan menggunakan material ini sudah dikatakan gagal. Pada gambar 4.9 dapat dilihat tegangan normal yang terjadi pada sudu turbin uap terfokus pada leher sudu turbin uap kemudian merambat ke sirip sudu.

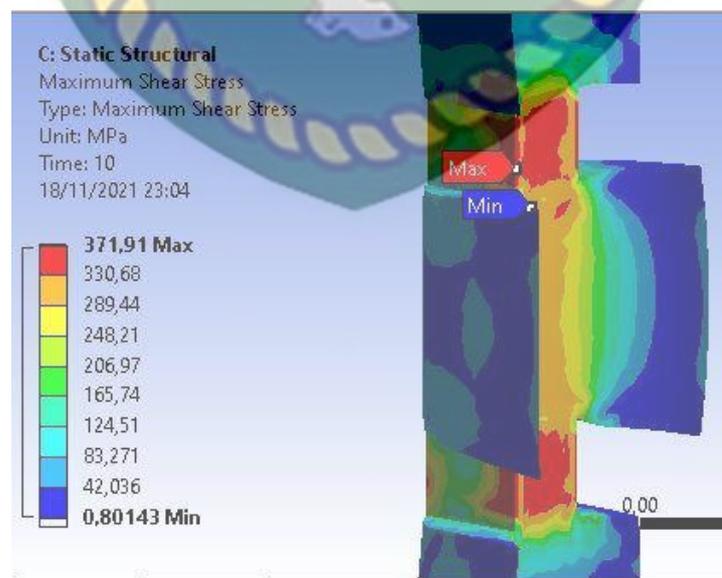


Gambar 4.9 Normal Stress Material 316 Stainless Steel

4.6 Simulasi *Maximum Shear Stress*

4.6.1 *Maximum Shear Stress* Material Inconel 718

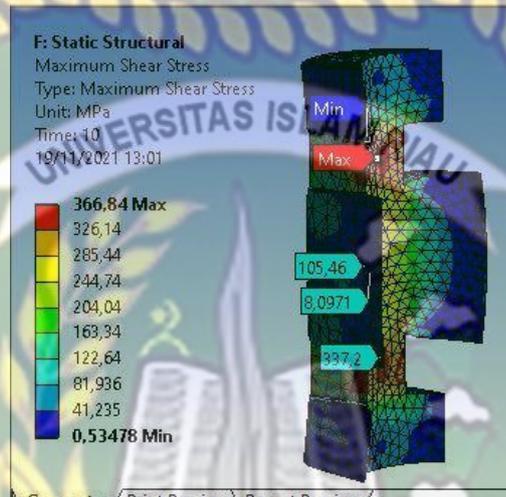
Selanjutnya adalah simulasi terakhir yaitu *Maximum Shear Stress* atau tegangan geser. Pada tegangan geser didapat nilai maksimumnya adalah 371 MPa. Pada gambar 4.10 dapat dilihat juga tegangan geser yang terjadi lebih besar pada leher sudu dan merambat kebagian belakang sudu.



Gambar 4.10 Tegangan Geser Material Inconel 718

4.6.2 Maximum Shear Stress Material Inconel 625

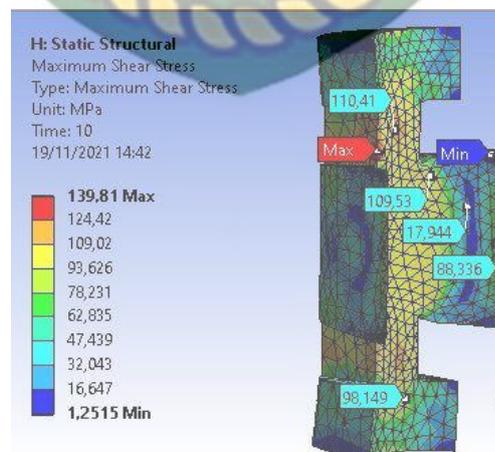
Selanjutnya adalah simulasi *Maximum Shear Stress* atau tegangan geser. Pada tegangan geser didapat nilai maksimumnya adalah 366 MPa. Pada gambar 4.11 dapat dilihat juga tegangan geser yang terjadi lebih besar pada leher sudu baian depan dan merambat ke bagian badan sudu turbin.



Gambar 4.11 Tegangan Geser Material Inconel 625

4.6.3 Maximum Shear Stress Material 316 Stainless Steel

Selanjutnya adalah simulasi *Maximum Shear Stress* atau tegangan geser. Pada tegangan geser didapat nilai maksimumnya adalah 139 MPa. Pada gambar 4.12 dapat dilihat juga tegangan geser yang terjadi lebih besar pada bagian depan sudu turbin kemudian merambat ke seluruh sudu turbin tersebut.



Gambar 4.12 Tegangan Geser Material 316 Stainless Steel

Dari simulasi tersebut dapat dilihat bahwa beban yang diterima sudu terlalu besar dari tegangan yield strength yang ditentukan, secara aktual dari lapangan sudu mengalami patah pada bagian leher sudu juga sama seperti simulasi yang mengalami tegangan yang besar pada bagian leher sudu. Untuk mengatasi hal tersebut beban yang diterima dari sudu haruslah stabil dan tidak melebihi batas.

4.7 Hasil Analisa

Dari hasil analisa *steady state thermal* dan *static structural* untuk 3 jenis material yang dipakai pada turbin uap dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi *Steady State Thermal* dan *Static Structural*

| No | Material | Simulasi | | | |
|----|---------------------|-------------------------|--------------------|---------------|----------------|
| | | Steady State Thermal | Static Structural | | |
| | | Total Heat Flux | Alternating Stress | Normal Stress | Tegangan Geser |
| 1 | Inconel 718 | 0,955 W/mm ² | 647 MPa | 160 MPa | 371 MPa |
| 2 | Inconel 625 | 0,723 W/mm ² | 648 MPa | 141 MPa | 366 MPa |
| 3 | 316 Stainless Steel | 0,86 W/mm ² | 225 MPa | 88 MPa | 139 MPa |

Dari hasil simulasi ketiga material di dapat material Inconel 625 yang cocok menggantikan material sudu turbin yang dipakai yaitu Inconel 718, karena inconel 625 didapat alternating stressnya tidak terlalu tinggi untuk *yield strength* yang ditentukan dari material tersebut yaitu 648 MPa dari alternating stress 655 MPa, sedangkan material Inconel 718 didapat alternating stressnya 647 MPa dari *yield strength* 648 MPa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi untuk sudu turbin uap maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Material sudu turbin uap yang aman digunakan pada suhu 250°C adalah material Inconel 625 dikarenakan nilai Alternating stress didapat tidak melebihi nilai *yield strength* yang ditentukan oleh material tersebut.
2. Kerusakan yang terjadi pada sudu dimulai dari bagian leher sudu turbin uap kemudian merambat ke bagian badan sudu. Akibat panas masuk sebesar 250°C dan beban yang besar mengakibatkan patahnya sudu dibagian lehernya.
3. *Equivalent alternating stress* untuk material Inconel 718 adalah 647 MPa, Inconel 625 adalah 648 MPa, dan 316 Stainless Steel adalah 225 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Diharapkan penelitian selanjutnya menggunakan ANSYS Fluida atau CFD (*Computing Fluid Dynamic*) untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat mengenai tekanan yang terjadi pada sudu.
2. Penggunaan elemen hingga ansys memerlukan komputer yang memadai karena menghitung secara komputasional

DAFTAR PUSTAKA

- Alekhya, M. N. V, Prasad, N. D. V. S., and Rao, P. V. S., 2018, "Modeling and Analisisi Of Steam Turbine Blade," pp. 1865–1875.
- Indriani, A., Hendra, Kurniawan, A., and Herawati, A., 2013, *Rancang Bangun Dan Pembuatan Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Metode Elemen Hingga Berdasarkan Posisi Bentuk Sudu Screw Pump.*
- Irfansyah, A., 2018, "Hingga, Analisa Numerik Bilah Kipas Mesin Turbodan TAY650-15 Yang Mengalami Retak Menggunakan Metode Elemen," pp.
- Wibawa, L. A. N., 2018, "Analisis Ketahanan Beban Dinamis MAterial Turbin Angin Terhadap Kecepatan Putar Rotor (RPM) Menggunakan Metode Elemen Hingga," 9(2), pp. 803–808.
- Sameezadeh, M., 2012, "Fracture Analysis of GeneratorFan Blades," pp. 312–328.
- Lafta, H. S., 2014, "Finite Element Analysis of a Gas Turbine Rotor Blade," 03(20), pp. 4173–4180.
- Babu, C. R., 2014, "Thermal Stress Analysis of a Gas Turbine Casing Using F E A,"11(4), pp. 32–37.
- Theju, V., Uday, P. S., Reddy, P. L. V. G., and Manjunath, C. J., 2014, "Design and Analysis of Gas Turbine Blade," 3(6), pp. 13533–13539.
- Rachmanu, F., 2016, "Desain Ulang Kekuatan Sudu Turbin Gas Saturn-20 Akibat Gaya Sentrifugas Dengan Metode Elemen Hingga," 2(1).
- Arismunandar, Wiranto.,1997, Penggerak Turbin, ITB Bandung.
- Tarmizi. (2011). Analisa Kerusakan Sudu Turbin Gas Material Udimet 500 Kapasitas 50 MW. M.I. Mat. Kons, 11 (2), 98-104.