



Simulasi *Thermal-Struktur Blade Stage* Satu Turbin *Geothermal*

Thermo-Structural Simulation of Stage One Blade Geothermal Turbine

Freddy Marpaung*, Rudias Harmadi dan Arli Guardi

PTIP-BPPT, Building 251, Puspitek Serpong, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
12/11/2020
Direvisi:
08/01/2021
Disetujui:
20/01/2021

Abstract

Condensing type geothermal turbine is a mechanical device that used to convert thermal energy into mechanical energy, then after converted to electrical energy in the generator by the rotation of the rotor's magnetic field. Development of blade material for geothermal turbine application which using local content is crucial due to the blade's turbine are 100% imported. So, efforts to produce blade material with high local content are very strategic to support national energy independence in the future. The Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT) started from 2020 until 2023 will focus on the development of the blade material for geothermal turbine application. As a starting point of the research, modelling and virtual testing of the stage-1 blade turbine were performed. In this study, the model is done in CATIAV5 software. Solid model is then imported to ANSYS workbench 15.0. Thermal-Structural analysis of turbine blade using the Stainless steel-based alloy with the ANSYS workbench 15.0 was carried out. In the thermal analysis, the model is given temperature, convective heat flux transfer coefficient and atmosphere gas temperature and then is solved for the heat flux distribution over the blade surface. The obtained heat flux distribution is taken as the thermal load into the Static structural analysis. In the static structural, the obtained model is given structural load, namely centrifugal force. The model is then conducted virtual testing in order to obtain stresses and deflections. The results showed that the model of stage one blade turbine is safe when operating at the determined loads.

Keywords: ANSYS, CATIA, turbine blade, stainless steel

Abstrak

Turbin uap geothermal tipe condensing merupakan salah satu peralatan mekanik yang berfungsi untuk merubah energy panas menjadi energy mekanik, selanjutnya dirubah menjadi energy listrik pada generator melalui rotasi medan magnet rotor. Pengembangan komponen material turbin dengan menggunakan komponen lokal sangat penting dilakukan dikarenakan material untuk pembuatan komponen turbine blade tersebut masih 100% import. Sehingga upaya untuk memproduksi material blade turbin geothermal sangat strategis dalam mendukung kemandirian energy nasional di masa yang akan datang. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dimulai sejak tahun ini hingga tahun 2023 akan mengembangkan material turbin PLTP condensing. Sebagai tahap awal dari kegiatan tersebut dilakukan pemodelan dan pengujian virtual beban material turbin stage-1. Dalam studi ini, blade turbin stage-1 dimodelkan dengan menggunakan software CATIAV5. Selanjutnya model tersebut di import ke ANSYS workbench 15.0. Analisis thermal dan struktur blade turbin berbahan dasar baja stainless steel dilakukan dengan menggunakan software ANSYS 15.0. Pada analisa thermal, model diberikan temperatur, koefisien perpindahan panas konvektif, dan temperatur lingkungan untuk selanjutnya diperoleh distribusi heat flux pada permukaan blade. Distribusi heat flux yang diperoleh digunakan sebagai beban thermal pada analisa struktur statis. Dalam struktur statis, model diberikan beban struktur yaitu gaya sentrifugal. Model tersebut kemudian diuji secara virtual untuk mengetahui tegangan dan deformasi yang terjadi. Dari hasil analisis diperoleh gambaran bahwa model material blade stage 1 bekerja dengan aman ketika dioperasikan pada kondisi pembebanan yang telah ditentukan.

Kata Kunci: ANSYS, CATIA, turbine blade, stainless steel.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 813 8048 0989
email : freddy.marpaung@bppt.go.id

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan energi listrik meningkat secara eksponensial dikarenakan peningkatan jumlah populasi, pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya kebutuhan kendaraan. Hingga saat ini sumber pembangkit listrik masih didominasi oleh bahan bakar fosil (minyak, gas alam dan batubara), diikuti oleh *renewable energy* dan nuklir (Robert, 2021). Dimana apabila kondisi ini tidak dikendalikan maka akan menyebabkan cadangan sumberdaya alam non-renewable semakin menipis yang diperkirakan akan bertahan sekitar 100 tahun dari sekarang (World Energy Council, 2016). Dalam memenuhi kebutuhan listrik global, banyak usaha telah dilakukan oleh para ilmuwan diseluruh dunia dalam pengembangan sumber energy terbarukan seperti pembangkit panas bumi, hydropower, tenaga angin, dan lain-lain. Pengembangan energy terbarukan menarik perhatian dikarenakan berpotensi menurunkan pemakaian bahan bakar fosil serta mengurangi bahaya yang ditimbulkan terhadap lingkungan.

Indonesia sebagai Negara yang memiliki banyak gunung berapi aktif yang tersebar mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Sulawesi and Maluku. Dengan potensi cadangan sebesar 28,91 GW energy geothermal menjadikannya menarik sebagai sumber energy untuk meningkatkan kapasitas listrik nasional (Pambudi, 2018). Salah satu tantangan yang menjadi perhatian dari para peneliti di Indonesia saat ini adalah pengembangan komponen-komponen turbin geothermal seperti blade, rotor dan stator yang umumnya masih import dari luar negeri. Oleh karena itu riset pengembangan teknologi material blade turbin penting untuk dikuasai agar mengurangi ketergantungan dari luar negeri.

Umumnya dalam pengembangan material blade turbin, langkah awal yang dilakukan adalah proses design dari material turbin dan pengujian melalui simulasi pembebanan yang akan diterima oleh turbin untuk memastikan bahwa material yang didesain tersebut aman ketika dioperasikan

pada kondisi operasi yang ditentukan (Eugene dan Prescott, 2021). Suatu desain yang baik pada turbin blade terdiri dari penentuan beban steady yang bekerja pada blade dan tegangan yang diakibatkannya, penentuan beban steady dikarenakan interaksi flow pada masing-masing stage, penentuan karakteristik geometri dari analisis dinamik gas, penentuan frekuensi natural dan mode shapes, penentuan beban dinamis dan estimasi umur berdasarkan teori fatik kerusakan kumulatif (Soares, 2014). Studi analisis thermal dan uji statis menggunakan software ANSYS dilakukan pada tiga jenis material blade untuk aplikasi turbin uap, yaitu material *haste alloy*, baja chrome, dan baja inconel 600 (Alekhya, 2018). Dari studi tersebut disimpulkan bahwa material *haste alloy* merupakan yang paling tepat untuk aplikasi blade turbin uap dikarenakan material tersebut memiliki deformasi dan tegangan terendah untuk beban thermal dan struktur yang sama dibandingkan dengan jenis material lainnya. Selain itu *haste alloy* tersebut menunjukkan distribusi temperature dan heat flux yang lebih tinggi. Studi sejenis juga dilakukan dengan membandingkan tiga jenis material blade turbin uap, yaitu paduan titanium, paduan nikel dan paduan aluminium. Dimana permukaan blade ditambahkan lubang-lubang berukuran 0.5 mm yang dilapisi dengan material tahan temperature tinggi. Selanjutnya beban steady state thermal dan beban statis diberikan. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa material blade berbasis titanium lebih superior dibandingkan yang lainnya. Selain itu penambahan lubang-lubang pada permukaan blade efektif untuk mengurangi panas disipasi (Devarmani and Ramesh, 2018)

Pada studi ini fokus kajian yang dilakukan adalah simulasi pembebanan blade turbin stage 1 menggunakan material baja stainless 420, lingkup analisa yang dilakukan adalah analisis *steady state thermal* dan *static structural* dengan menggunakan software ANSYS 15.0. Pengujian virtual pada artikel ini digunakan untuk memperoleh informasi terkait dengan perilaku model *blade* yang di desain dikondisikan bekerja

pada beban thermal dan struktur yang ditentukan.

2. METODOLOGI

Perhitungan Beban

Pendekatan yang dilakukan dalam melakukan perhitungan beban sebagai berikut (Durga dan Sai, 2015):

$$F = mr\omega^2 \tag{1}$$

Dimana:

- F : Gaya sentrifugal (N)
- m : massa blade (kg)
- r : Jari-jari blade (m)
- ω : Kecepatan angular

Misalkan diambil segment terkecil dari massa blade (δm) memiliki lebar (δr) pada jarak r dari pusat rotor disc (lihat gambar 1), maka persamaan gaya sentrifugal pada segmen kecil ini menjadi:

$$\delta F = \delta m r \omega^2 \tag{2}$$

Blade memiliki penampang melintang A (mm^2) dan massa jenis ρ (kg/mm^3) sehingga kita dapat menulis massa dari elemen tersebut sebagai berikut:

$$\delta m = \rho A \delta r \tag{3}$$

Dimana:-

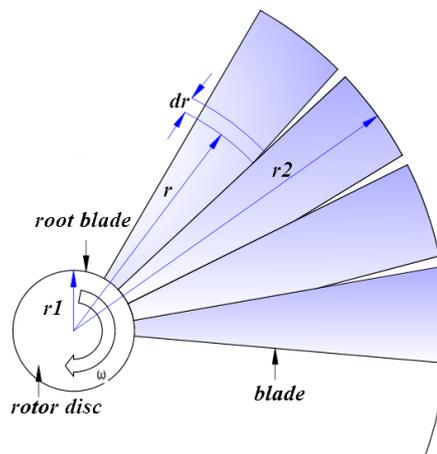
- ρ : massa jenis (kg/m^3)
- A : luas permukaan blade (m^2)

Sehingga Persamaan 2 dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \delta F &= (\rho A \delta r) r \omega^2 \\ \delta F &= (\rho A \omega^2) r \delta r \\ F &= \rho A \omega^2 \int_{r_1}^{r_2} r dr \end{aligned} \tag{4}$$

Kondisi Operasi Turbin

Turbin blade stage 1 kelompokkan atas dua bagian yaitu pada sisi inlet dan outlet. Pada sisi inlet, temperature $174,1^\circ\text{C}$, tekanan $6,09$ bara, sementara pada sisi outlet tekanan sebesar $0,15$ bara dan temperature lingkungan $49,5^\circ\text{C}$. Jumlah blade pada stage 1 sebanyak 114 buah. Turbin dioperasikan pada 6477 RPM.



Gambar 1. Penyederhanaan dimensi blade (Durga dan Sai, 2015)

Sifat-Sifat Material

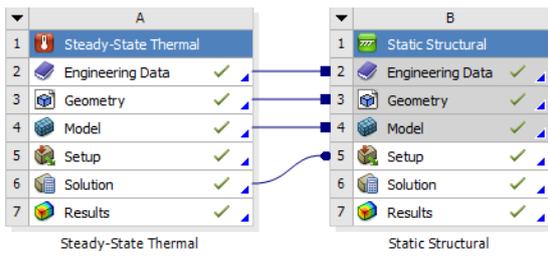
Dalam pemodelan blade digunakan material baja (SS 420) dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Material properties blade stage 1 (Durga dan Sai, 2015)

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Density	7850	kg/m^3
2	Modulus Young	200	Gpa
3	Poisson's ratio	0,3	
4	Yield strength (σ_y)	760	Mpa
5	Kekuatan tarik (σ_u)	930	MPa
6	Koefisien film konveksi	0,0025	$\text{W}/\text{mm}^2\text{C}$
7	Konduktivitas thermal	22	W/mK
8	Kapasitas panas spesifik	460	J/kgK

Prosedur Analisis di ANSYS

Komponen blade turbine stage 1 di desain dengan menggunakan software *CATIA workbench* selanjutnya diimport kedalam *ANSYS workbench* dengan memilih modul *steady state thermal analysis*. Selanjutnya beban thermal tersebut diimport ke dalam modul *Static structural*. Prosedur seperti ini lebih dikenal dengan istilah analisa struktur thermal dua-fasa (*Two-Phase Coupled Thermal-Structural Analysis*). Mekanisme tahapan prosedur di Ansys dijelaskan pada gambar 2.

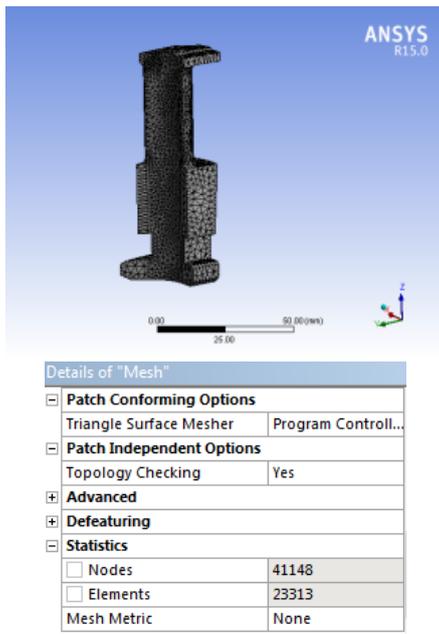


- Material properties
- Create atau import geometri
- Model (apply meshing)
- Setup (Boundary conditions)
- Solution
- Results

Gambar 2. Prosedur analisis pada Ansys

Steady State Thermal Analysis

Analisis Steady State Thermal Analysis (SSTA), ($\partial T/\partial t = 0$) digunakan untuk menghitung pengaruh dari beban thermal pada system atau komponen pada periode waktu tertentu dapat diiadakan. Modul ini digunakan untuk menentukan temperature, gradient temperature, laju aliran panas dan heat flux dalam suatu objek yang tidak berpengaruh terhadap waktu (Bhargav dkk, 2017). Proses meshing blade stage 1 adalah 41148 Nodes, elements 23313 seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Meshing blade stage 1

Static Structural Analysis

Static Structural Analysis (SSA) digunakan untuk menghitung tegangan, displacement, regangan (strain) dan gaya

dalam struktur yang diakibatkan oleh beban yang tidak menginduksi efek inersia dan damping yang signifikan. Beban steady dan dan respon struktur diasumsikan berubah secara perlahan terhadap waktu. Dalam simulasi ini jenis beban yang diberikan adalah tekanan yang diterima oleh blade.

Boundary condition untuk steady state thermal analysis

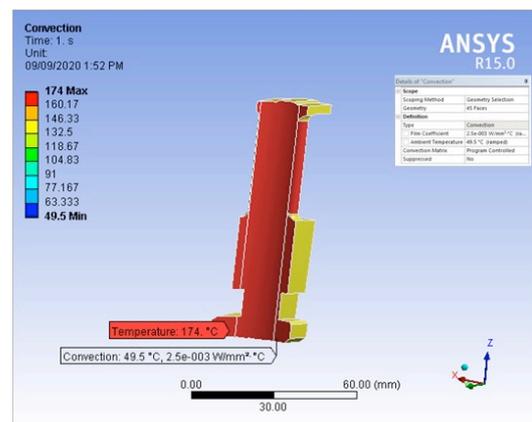
Simulasi perpindahan panas konveksi umumnya sangat tergantung terhadap mekanisme konveksi apakah bersifat alami atau akibat adanya driving force dari luar. Pada perpindahan panas konveksi bersifat alami perpindahan panas terjadi dikarenakan adanya perbedaan specific gravity antara fluida yang panas dengan air. Sementara dalam artikel ini menggunakan forced convection yaitu fluida panas (steam) bertekanan dialirkan mengelilingi permukaan blade seperti pada gambar 4.

Koefisien forced convection sangat bergantung pada jenis medium seperti udara, uap, air, oli yang mengelilingi solid body. Pada simulasi ini dimodelkan temperature surface sebesar (T_{surface}) sebesar 174°C, Temperatur ambient 49,5°C dan koefisien film (h) sebesar 0,0025 W/mm²°C. Berikut persamaan yang digunakan dalam menentukan convective heat flux:

$$Q = h A (T_{surf} - T_{ambient}) \quad (4)$$

Dimana:

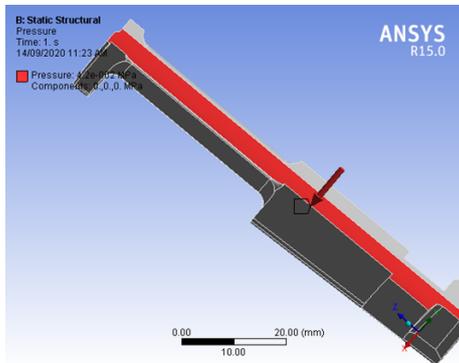
- Q : Convective heat flux (W/m²)
- h : film coefficient
- A : Surface area



Gambar 4. Boundary condition untuk kondisi steady state thermal

Boundary condition untuk *Static structural analysis*

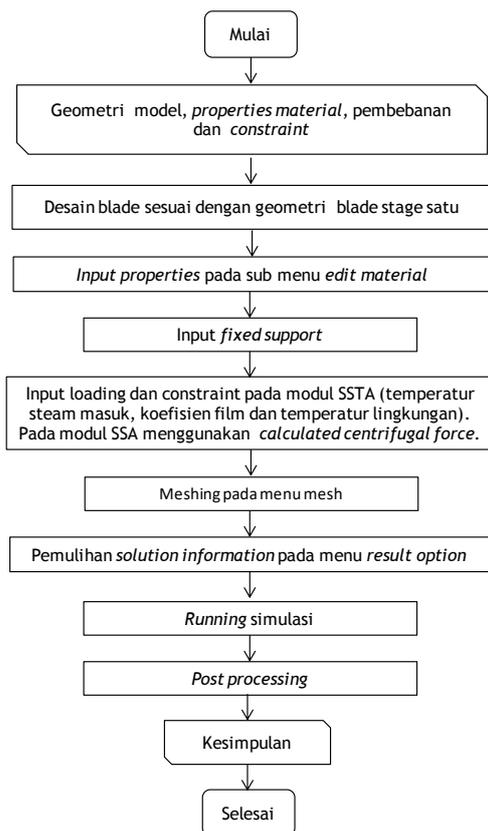
Dalam analisis statis ini permukaan bagian bawah menjadi *fixed support* setelah tekanan diberikan pada permukaan *blade* seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Boundary condition pada *static structural*

Diagram Alir Simulasi

Diagram alir simulasi pengujian virtual dengan menggunakan ANSYS R15.0 ditunjukkan pada gambar 6.

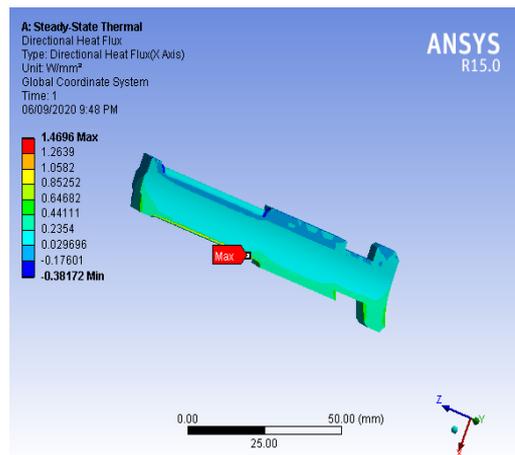


Gambar 6. Diagram alir simulasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

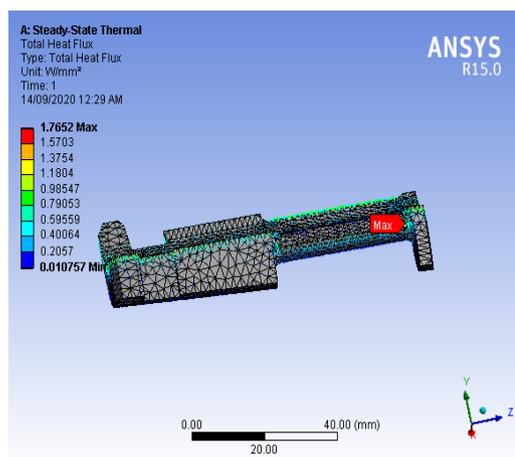
Kondisi *Steady State Thermal*

Pada simulasi perpindahan panas dengan menggunakan perangkat software ANSYS modul *Steady State Thermal analysis*. Data yang diperoleh adalah *heat flux* dan distribusi temperature pada permukaan *blade*. *Heat flux* didefinisikan sebagai laju *transfer energy* panas melalui suatu permukaan dan keluar melalui permukaan yang lain.



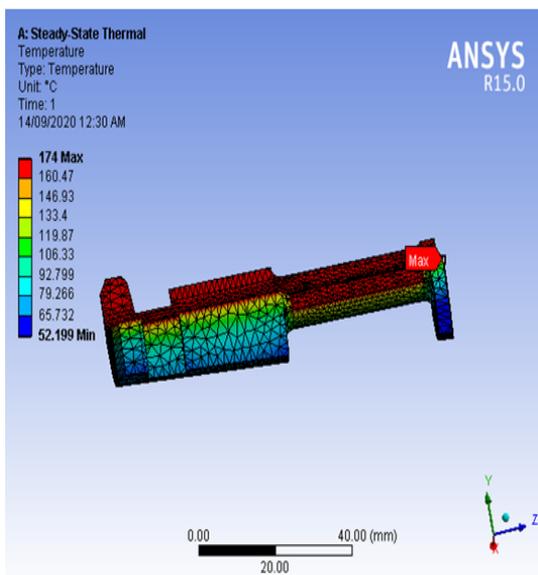
Gambar 7. Directional heat flux

Heat flux juga dapat digambarkan sebagai vector dan dapat diplotkan menggunakan panah (Gambar 7). Heat flux bersifat tangential terhadap permukaan luar dari solid body (material blade), hal ini mengindikasikan bahwa arah aliran panas akan menuju permukaan temperature yang lebih rendah, sesuai dengan Gambar 8.



Gambar 8. Total heat flux

Pada Gambar 7 dapat dilihat besar heat flux pada arah sumbu X, dimana directional heat flux tertinggi sebesar 1.4696 W/mm^2 dan directional heat flux terendah sebesar -0.3817 W/mm^2 . Sementara untuk total heat flux tertinggi sebesar 1.7652 W/mm^2 dan terendah sebesar $0,010757 \text{ W/mm}^2$. Gambar 9 menunjukkan profil distribusi temperature permukaan blade untuk kondisi steady state, sehingga temperature tertinggi terjadi pada permukaan sisi inlet dari blade stage 1 yaitu sebesar 174°C , kemudian mencapai kondisi kesetimbangan pada temperatur 52.2°C .



Gambar 9. Distribusi temperatur

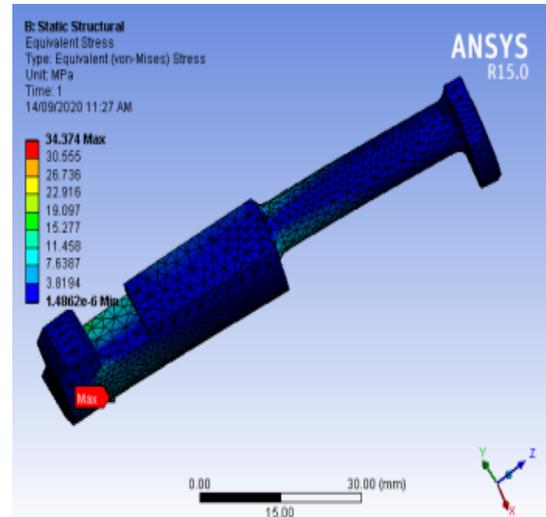
Temperatur kesetimbangan merupakan suatu kondisi dimana temperature system sama dengan temperature lingkungan. Temperatur akhir hasil simulasi virtual tersebut mendekati kondisi operasi aktual turbin uap geothermal yaitu sebesar $49,5^\circ\text{C}$.

Analisa Static Structural

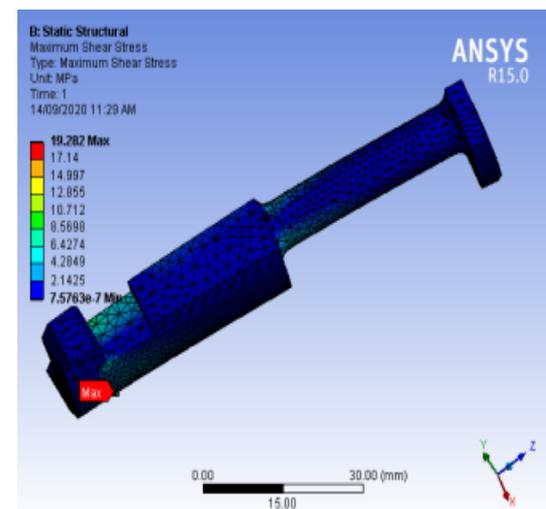
Pada simulasi static structural dengan menggunakan beban thermal dari modul Steady State Thermal Analysis dan beban pressure dari uap pada sisi inlet permukaan blade. Equivalent von-Missess stress digunakan untuk memperkirakan kriteria kegagalan luluh pada materil yang ulet serta banyak juga digunakan dalam perhitungan kekuatan fatik {Mises' Criterion, #22}.

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum (equivalent stress) yang diterima blade stage 1 adalah 34.374 MPa .

Tegangan tersebut jauh dibawah allowable stress (760 MPa). Demikian halnya dengan tegangan geser (shear stress) yang diterima oleh permukaan blade turbin tersebut sebesar 19.282 MPa (Maksimum), nilai tegangan geser tersebut juga jauh dibawah criteria luluh Tresca {Mises' Criterion, #22}.

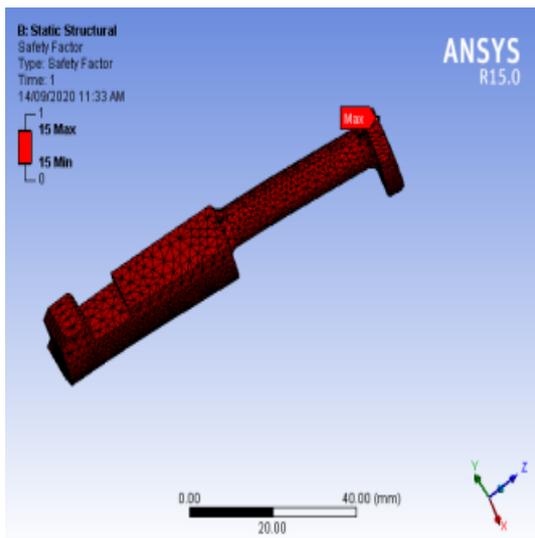


Gambar 10. Equivalent stress pada blade stage 1

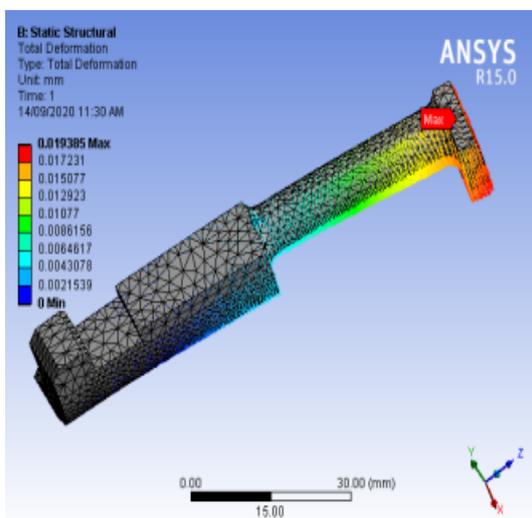


Gambar 11. Shear stress pada blade stage 1

Pada gambar 12 diatas dapat dilihat safety factor material blade pada model pembebanan tersebut. Besarnya safety factor adalah 15, mengindikasikan bahwa dengan model blade tersebut dan kondisi operasi yang telah ditentukan, material tersebut akan bekerja dengan aman. Hal ini juga didukung dengan data deformasi von misses (Gambar 13) yang terjadi sangat rendah yaitu sebesar 0.019385 mm .



Gambar 12. Safety factor blade stage 1



Gambar 13. Total deformation blade stage 1

4. SIMPULAN

Sifat mekanik stainless steel yang baik seperti kekuatan yang tinggi, tahan korosi dan temperature tinggi yang menjadikan dasar pemilihan material ini untuk digunakan sebagai model turbin uap geothermal. Ketika beban sebesar 38916.7 N diberikan pada turbin blade stage 1 maka tegangan von-Mises dan deformasi von-Mises diperoleh. Selain itu juga diperoleh tegangan geser maksimum dan safety factor. Tegangan von-misses dan tegangan geser maksimum yang terjadi adalah 34.374 MPa dan 19.282 MPa. Besarnya deformasi yang terjadi adalah 0.019385 mm (maksimum). Dengan mempertimbangkan hasil simulasi ini, maka

blade yang terbuat dari SS 420 diperkirakan akan aman ketika dioperasikan pada kondisi operasi tersebut. Hal ini dikarenakan tegangan kerja jauh lebih kecil dibandingkan dengan allowable stress dari material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alekhya, S. P. (2018) 'Modeling And Analysis of Steam Turbine Blade', *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5(04).
- Bhargav, R. et al. (2017) 'Structural and Thermal Analysis of Steam Turbine Blade Using FEM'. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Structural-and-Thermal-Analysis-of-Steam-Turbine-Bhargav/5beee9faa689e8c3ef7c5eb63af951372db61d10>.
- Devarmani, R. S. and Ramesh, K. (2018) 'Design and Thermal Analysis of Steam Turbine Blade', *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(8), pp. 1644-1650.
- Durga, K. S. N. and SAI, D. (2015) 'Design and Analysis of Steam Turbine Blade using FEA', *international journal of scientific engineering and technology research (ijsetr)*, 4(29), pp. 5661-5665.
- Eugene, A. C. and Prescott, E. (2021) *Steam Turbine Blade Reverse Engineering, Upgrade and Structural Design*. Available at: <https://www.powermag.com/steam-turbine-blade-reverse-engineering-upgrade-and-structural-design> (Accessed: 10 January 2021).
- Pambudi, N. A. (2018) 'Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 2893-2901. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>.
- Robert, H. W. (2021) *Fossil Energy*. Available at: https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter12_fossils_lowres (Accessed: 10 January 2021).
- Soares, C. (2014) *Gas Turbines: A Handbook of Air, Land and Sea Applications*. Edited by Butterworth-Heinemann. USA: Elsevier Science & Technology Books.
- World Energy Council (2016) *World Energy*

Resources 2016, World Energy Council.
Available at:
<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-resources-2016> (Accessed: 12 October 2020).