

Simulasi Remaining Life Low Pressure Rotating Blade PLTU Batubara 600 MW**Fazar Maulidia¹⁾, Mohammad Azis Mahardika¹⁾, Meilinda Nurbanasari¹⁾, Abdurrachim²⁾**¹⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Itenas Bandung
Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124²⁾Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pasundan
Jl. Setiabudhi 193, Bandung 40153
e-mail : fazar.maulidia@mhs.itenas.ac.id*Received 17 Juli 2024 | Revised 20 Agustus 2024 | Accepted 31 Agustus 2024***ABSTRAK**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara merupakan jenis pembangkit yang memanfaatkan energi kinetik dari uap panas dalam bumi untuk diubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Pada tahun 2024 turbin PLTU batubara dengan kapasitas 600 MW dilakukan pengecekan pada turbin LP-2 dan ditemukan *crack* pada 11 *blade* L-1 yang telah beroperasi selama lebih kurang 27 tahun. Retak pada *blade* diduga akibat *fatigue* yang diakibatkan beban dinamis yang diterima oleh *blade*. Tujuan penelitian ini untuk menentukan sisa umur pakai *blade* pada kondisi normal, *startup* dan *shutdown*, serta *blade* yang telah mengalami *crack*. Untuk mengetahui sisa umur pakai *blade* yang mengalami *crack* dilakukan simulasi dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis*. Hasil simulasi menunjukkan (1) Sisa umur pakai dari 11 *blade* yang dianalisa memiliki nilai 0, yang berarti tidak dapat digunakan karena sudah memasuki zona *fracture*. (2) Turbin tidak bisa dioperasikan dalam kondisi *blade* yang mengalami retak.

Kata kunci: PLTU Batubara, *blade*, *crack*, *fatigue*, *finite element analysis*.**ABSTRACT**

Coal-fired power plant is a type of power plant that utilizes kinetic energy from hot steam in the earth to be converted into mechanical energy by turbines and converted into electrical energy by generators. In 2024, a coal-fired power plant turbine with a capacity of 600 MW was checked on the LP-2 turbine and cracks were found on 11 L-1 blades that had been operating for approximately 27 years. Cracks in the blade are thought to be due to fatigue caused by dynamic loads received by the blade. The purpose of this study is to determine the remaining blade life under normal, startup and shutdown conditions, as well as blades that was experienced cracks. To determine the remaining service life of the blade that has cracked, a simulation is carried out using the Finite Element Analyses method. The simulation results show (1) The remaining service life of the 11 blades analyzed has a value of 0, which means that it cannot be used because it has entered the fracture zone. (2) The turbine cannot be operated in a cracked blade condition.

Key words: *Coal-fired power plant, blade, crack, fatigue, finite element analysis*

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang memanfaatkan sumber daya batubara sebagai bahan bakar utamanya, perubahan energi yang terjadi pada pembangkit diawali dengan proses pembakaran yang menghasilkan uap panas (energi thermal) kemudian dari uap yang telah dikumpulkan dalam drum ketel kemudian disalurkan ke dalam turbin uap untuk diubah menjadi energi mekanik oleh turbin, dan energi mekanik akan diubah menjadi energi listrik oleh generator [1],[2]. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan kapasitas sebesar 600 MW terbagi menjadi tahap yaitu *high pressure*, *intermediate pressure* dan *low pressure* [3].

Turbin *low pressure* merupakan turbin yang beroperasi pada tekanan uap yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin *high pressure*. Turbin *low pressure* mengalami kondensasi sehingga terdapat air di dalam aliran uap. Dari beberapa hasil penelitian telah menunjukkan bahwa sudu pada turbin tekanan rendah umumnya ditemukan kegagalan [4],[5]. Turbin yang telah berumur selama 27 tahun ditemukan adanya retak pada 11 *blade* dengan kedalaman 8,7-91 mm di stage large-1 (L-1) turbin *low pressure* 2 (LP2) pada saat dilakukan maintenance. Pada Gambar 1 menunjukkan salah satu *blade* yang mengalami retak. *blade* terdiri atas 3 bagian yaitu *root blade*, *air foil*, dan *tenon*. Posisi terjadinya retak berada pada bagian *root blade* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Bagian-bagian blade (b) Panjang crack (c) Kedalaman crack

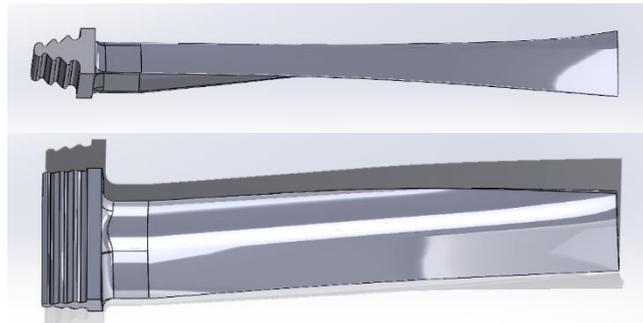
Gambar 1 (a) menunjukkan blade yang akan di investigasi dan bagian blade yang mengalami retak, Gambar 1 (b) menunjukkan garis kuning yang menandakan panjang retak, dan Gambar 1 (c) pada garis kuning menunjukkan kedalaman retak yang terjadi pada *root blade*. Pengoperasian kembali dengan blade yang telah mengalami retak memiliki resiko yang cukup besar, di antaranya adalah kemungkinan terjadinya fracture pada blade yang dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan metoda *finite element analysis* (FEA) untuk menentukan sisa umur *blade* pada kondisi normal, kondisi *startup* dan *shutdown*, serta *blade* yang mengalami retak.

2. Metodologi

Finite element Analysis (FEA) adalah metode numerik yang digunakan untuk menemukan solusi perkiraan dari masalah matematis yang kompleks. Metode *finite element analysis* terbagi menjadi beberapa langkah, berikut langkah-langkah metode *finite element analysis*:

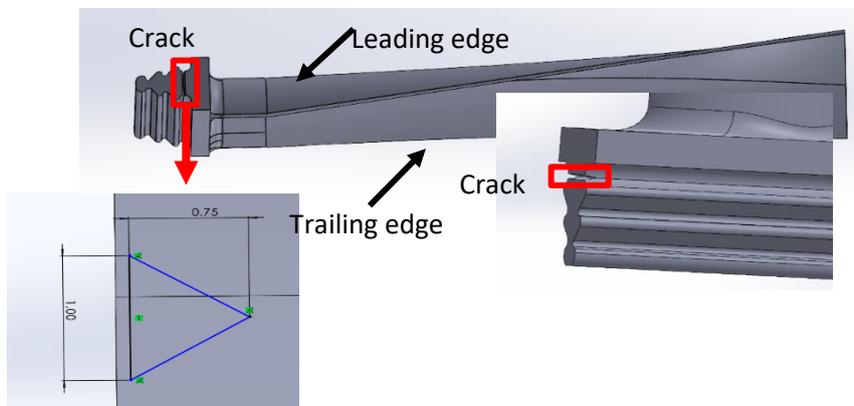
2.1. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri adalah langkah pertama dalam proses *finite element analysis* dimana struktur fisik yang akan dianalisis direpresentasikan dalam bentuk model digital. Pada tahap ini, model tiga dimensi dari sistem atau struktur tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak *solidwork* atau perangkat lunak pemodelan geometri lainnya. Gambar 2 menunjukkan hasil pembuatan model 3D *blade* turbin dengan menggunakan perangkat lunak *solidwork*.



Gambar 2 Model *blade* turbin kondisi normal

Pemodelan *blade* turbin dibuat dengan 2 kondisi yaitu *blade* turbin dengan kondisi normal dan *blade* turbin yang mengalami inisiasi *crack* pada *root blade* di *leading edge* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 *Blade* dengan kondisi mengalami inisiasi *crack*

Pemodelan inisiasi *crack* tersebut dibuat untuk menentukan propagasi *crack* yang terjadi pada *blade*.

2.2. Proses *Mesh*

Pembagian *mesh* merupakan proses yang penting untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang disebut elemen hingga (*finite element*) dan menempatkan simpul-simpul (*nodes*) di sudut-sudut elemen tersebut. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik maka kualitas *mesh* harus baik. Kualitas *mesh* yang baik dapat dilihat pada *skewness*. Semakin kecil *skewness* maka kualitas *mesh* semakin baik. Nilai *skewness* dianjurkan memiliki rentang $<0,5$ ditunjukkan pada Tabel 1 [6].

Tabel 1. Nilai kualitas *mesh* [6]

Value of Skewness	Cell Quality
1	Degerate
0,9 - <1	Bad (silver)
0,75 - 0,9	Poor
0,5 - 0,75	Fair
0,25 - 0,5	Good
>0 - 0,25	Excellent
0	Equilateral

2.3. Boundary Condition

Kondisi batas (*boundary condition*) adalah proses untuk memberikan beban yang terjadi pada *blade*. *Blade* yang mengalami beberapa beban diantaranya adalah beban akibat uap, gaya sentrifugal akibat putaran dari *blade*, dan beban dari *blade* itu sendiri. Pada proses ini juga ditentukan material dari blade. Material yang digunakan yaitu 17 -4 PH dengan *yield strength* 1126 MPa [7],[8].

2.4. Simulasi

Simulasi adalah proses menggunakan model matematika dari struktur atau sistem untuk memprediksi perilaku dan responnya terhadap beban tertentu. Simulasi melibatkan beberapa langkah yang mencakup pembuatan model, pemrosesan dan analisis hasil.

3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi dilakukan pada kondisi statik dan dinamik. Simulasi dalam kondisi statik ditujukan untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada *blade* dan hanya dilakukan untuk kondisi *blade* tanpa *crack* sedangkan kondisi dinamik dilakukan pada kondisi keduanya (tanpa *crack* dan *crack*). Selanjutnya, simulasi dalam kondisi dinamik dilakukan untuk mengetahui umur dari *blade* akibat *fatigue* dalam kondisi tanpa adanya *crack*.

3.1. Simulasi Statik

Untuk melakukan simulasi statik input data yang dilakukan adalah berdasarkan dengan gaya yang terjadi pada *blade* turbin. Pada Tabel 2 menunjukan parameter operasi turbin yang akan dicari

Tabel 2. Parameter perhitungan gaya

Parameter	Nilai
m	5,54 Kg
ω	314,1 rad/s
r	1 m
M	79,75 Kg/s
H1	2581162,2 J/kg
H2	2454720,84 J/kg
N	314,1 rad/s
X_b	108
D_m	1,35 m

Keterangan :

- m = Massa *blade*
- ω = Kecepatan putaran
- r = Jari jari *blade*
- M = laju massa aliran uap
- H = Enthalpi

- N = RPM
- X_b = jumlah total blade
- D_m = Diameter laju uap

Perhitungan gaya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Gaya sentrifugal

$$F_{sentrifugal} = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (1)$$

$$F_{sentrifugal} = 5,54 \times 314,1^2 \times 1 = 546569 \text{ N}$$

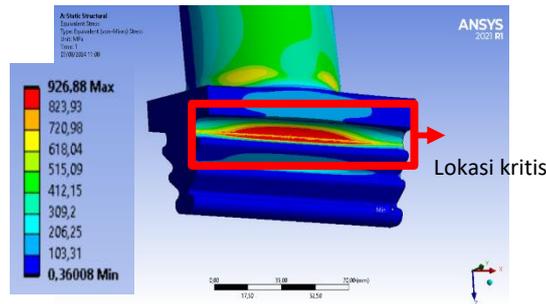
- Gaya akibat uap

$$F_b = \frac{2M1 \cdot (H1 - H2)}{2\pi \cdot N \cdot Dm \cdot Xb} \quad (2)$$

$$F_b = 70 \text{ N}$$

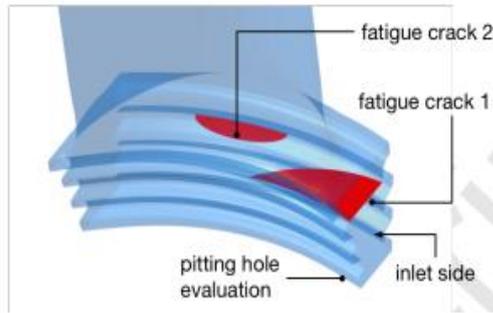
Beban yang dihasilkan oleh uap (F_b) memiliki nilai yang sangat kecil jika dibandingkan dengan beban akibat gaya sentrifugal ($F_{sentrifugal}$). Selanjutnya untuk tumpuan yang digunakan adalah tipe fixed dimana tumpuan mampu menahan gaya dalam arah radial dan tangensial serta momen yang terjadi.

Setelah memasukan gaya yang terjadi pada *blade* turbin maka hasil simulasi statik ditunjukkan pada Gambar 4. Didapatkan tegangan maksimum yang terjadi berada pada bagian *root blade* dengan nilai sebesar 926,8 Mpa seperti. Tegangan yang terjadi pada *root blade* masih lebih kecil dari nilai *yield strength* sehingga kondisi ini masih cukup aman.



Gambar 4 Tegangan kritis yang terjadi pada *root blade*

Hasil dari penelitian lain juga menunjukkan lokasi tegangan maksimum pada lokasi yang sama ditunjukkan pada Gambar 5 [9],[10].



Gambar 5 Tegangan kritis *root blade* [7]

3.2 Simulasi Dinamik

a. Tanpa crack

Kondisi dinamik terjadi akibat adanya perubahan beban yang terjadi pada turbin *blade*. Kondisi dinamik juga disebabkan akibat orientasi gaya sentrifugal terhadap gaya gravitasi yang berubah-ubah seiring dengan posisi turbin *blade* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6 Beban dinamik yang terjadi pada blade turbin

Gambar 5 menunjukkan kondisi dinamik yang diakibatkan posisi dari turbin *blade*. Pada posisi 0° , yaitu ketika turbin *blade* berada di posisi atas, pada kondisi ini arah gaya sentrifugal dan gaya berat memiliki arah gaya yang berkebalikan sehingga resultan gaya yang terjadi:

$$\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W \quad (3)$$

$$\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W = 546 \text{ kN} - 0,055 \text{ kN} = 545,945 \text{ kN}$$

Ketika posisi 180° , gaya sentrifugal dan gaya berat memiliki arah yang sama, sehingga pada kondisi ini resultan gaya yang terjadi adalah

$$\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W \quad (4)$$

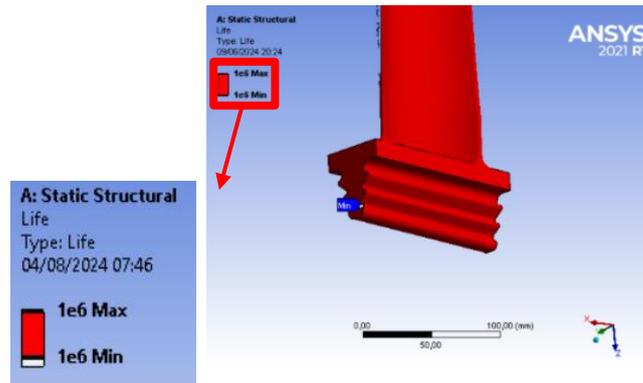
$$\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W = 546 \text{ kN} + 0,055 \text{ kN} = 546,055 \text{ kN}$$

Perubahan resultan gaya ini yang menyebabkan kondisi dinamik dan dapat menyebabkan *fatigue*. Hasil simulasi dinamik pada *blade* dengan kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 4. 3. Perbandingan rasio dari gaya sentrifugal didapatkan dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W}{\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} + W} \quad (5)$$

$$\frac{\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} - W = 546 \text{ kN} - 0,055 \text{ kN} = 545,945 \text{ kN}}{\Sigma F = F_{\text{sentrifugal}} + W = 546 \text{ kN} + 0,055 \text{ kN} = 546,055 \text{ kN}} = 0,99$$

Hasil dari perbandingan rasio kemudian menjadi input kedalam simulasi.

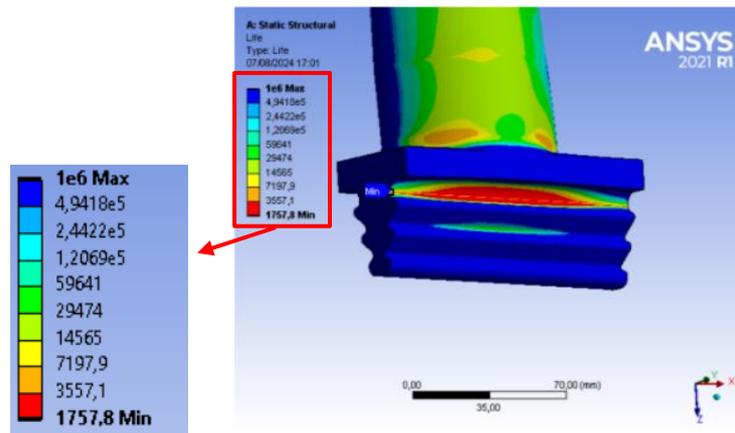


Gambar 7 Simulasi fatigue tanpa crack pada kondisi normal

Hasil simulasi ini menunjukkan umur *blade*, dimana diperoleh nilai maksimum sebesar 10^6 yang artinya umur *blade* tak terhingga dikarenakan perbandingan rasio yang dihasilkan pada *blade* dengan kondisi normal sangat kecil yaitu 99% seperti pada Gambar 6. Hasil simulasi ini mempresentasikan bahwa pada kondisi normal maka *blade* tidak akan mengalami *fatigue* dan aman untuk digunakan.

b. Siklus *Startup* dan *shutdown*

Hasil simulasi dinamik pada *blade* dengan kondisi *startup* dan *shutdown* ditunjukkan pada Gambar 7.

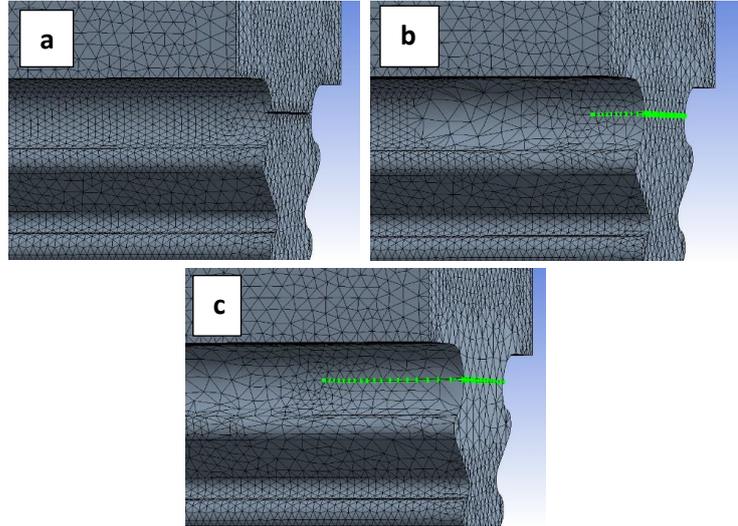


Gambar 8 Simulasi *fatigue* tanpa *crack* pada kondisi *startup* dan *shutdown*

Hasil simulasi ini menunjukkan umur *blade* pada kondisi siklus *startup* dan *shutdown* diperoleh sisa umur pakai 1730 siklus *startup* dan *shutdown*.

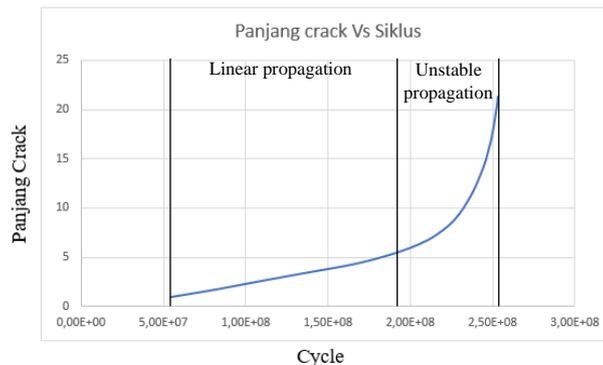
c. Blade kondisi mengalami *crack*

Simulasi *fatigue* dilakukan pada *blade* turbin yang mengalami *crack* yang bertujuan untuk mengetahui propagasi *crack* yang terjadi. Hasil simulasi dinamik pada *blade* dengan *crack* ditunjukkan pada Gambar 9. Simulasi dinamik dengan *crack* menunjukkan hasil propagasi *crack* yang terjadi diawali dengan inisiasi *crack* pada Gambar 9 (a) 0,75 mm kemudian pada Gambar 9 (b) *crack* menjalar menjadi 10,3 mm dan pada Gambar 9 (c) *crack* yang menjalar terhenti pada 21 mm.



Gambar 9 (a) Inisiasi *crack* 0,75 mm, (b) Propagasi *crack* 10,3 m, (c) Propagasi *crack* 21 mm

Dari hasil simulasi *fatigue* pada *blade* yang mengalami retak maka didapatkan hasil propagasi retak yang terjadi seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik propagasi *crack* terhadap siklus

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara panjang *crack* terhadap siklus. Pada siklus antara $5,47 \times 10^7 - 1,84 \times 10^8$ memiliki kenaikan panjang *crack* yang stabil namun setelah siklus melebihi $1,84 \times 10^8$ kenaikan panjang *crack* yang terjadi meningkat secara signifikan, pada posisi ini material sudah mengalami *fracture* [11].

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada blade kondisi beban normal, umur *blade* adalah tak terhingga, karena tegangan yang terjadi tidak melebihi *fatigue strength*.

2. Pada blade dengan kondisi beban startup dan shutdown, sisa umur *blade* yang diperoleh sebesar 1757 kali siklus.
3. Pada turbin yang beroperasi normal dengan *blade* yang retak, diperoleh sisa umur pakai dari *blade* $1,84 \times 10^8$ siklus.

4.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh rekomendasi untuk mengevaluasi hasil dari penelitian tugas akhir ini, sebagai berikut:

1. Pada saat simulasi dilakukan perlu perangkat yang memadai untuk mencegah terjadinya eror pada saat simulasi sedang berlangsung.
2. Dilakukan pemeriksaan dan pendukung lainnya di laboratorium untuk memvalidasi hasil simulasi yang telah dilakukan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Wahyudin SN, Retno Aita Diantari, TeukuMardhi Rahmatullah 2017. Analisa proteksi differensial pada generator di pltu suralaya. *Energi & Kelistrikan* 9, no1: 84-92.
- [2] M. Hetharia and Y. Lewerissa, “Analisis energi pada perencanaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan cycle tempo,” 2018.
- [3] Ahmadi, Gholam Reza, and Davood Toghraie 2016. Energy and exergy analisys of montazeri steam power plant in iran. *Renewble and Sustainable Energi Review* 56: 454-463
- [4] O. Pedram and E. Poursaeidi 2018. Pitting Corrosion as the main cause of crack initiation in a compressor blade. *3rd. Int. Conf. on Mechanical and Aerospace Eng, Tehran – iran*.
- [5] W. Hendrawan and M. Nurbanasari 2023. Analisis kegagalan pada blade turbin PLTU 400 MW. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 47–54, Apr.
- [6] Alawadhi, E. M 2020. *Finite element simulation using ansys. Meshing guide 15317(November), 4407 – 424*.
- [7] Martins, M., and P. E. C. de Cerqueira 2012. Characterisation of ASTM A747-grade CB7Cu-1 precipitation hardening cast stainless steel. *International Journal of Cast Metals Research* 25.2: 121-125.
- [8] Rafi, H. K., Pal, D., Patil, N., Starr, T. L., & Stucker, B. E. 2014. Microstructure and mechanical behavior of 17-4 precipitation hardenable steel processed by selective laser melting. *Journal of materials engineering and performance*, 23, 4421-4428.
- [9] W. Zhao, Y. Li, M. Xue, P. Wang, and J. Jiang 2018. “Vibration analysis for failure detection in low pressure steam turbine blades in nuclear power plant”. *Eng Fail Anal*, vol. 84, pp. 11–24.
- [10] Hua He, Zhunbei Zheng, Zhanjung Yang, Xiaochen Wang, Yuxing Wu 2020. Failure analisys of steam turbine blade roots. *Engineering Failure Analisis Volume 115*.
- [11] Liu, Dan, and Dirk John Pons 2018. Crack propagation mechanisms for creep fatigue: A consolidated explanation of fundamental behaviours from initiation to failure. *Metals* 8.8: 623.