

# Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressurePLTU Batubara

PRIA AGUNG PAMUNGKAS<sup>1</sup>, TRI SIGIT PURWANTO,S.T.,M.T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung  
Email: [priaagungp@mhs.itenas.ac.id](mailto:priaagungp@mhs.itenas.ac.id)

Received DD MM YYYY | RevisedDD MM YYYY | AcceptedDD MM YYYY

## ABSTRAK

*Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menghasilkan daya listrik terbesar di Indonesia. Pada tahun 2021 salah satu turbin uap mengalami kegagalan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 600 MW yang telah efektif beroperasi selama 24 tahun lebih. Kegagalan tersebut terjadi akibat adanya kerusakan pada bagian L-2 LP turbin, maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk melihat dampak dari tidak terpasangnya L-2 LP PLTU batubara terhadap kinerja turbin. Metode penelitian yang dilakukan meliputi 3D drawing dari komponen turbin low pressure lalu melakukan simulasi Computational Fluids Dynamic (CFD) dengan menggunakan software solidworks 2020 pada kondisi turbin sebelum mengalami kerusakan, dan setelah mengalami kerusakan pada L-2, Hasil dari analisa hasil simulasi tersebut menunjukkan kenaikan pressure pada bagian L-1 sebesar 23135,75 Pa dari yang sebelum mengalami kerusakan sebesar 108575,26 Pa menjadi 131711,01 Pa, dan pada keluaran turbin dari yang sebelumnya mengalami kerusakan sebesar 70606,42 Pa menjadi 88167,89 Pa, selain dari kenaikan pressure penurunan terjadi pada nilai torsi dari yang sebelum mengalami kerusakan bernilai 375877.853 (N.m) turun sebesar 50920,0025 (N.m) menjadi 324957,8505 (N.m) yang mengakibatkan daya yang dihasilkan turbin tanpa L-2 menurun sebesar 15,988 MW.*

**Katakunci:**Analisa, Turbin, Solidworks, Aliran, Tekanan, Temperatur, Daya.

## ABSTRACT

*Steam Power Plant (PLTU) is one type of power plant that produces the largest electrical power in Indonesia. In 2021 one of the steam turbines experienced a failure in the Steam Power Plant (PLTU) system with a capacity of 600 MW which has been operating effectively for more than 24 years. This failure occurred due to damage to the L-2 LP turbine section, therefore this research carried out to see the impact of not installing the L-2 LP coal fired power plant on turbine performance. The research method carried out includes 3D drawing of low pressure turbine components and then performing a Computational Fluids Dynamic (CFD) simulation using Solidworks 2020 software on the turbine condition before it is damaged, and after experiencing damage to L-2. The results from the analysis of the simulation results show an increase The pressure on the L-1 section is 23135.75 Pa from the one before the damage was 108575.26 Pa to 131711.01 Pa, and at the turbine output from the previously damaged 70606.42*

*Pa to 88167.89 Pa, apart from the increase in The pressure decrease occurs in the torque value from which before it was damaged it was 375877,853 (Nm) decreased by 50920,0025 (Nm) to 324957,8505 (Nm) which resulted in the power produced by the turbine without L-2 decreasing by 15,988 MW.*

*Keywords: Analysis, Turbine, Solidworks, Flow, Pressure, Temperature, Power.*

## **1. PENDAHULUAN**

Salah satu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di Indonesia dengan kapasitas 600 mega watt (MW) dan telah beroperasi kurang lebih selama 24 tahun mengalami kerusakan pada tenon dan shourd yang terjadi di bagian seluruh stage L-2 pada sisi governor dan generator yang menyebabkan di berhentikannya proses produksi sementara, hal tersebut berdampak pada kerugian yang sangat besar. Pada dasarnya turbin uap merupakan salah satu mesin konversi yang mengubah energy aliran suatu fluida menjadi energy gerak yang dapat dimanfaatkan/ Mesin turbin terdiri dari beberapa bagian salah satunya rotor yang merupakan bagian berputar terdiri dari poros atau shaft dengan sudu-sudu disekelilingnya. Tumbukan pada aliran fluida menyebabkan rotor berputar (Apriandi, R & Mursadin, A, 2016). Kerusakan yang terjadi pada bagian turbin L-2 yaitu pada bagian tenon dan shourd yang dimana setiap shourd ini mengikat 6 blade mengharuskan turbin untuk tidak digunakan kembali karena bisa menyebabkan vibrasi dan kerusakan pada blade lainnya yang berkemungkinan pecahan blade akan masuk ke dalam kondensor dan terjadi kerusakan. Kerusakan pada salah satu shourd mengharuskan melepas satu bagian row, dimana melepas salah satu bagian row ini akan berpengaruh pada kinerja turbin, salah satunya adalah laju aliran, *pressure*, efisiensi, hingga hasil akhir daya yang di hasilkan turbin.

## **2. METODOLOGI**

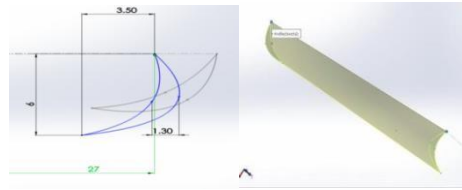
### **2.1. Studi Literatur**

Proses penelitian diawali dengan studi literatur tentang prinsip kerja pembangkit listrik tenaga uap, turbin *low pressure*, kerusakan yang terjadi pada turbin *low pressure*, dan prinsip kerja beserta fungsi dari *Computasional Fluids Dynamic* (CFD) Solidworks dari berbagai sumber.

### **2.2. Gambar dan Data Input**

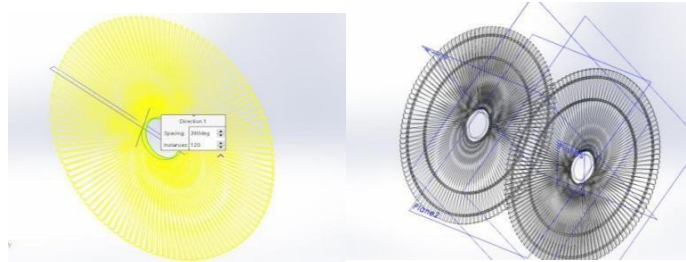
Hal ini merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model *Computasional Fluids Dynamic* (CFD). Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD Computer Aided Design, dan membuat mesh yang sesuai (Firman Tuakia, 2008). Tahap yang pertama yang dilakukan adalah proses penggambaran sudu turbin di software solidworks, pembuatan desain sudu turbin di sesuaikan dengan bentuk sudu yang sebenarnya dengan memperhatikan bentuk airfoil yang akan berpengaruh pada aliran fluida yang terjadi.

## Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressure PLTU Batubara



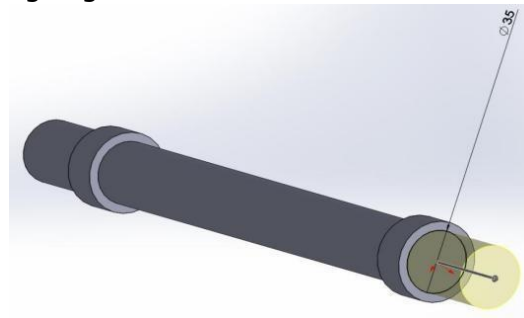
**Gambar 1. Pembuatan Sudu Turbin**

Tahap ke-2 yaitu proses pattern proses ini dilakukan untuk membuat 1 row dengan memasukan data jumlah sudu yang akan di buat.



**Gambar 2. Proses Pattern Untuk Membuat 1 row**

Tahapan ke-3 yaitu proses pembuatan shaft turbin yang dimana shaft ini akan menghubungkan turbin dengan generator.



**Gambar 3. Pembuatan shaft turbin**

Tahap ke-4 yaitu proses penggabungan shaft turbin dengan setiap row yang telah dibuat, dengan menggunakan fitur assembly dan menggunakan mate concentric dengan mengunci antara sudu gerak dengan shaft.



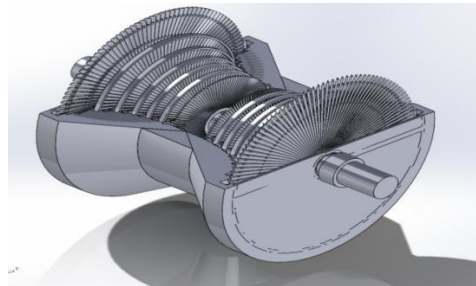
**Gambar 4. Proses penggabungan antara shaft dan sudu gerak turbin**

Tahapan ke-5 yaitu proses perancangan rumah turbin dengan menyesuaikan ukuran rotor yang telah dibuat.



**Gambar 5. Proses pembuatan rumah turbin**

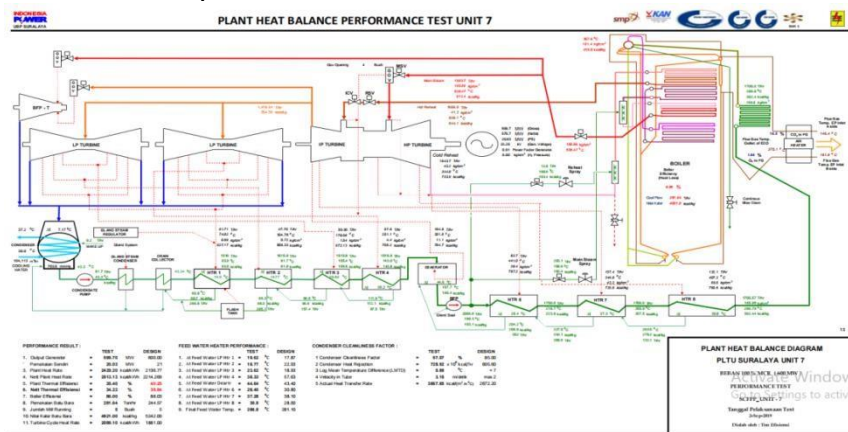
Tahap ke-6 atau tahap terakhir dari tahapan gambar turbin, dimana pada tahapan ini dilakukan proses penggabungan dari setiap komponen part yang telah dibuat sampai menjadi bentuk turbin uap low pressure.



**Gambar 6. Proses finishing atau penggabungan setiap part**

### 2.2.2. Input Data

Data input merupakan data yang diperlukan untuk proses simulasi turbin, dimana data tersebut diperoleh dari data operasi PLTU.



**Gambar 7. Plant heat balance performance test**

**Tabel 1. Data input untuk proses simulasi**

No	Data	Nilai
1	Pressure Masuk	1088538.75 pa
2	Pressure Keluar	7479.25 pa
3	Temperature	351.80 °C
4	Inlet Mass Flow	391.1 kg/s
5	Fluida	Steam
6	Kecepatan rotasi	3000 rpm

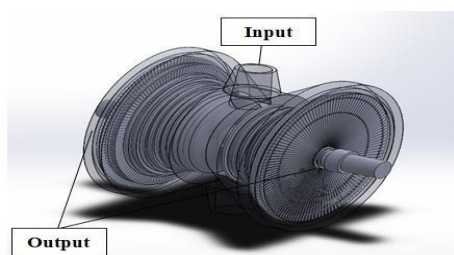
# Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressure PLTU Batubara

## 2.2. Gambar dan Data Input

Proses ini meliputi : Memilih jenis material yang digunakan pada turbin uap low pressure.

- Jenis material yang digunakan merupakan jenis material yang sesuai dengan jenis material pada turbin uap yang sedang di analisa.
- Menentukan batasan sisi masuk dan sisi keluar fluida pada turbin.

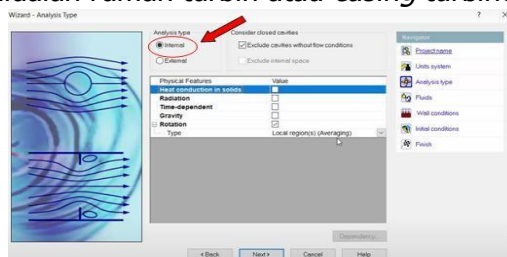
Sisi masuk fluida ini berada pada pipa yang mengalirkan steam dari turbin *Intermediate Pressure* menuju turbin *low pressure*. dan batasan sisi keluar berada pada sisi lainnya fluida masuk ke dalam kondensor.



**Gambar 8. Sisi masuk dan keluar steam**

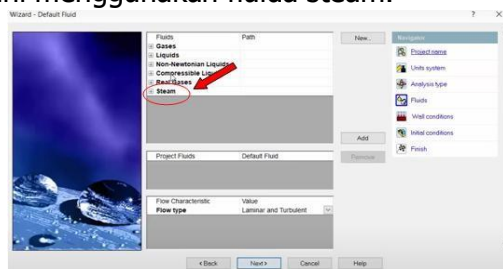
- Wizard.

Pada proses ini diminta untuk menentukan satuan dari output yang di inginkan, mulai dari menentukan analysis type terdapat dua pilihan untuk analysis type yaitu internal dan external, untuk tugas akhir ini menggunakan internal analysis type karena fluida yang bekerja berada pada dalam sistem, yaitu didalan rumah turbin atau *casing turbine*.



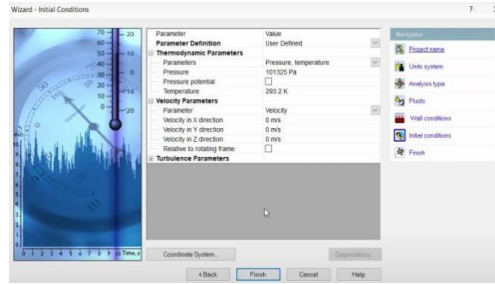
**Gambar 9. Wizard analysis type**

menu selanjutnya wizard – Default Fluid , menu ini adalah untuk menentukan fluida yang akan di gunakan, pada simulasi ini menggunakan fluida steam.



**Gambar 10. Wizard default fluid**

Setelah itu menu selanjutnya adalah Wizard – Initial and Ambient Conditions, pada tahap ini memasukan nilai data pressure dan temperatur yang telah di tentukan sebelumnya kemudian finish.



**Gambar 11. Wizard initial condition**

- Kondisi Batasan (Boundary Condition)

Tahap selanjutnya setelah proses input data, maka dilanjutkan dengan penerapan kondisikondisi batas untuk proses simulasi,

- Goals

GG Minimum Total Pressure

GG Mass Flow Rate

GG Maximum Total Pressure

GG Torque (z)

GG Minimum Temperature (Fluid)

SG Torque (z)

GG Maximum Temperature (Fluid)

Simulasi dilakukan pada turbin tanpa kerusakan dan pada turbin yang setelah mengalami kerusakan pada bagian L-2. Simulasi turbin tanpa kerusakan ini bertujuan untuk mengetahui kinerja turbin dengan memasukan data operasi dimana hasilnya akan dibandingkan dengan data aktual. Simulasi selanjutnya dilakukan pada turbin yang setelah mengalami kerusakan pada bagian L-2 dilakukan dengan cara melepas 1 row pada bagian L-2 dengan memasukkan data operasi yang sama pada saat proses simulasi. Tujuan dilakukannya simulasi pada turbin tanpa 1 row L-2 adalah untuk perbandingan kinerja turbin dengan hasil simulasi turbin tanpa kerusakan. Simulasi ini menggunakan Computational Fluids Dynamic (CFD) SolidWorks untuk mendapatkan hasil berupa tampilan kontur atau distribusi tekanan, dan nilai putaran turbin.

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana : P = Daya turbin (watt)

$$T = \text{Torsi} \quad \left( \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} \quad \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

Untuk mencari nilai  $\omega$  menggunakan rumus :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}$$

Dimana N = Putaran turbin (Rpm)

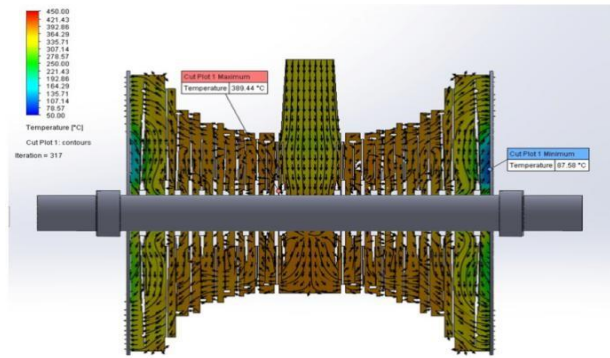
$$\pi = \text{Konstanta lingkaran} \quad \left( \frac{22}{7} \right)$$

### 3. HASIL DAN ANALISA

#### 3.1. Simulasi Turbin Tanpa Kerusakan

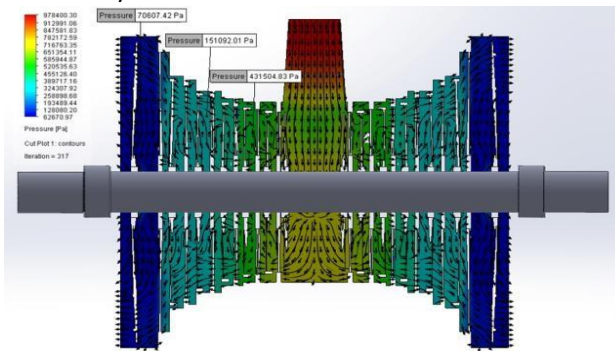
Simulasi turbin tanpa kerusakan ini dilakukan sebagai perbandingan terhadap hasil simulasi turbin yang telah mengalami kerusakan.

## Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressure PLTU Batubara



**Gambar 12. Hasil simulasi distribusi temperatur pada turbin tanpa kerusakan**

Hasil simulasi temperatur tertinggi pada turbin tanpa kerusakan bernilai 389,44 °C sedangkan temperatur terendah bernilai 87,58 °C.

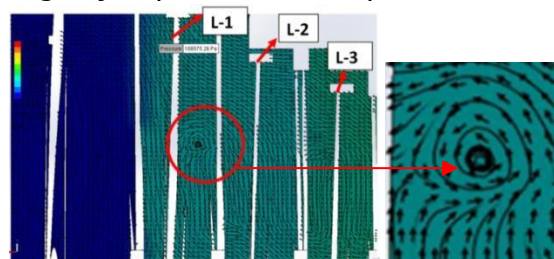


**Gambar 13. Hasil simulasi distribusi pressure pada turbin tanpa kerusakan**

**Tabel 2. Nilai pressure turbin tanpa kerusakan di 3 titik**

NO	NAMA TITIK	Nilai Pressure Hasil Simulasi Tanpa Kerusakan	Nilai Pressure Sesuai Data Operasi
1	Setelah stage 2	431504,8 Pa	431492,6 Pa
2	Setelah stage 4	151092,01 Pa	151022,4 Pa
3	Setelah stage 6	70606,4 Pa	70607,9 Pa

Dari hasil simulasi tersebut data yang didapat telah mendekati sesuai dengan data operasi yang bisa di lihat pada gambar 7 Plant heat balance performance test. Hasil simulasi menunjukkan pola aliran yang terjadi pada turbin low pressure



**Gambar 14. Pola aliran yang terjadi di daerah L-2 pada turbin tanpa kerusakan**

Pada gambar yang menunjukkan pola aliran dari hasil simulasi turbin tanpa kerusakan diatas, aliran fluida bergerak melewati setiap sudu gerak dan sudu tetap yang berfungsi sebagai nozel

dimana pressure akan mengalami penurunan pada saat melewati sudu tetap dan sudu gerak sesuai dengan prinsip kerja dari turbin uap reaksi, pada daerah yang dilingkari warna merah menunjukkan adanya vortex sebelum steam melewati L-1, vortex ini menyebabkan terjadinya pressure drop atau penurunan tekanan, dilihat dari gambar di atas pressure yang terjadi di daerah L-1 berkisar 108575,26 Pa.

**Tabel 3. Data hasil simulasi turbin tanpa kerusakan**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Minimum Total Pressure	[Pa]	0	-95881.8	-657148.7	740.4
GG Maximum Total Pressure	[Pa]	4414808.7	5385095.4	4414808.7	6341556.06
GG Minimum Temperature (Fluid)	[°C]	50	49.5	47.5	50
GG Maximum Temperature (Fluid)	[°C]	592.5	613.2	592.5	631.6
GG Mass Flow Rate	[kg/s]	-526.2	-626.8	-738.8	-526.2
GG Torque (X)	[N*m]	375877.8	395441.8	351082.4	435186.3
SG Torque (X)	[N*m]	75799.6	80300.4	68309.8	93468.1

Dari data hasil simulasi diatas dengan nilai torsi yang di dapat sebesar 375877.853 [N.m] maka daya tubin yang di hasilkan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana : P=Daya turbin(watt)

$$T = \text{Torsi} \left( \frac{N}{m} \right)$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} \left( \frac{rad}{s} \right)$$

$$\omega = 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot \frac{3000}{60}$$

$$\omega = 314 \frac{rad}{s}$$

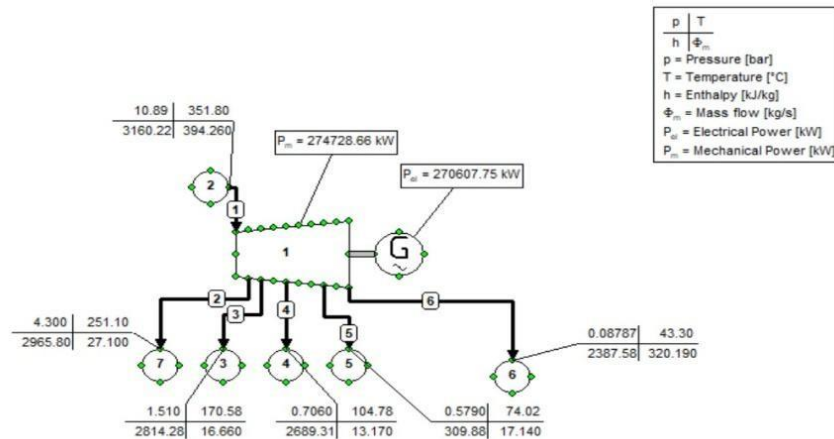
$$P = 375877.853 \left( \frac{N}{m} \right) \cdot 314 \frac{rad}{s}$$

$$P = 118025645,8 \text{ W}$$

$$P = 118,02 \text{ MW}$$



## Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressure PLTU Batubara

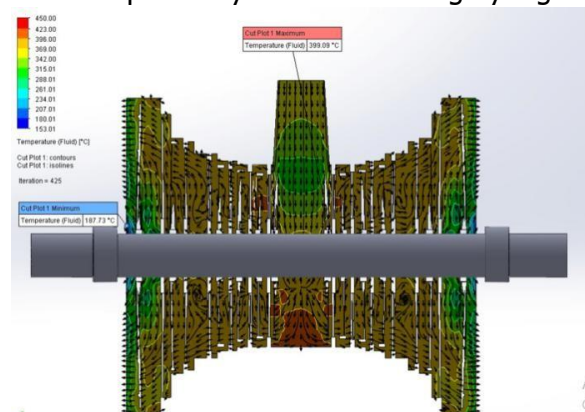


**Gambar 15. Perhitungan daya turbin tanpa kerusakan menggunakan cycle tempo**

Daya turbin tanpa kerusakan yang dihasilkan untuk 1 turbin low pressure sebesar 118,0256458 MW. Dari perhitungan menggunakan software cycle tempo daya yang di hasilkan sebesar 270.60775 MW untuk 2 turbin low pressure.

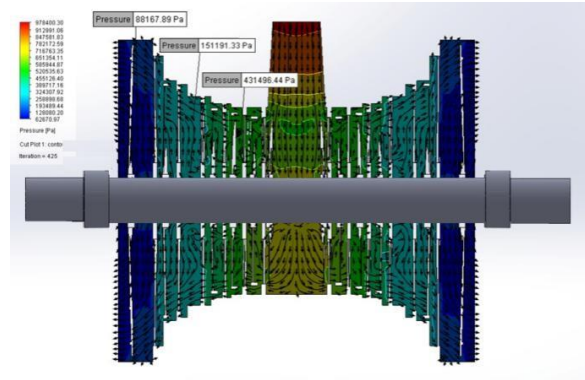
### 4.1.2 Simulasi Turbin Tanpa LP-2

Simulasi turbin tanpa LP-2 dilakukan untuk mengetahui dampak terjadinya jika turbin uap masih tetap dioperasikan tanpa adanya salah satu stage yang tidak beroperasi.



**Gambar 16. Hasil simulasi distribusi temperatur pada turbin tanpa L-2**

Hasil simulasi temperatur tertinggi pada turbin tanpa satu stage L-2 bernilai 399,09 °C sedangkan temperatur terendah bernilai 187,73 °C dari hasil tersebut hilangnya satu stage mengakibatkan tidak terjadinya penurunan temperatur yang dilakukan oleh sudu gerak L-2 sehingga temperatur keluaran turbin masih relatif tinggi, temperatur yang tinggi akan selaras dengan nilai pressurnya yang akan berdampak pada saat steam memasuki kondensor, dimana dengan pressure tinggi memasuki kondensor akan menaikkan nilai  $h$ , hal ini akan menyebabkan  $\Delta h$  di tubin semakin kecil sehingga daya yang dihasilkan akan menurun (Hariyadi, & Setyawan, 2014).



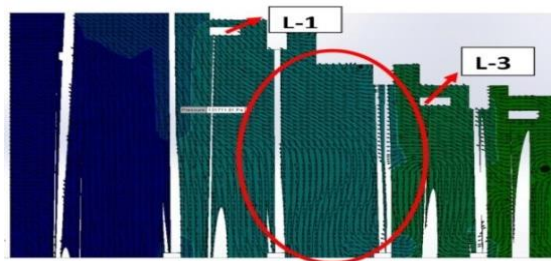
**Gambar 17. Hasil simulasi distribusi pressure turbin tanpa L-2**

Pada gambar 17 hasil simulasi menunjukkan perubahan kontur warna dari sisi masuk fluida dan sisi keluar fluida.

**Tabel 4. Nilai pressure turbin tanpa L-2**

NO	NAMA TITIK	Nilai Pressure Hasil Simulasi Tanpa L-2	Nilai Pressure Hasil Simulasi Tanpa Kerusakan
1	Setelah stage 2	431496,4 Pa	431504,8 Pa
2	Setelah stage 4	151191,3 Pa	151092,01 Pa
3	Setelah stage 6	88167,9 Pa	70606,4 Pa

Pada hasil simulasi turbin tanpa L-2 atau tanpa salah satu stage mengakibatkan terjadinya kenaikan pressure dimana bisa dilihat dari gambar 17 dan tabel 4 diatas pada bagian setelah stage 6 pressure yang terjadi bernilai 88167,89 Pa naik 17561,47 Pa dari hasil simulasi tanpa kerusakan, kenaikan nilai pressure keluaran turbin akan mempengaruhi penurunan vacuum pressure pada kondensor, yang menyebabkan perubahan nilai parameter operasional di komponen lainnya (Hariyadi, & Setyawan, 2014).



**Gambar 18. Pola aliran yang terjadi pada daerah tanpa L-2**

Kenaikan pressure pada sisi setelah stage 5 terjadi akibat pola aliran fluida berupa steam yang keluar dari stage 4 langsung di arahkan masuk oleh stator yang berfungsi sebagai nozel menuju stage 6 seperti pada gambar di atas dimana tidak adanya satu stage L-2 menyebabkan tidak terjadinya penurunan pressure yang dilakukan semestinya, sehingga mengakibatkan kenaikan nilai pressure pada daerah L-1 sebesar 23135,75 Pa dari yang sebelum mengalami kerusakan bernilai 108575,26 Pa menjadi 131711,01 Pa.

**Tabel 5. Data hasil simulasi turbin tanpa L-2**

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
GG Minimum Total Pressure	[Pa]	155.6	-2127.4	-40557.9	300.7
GG Maximum Total Pressure	[Pa]	5452652.1	5363466.3	5239973.7	5452652.1
GG Minimum Temperature (Fluid)	[°C]	153.01	117.5	50	153.01
GG Maximum Temperature (Fluid)	[°C]	615.31	620.6	615.3	624.5
GG Mass Flow Rate	[kg/s]	-425.7	-456.3	-486.9	-425.7
GG Torque (X)	[N*m]	324957.8	268837.03	225082.5	325707.9
SG Torque (X)	[N*m]	38204.4	44451.2	33325.3	54038.5

Dari data hasil simulasi di atas dengan nilai torsi yang di dapat sebesar 324957.8505 [N.m] maka daya turbin yang di hasilkan sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana : P=Daya turbin(watt)

$$T = \text{Torsi} \left( \frac{N}{m} \right)$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} \left( \frac{rad}{s} \right)$$

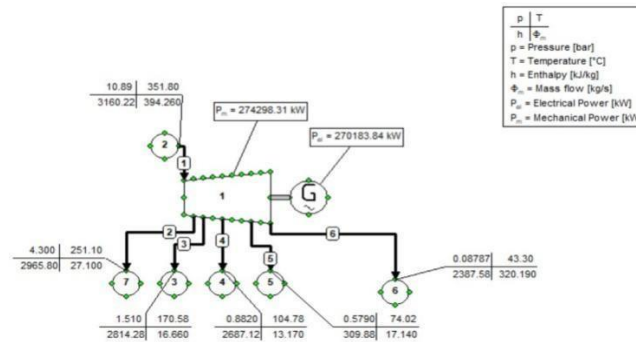
$$\omega = 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot \frac{3000}{60}$$

$$\omega = 314 \frac{rad}{s}$$

$$P = 324957.8505 \left( \frac{N}{m} \right) \cdot 314 \frac{rad}{s}$$

$$P = 118025645,8 \text{ W}$$

$$P = 118,02 \text{ MW}$$



**Gambar 19. Perhitungan daya turbin tanpa L-2 menggunakan cyle tempo**

Daya turbin tanpa kerusakan yang dihasilkan untuk 1 turbin low pressure sebesar 102.0367651 MW. Dari perhitungan menggunakan software cycle tempo daya yang di dihasilkan sebesar 270.183 MW untuk 2 turbin low pressure.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan mengenai "Analisa Dampak Tidak Berfungsinya Satu Stage LP PLTU Batubara", maka dapat disimpulkan beberapa pernyataan yakni sebagai berikut:

- Dampak tidak berfungsinya satu stage L-2 pada turbin *low pressure* adalah perubahan pola aliran, perubahan pola aliran tersebut terjadi akibat aliran fluida berupa steam yang keluar dari stage 4 langsung di arahkan masuk oleh stator menuju stage 6 dan pada daerah tersebut tidak terjadinya vortex yang menyebabkan kenaikan *pressure* pada daerah L-1 sebesar 23135,75 Pa dari yang sebelum mengalami kerusakan sebesar 108575,26 Pa menjadi 131711,01 Pa.
- Kenaikan tekanan keluaran turbin akibat tidak di fungsikannya satu stage L-2 akan menyebabkan penurunan tekanan vakum pada kondensor yang akan mengakibatkan perubahan nilai parameter operasional pada komponen lainnya dan daya yang di dihasilkan turbin menurun hal tersebut disebabkan nilai tekanan yang keluar dari kondensor semakin besar karena tekanan yang keluar dari kondensor sama dengan tekanan masuk kondensor.
- Dampak tidak berfungsinya satu stage L-2 berpengaruh pada berkurangnya daya turbin yang di akibatkan oleh penurunan torsi dari yang sebelum mengalami kerusakan bernilai 375877.853 (N.m) turun sebesar 50920,0025 (N.m) menjadi 324957,8505 (N.m)
- Daya yang di dihasilkan turbin sebelum mengalami kerusakan sebesar 118,0256458 MW setelah mengalami kerusakan terjadi penurunan sebesar 15,988 MW menjadi 102,0367651 MW.

#### DAFTAR REFERENSI

- Hirsch, Charles. 2007. Numerical Computation of Internal & External Flows, the Fundamental of Computational Fluid Dynamics, Second Edition. John Wiley & Sons. USA
- Versteeg, Malalasekera. 2007. An Introduction of Computational Fluid Dynamics, the Finite Volume Method, Second Editions. Prentice Hall. USA.
- Apriandi, R. & Mursadin, A. (2016). ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE . sjme KINEMATIKA VOL.1 NO.1, 1 Juni 2016, pp 37-46.

Analisa Dampak Tidak Terpasangnya Stage LP-2 Terhadap Kinerja Turbin Uap LowPressure PLTU Batubara

- Abbas, H. & Amiruddin, M. A. (2019). ANALISA PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK DENGAN TENAGA UAP DI PLTU. ILTEK, Volume 14, Nomor 01, April (2019)ISSN : 1907-0772.
- Hasibuan, A. (2020). SIMULASI ALIRAN FLUIDA (AIR) PADA TURBIN WHIRLPOOL MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS). MEDAN: UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA.
- Nasrulloh dkk. (2013). ANALISA ALIRAN DI DEPAN PROPELLER DENGAN MODIFIKASI JARAK DAN JENIS DUCTED TERHADAP PENGARUH NOZZLE RING. Diakses 1 Maret 2014, dari Institut Teknologi Sepuluh November.
- Septian, B. (2019). SIMULASI NUMERIK PROFIL ALIRAN DAN PENURUNAN TEKANAN ALIRAN TERHADAP SEDUT BELOKAN PIPA. MEDAN: UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA.
- Haryadi, S. & Setiyawan, A. (2014). ANALISA TERMODINAMIKA PENGARUH PENURUNAN TEKANAN VAKUM PADA KONDENSOR TERHADAP PERFORMA SIKLUS PLTU MENGGUNAKAN SOFTWARE GATE CYCLE, ITS-paper-21021140005201, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Tuakia, Firman. 2008. "Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT". Bandung : Informatika.