



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 3994-4003

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

---

## Implementasi *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) terhadap Kegagalan Operasi *Control Valve* untuk Mitigasi *Steam Turbine Trip* (Studi Kasus: PLTP XYZ, Wonosobo)

Iman Suyuti, Syarah Rizkia Feriaty, Dwi Indra Prasetya  
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa  
[imansuyuti1@gmail.com](mailto:imansuyuti1@gmail.com)

### Abstrak

Kegagalan operasi *control valve* pada sistem turbin uap dapat menyebabkan *steam turbine trip* yang berdampak pada penurunan produksi dan keandalan sistem pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan *control valve*, mengetahui faktor penyebab utama, serta memberikan rekomendasi mitigasi untuk mencegah terulangnya kegagalan di PLTP XYZ Wonosobo. Metode yang digunakan adalah *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara teknis, dokumentasi histori operasi, dan data *hydraulic pressure control valve* periode Oktober 2025. RCA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan melalui *fishbone diagram* dan *5-Why Analysis*, sedangkan FTA digunakan untuk memodelkan hubungan sebab-akibat hingga terjadinya *steam turbine trip*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan utama meliputi *filter actuator clogging*, *stem valve macet*, kerusakan *mechanical thrust ring*, serta tersumbatnya *injection grease* pada *stem* dan *shaft valve*. Faktor dominan penyebab kegagalan berasal dari faktor metode dan mesin, terutama belum diterapkannya *predictive maintenance* serta meningkatnya gesekan dan tekanan hidrolik hingga 47–48 bar. Selain itu, tidak adanya *monitoring trend* performa sistem secara *real-time* menyebabkan indikasi awal penurunan performa *control valve* tidak terdeteksi dengan cepat. Hasil *Fault Tree Analysis* menunjukkan bahwa *control failure* menjadi faktor dominan yang berkontribusi terhadap *steam turbine trip* akibat ketidakstabilan sistem kontrol dan keterlambatan respon valve terhadap perubahan beban operasi turbin. Rekomendasi mitigasi meliputi penerapan *predictive maintenance*, *monitoring hydraulic pressure* secara berkala, inspeksi rutin *actuator* dan *stem valve*, penggantian *spare part* secara preventif, serta penerapan sistem *early warning* untuk meningkatkan keandalan operasi *control valve* dan mencegah *steam turbine trip*.

**Kata kunci:** *Root Cause Analysis* (RCA), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Control Valve*, *Steam Turbine Trip*, *Predictive Maintenance*.

### 1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peran penting dalam mendukung kebutuhan energi nasional karena mampu menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Keandalan operasional PLTP sangat dipengaruhi oleh performa sistem turbin uap dan komponen pendukungnya, khususnya *control valve* yang berfungsi sebagai pengatur aliran uap menuju turbin. *Control valve* berperan sebagai final control element yang menjaga kestabilan tekanan, laju aliran, dan respon sistem terhadap perubahan beban operasi. Apabila terjadi kegagalan pada *control valve*, maka sistem turbin dapat mengalami gangguan hingga menyebabkan *steam turbine trip* yang berdampak pada penurunan produksi listrik, meningkatnya downtime, serta potensi kerusakan peralatan [1].

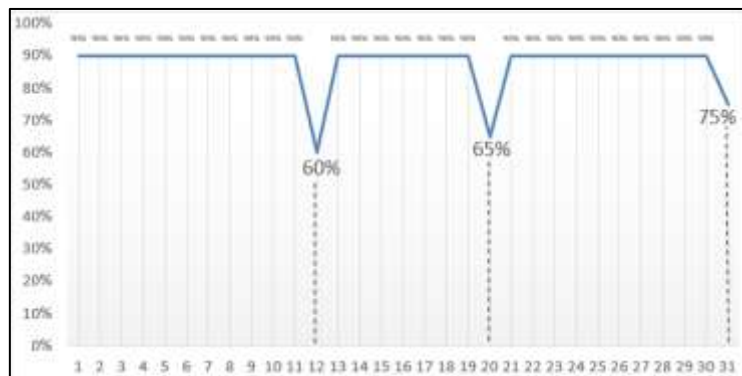
Dalam kondisi operasi PLTP, *control valve* bekerja pada lingkungan dengan temperatur dan tekanan tinggi serta terpapar fluida yang mengandung unsur *korosif* dan *scaling*. Kondisi tersebut menyebabkan komponen valve rentan mengalami kerusakan seperti *clogging* pada *actuator*, peningkatan gesekan *stem valve*, kerusakan *mechanical thrust ring*, hingga gangguan pada sistem hidrolik. Berdasarkan data operasi periode Oktober 2025 di PLTP XYZ Wonosobo, ditemukan adanya peningkatan *hydraulic pressure* hingga mencapai 47–48 bar yang menunjukkan indikasi meningkatnya beban kerja *actuator* dan degradasi sistem *control valve*. Kondisi ini berpotensi menyebabkan *control failure* yang berujung pada *steam turbine trip* apabila tidak segera dilakukan tindakan mitigasi.

---

Implementasi *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) terhadap Kegagalan Operasi *Control Valve* untuk Mitigasi *Steam Turbine Trip* (Studi Kasus: PLTP XYZ, Wonosobo)

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas analisis kegagalan pada control valve dan sistem turbin uap menggunakan metode seperti Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Root Cause Analysis (RCA), dan analisis vibrasi aliran. Penelitian oleh Anzhar Devalma dkk. menunjukkan bahwa kegagalan instrumentasi turbin memiliki pengaruh signifikan terhadap reliability sistem, sedangkan penelitian Yang dkk. menjelaskan bahwa flow-induced vibration dapat menyebabkan fatigue dan kerusakan pada komponen valve. Namun, penelitian terdahulu umumnya masih berfokus pada aspek material, vibrasi, maupun analisis risiko secara parsial dan belum mengintegrasikan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) secara komprehensif terhadap kegagalan operasi *control valve* yang berdampak langsung pada steam turbine trip.

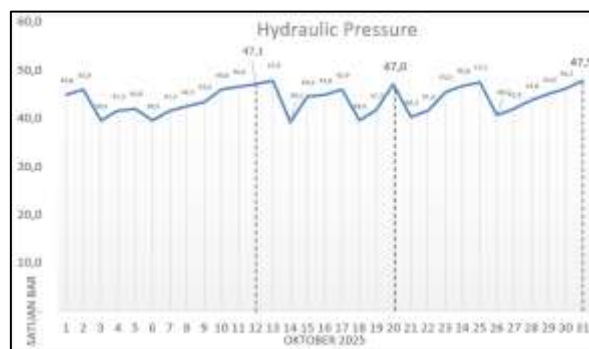
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kegagalan operasi control valve menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) guna mengidentifikasi akar penyebab kegagalan, memodelkan hubungan sebab-akibat terjadinya steam turbine trip, serta memberikan rekomendasi mitigasi yang tepat untuk meningkatkan keandalan operasi turbin uap di PLTP XYZ Wonosobo dan dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Data *production* periode Oktober 2025.

Persentase Berdasarkan grafik persentase performa operasional selama periode 1–31, terlihat bahwa sistem cenderung berada dalam kondisi stabil pada nilai 90% hampir di seluruh periode pengamatan. Namun, terdapat beberapa penurunan performa yang terjadi secara signifikan pada hari tertentu. Penurunan pertama terjadi pada hari ke-12 dengan nilai sebesar 60%, kemudian sistem kembali stabil pada hari berikutnya. Selanjutnya, terjadi kembali penurunan pada hari ke-20 hingga mencapai 65%, sebelum kembali meningkat ke kondisi normal sebesar 90%. Pada akhir periode pengamatan, yaitu hari ke-31, performa kembali mengalami penurunan hingga mencapai 75%.

Pola penurunan tersebut menunjukkan adanya gangguan atau anomali operasional yang bersifat sementara namun berulang. Penurunan performa dapat mengindikasikan adanya peningkatan beban kerja sistem, gangguan pada komponen utama, atau ketidakstabilan proses operasi yang mempengaruhi efektivitas kinerja sistem secara keseluruhan. Pada bulan oktober tercatat terjadi penurunan total produksi karena adanya indikasi *steam turbine* mengalami *trip* dan perlu dilakukan tindakan *emergency shutdown sistem* agar tidak terjadi kerusakan pada komponen pada *system* PLTP dapat dilihat pada Gambar 1.2



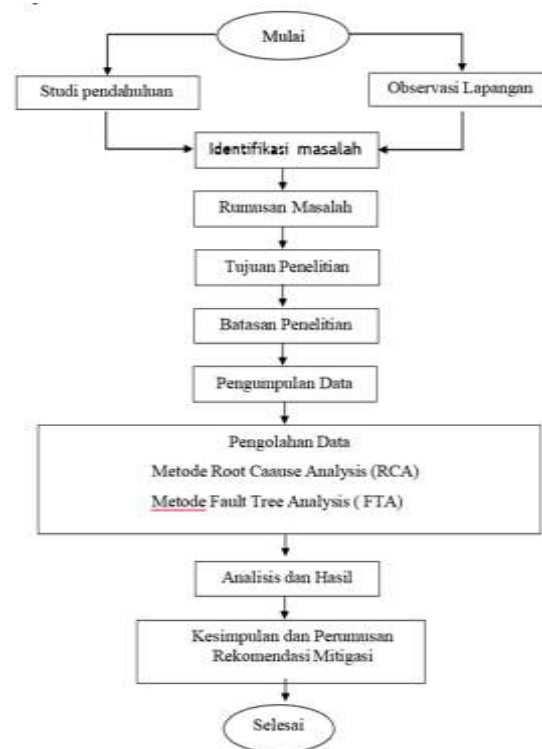
Gambar 1.2 Data *Operation control valve small scale* periode Oktober 2025.

Berdasarkan grafik *hydraulic pressure* periode oktober 2025, terlihat bahwa tekanan hidrolis berada pada rentang  $\pm 39,1$  hingga 47,9 (bar) dengan kecenderungan *fluktuatif* dan mengalami peningkatan pada akhir *periode* pengamatan. Pola ini menunjukkan adanya indikasi peningkatan beban kerja *actuator control valve*, terutama ketika tekanan mendekati 47–48 bar yang dapat mengindikasikan bertambahnya gesekan *internal*, kemungkinan *clogging* pada *filter actuator*, atau hambatan mekanis pada *stem valve*. Penurunan tekanan di bawah 40 bar yang terjadi pada beberapa hari juga menunjukkan ketidakstabilan sistem hidrolis.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian dari skripsi tersebut adalah pendekatan kualitatif-deskriptif dengan dukungan analisis sistematis kegagalan. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan, mengidentifikasi, dan menganalisis penyebab kegagalan operasi *control valve* yang menyebabkan *steam turbine trip* berdasarkan data observasi lapangan, wawancara teknis, histori gangguan, serta data operasional sistem. Penelitian dilakukan menggunakan metode *Root Cause Analysis* dan *Fault Tree Analysis* untuk menelusuri akar penyebab kegagalan serta memodelkan hubungan sebab-akibat hingga terjadinya *steam turbine trip* pada sistem turbin uap di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.



Gambar 2.1 Alur Penelitian

### 2.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua jenis data ini digunakan untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai kondisi operasional *control valve* serta faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *steam turbine trip* pada sistem turbin uap di PLTP XYZ Wonosobo..

#### 2.2.1 Data Primer

Data *primer* dalam penelitian ini diperoleh secara langsung dari lokasi penelitian di PLTP XYZ Wonosobo melalui observasi lapangan, wawancara teknis, serta pengambilan data *operasional* sistem *control valve*. Data yang dikumpulkan meliputi data *hydraulic pressure control valve* dan data *operation control valve small scale* periode Oktober 2025, data histori *steam turbine trip*, serta parameter operasional yang diperoleh dari sistem *Distributed*

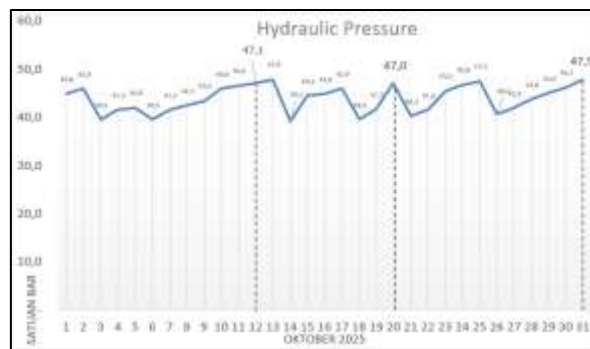
*Control System* (DCS). Selain itu, dilakukan observasi dan inspeksi langsung terhadap kondisi fisik control valve dan komponen pendukungnya, seperti *filter actuator clogging*, *stem valve macet*, *injection grease stem* dan *shaft valve* tersumbat, serta kerusakan *mechanical thrust ring*. Penelitian ini juga didukung oleh hasil wawancara dengan operator dan teknisi *maintenance* terkait gangguan operasi, proses pemeliharaan, dan penanganan kegagalan *control valve* yang terjadi selama operasi turbin uap berlangsung.

## 2.2.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh melalui studi literatur dan dokumentasi perusahaan yang berkaitan dengan sistem *control valve* dan *steam turbine trip*. Data tersebut meliputi buku referensi, jurnal ilmiah, penelitian terdahulu, standar teknis seperti API dan ASME, serta dokumen perusahaan berupa *Standard Operating Procedure* (SOP), *manual maintenance*, *drawing control valve*, dan laporan *histori* pemeliharaan. Selain itu, data sekunder juga mencakup referensi mengenai metode *Root Cause Analysis* dan *Fault Tree Analysis* yang digunakan sebagai dasar teori dan pendukung dalam proses analisis kegagalan operasi *control valve* pada sistem turbin uap.

## 2.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengolah data hasil observasi, wawancara, *histori operasi*, dan data *hydraulic pressure control valve* untuk mengetahui penyebab kegagalan operasi *control valve* yang menyebabkan steam turbine trip di PLTP XYZ Wonosobo menggunakan moda kegagalan.



Gambar 2.2 *Hydraulic pressure control valve*.

Data dianalisis dengan mengidentifikasi terlebih dahulu moda kegagalan pada *control valve* yang menyebabkan *steam turbine trip*. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan metode *Root Cause Analysis* melalui *fishbone diagram* dan *5-Why Analysis* untuk menentukan akar penyebab kegagalan. Hasil RCA kemudian digunakan dalam *Fault Tree Analysis* untuk memodelkan hubungan sebab-akibat hingga terjadinya *steam turbine trip*. Hasil analisis digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi mitigasi guna meningkatkan keandalan operasi *control valve* dan sistem turbin uap.

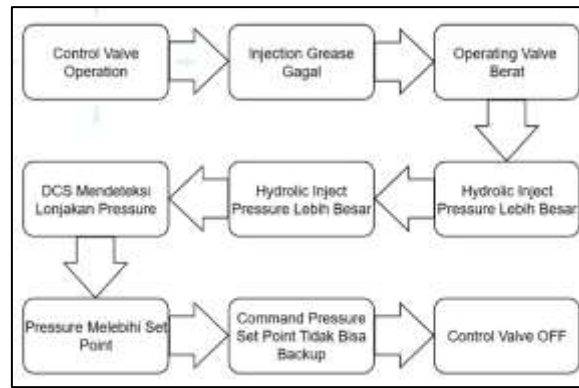
## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini menganalisis penyebab dan akibat *steam turbine trip* pada periode bulan oktober 2025.

#### 3.1.1 Moda Kegagalan

Data yang didapatkan menunjukkan proses kegagalan diawali dari terjadinya gangguan pada sistem *injection grease* saat *control valve* beroperasi sebagai berikut:



Gambar 3.1 Moda kegagalan *control valve*.

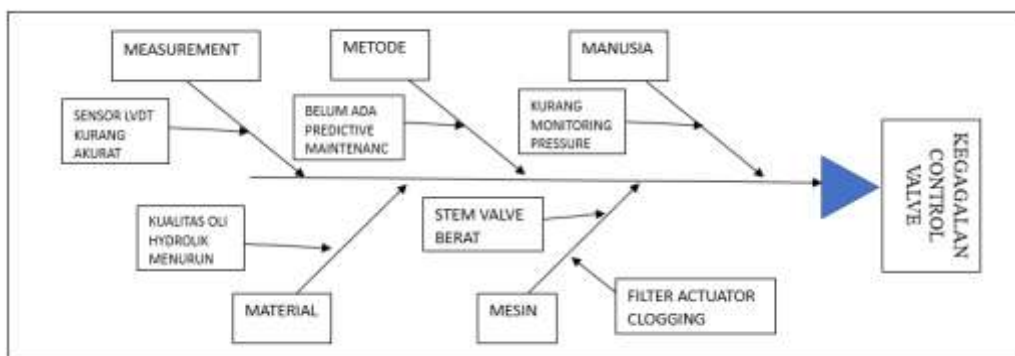
Kegagalan *injection grease* menyebabkan proses pelumasan *valve* tidak optimal sehingga *operating valve* menjadi berat akibat meningkatnya gesekan pada komponen *valve*. Kondisi tersebut mengakibatkan hydraulic inject pressure meningkat melebihi kondisi normal karena *actuator* membutuhkan tekanan lebih besar untuk menggerakkan *valve*. Peningkatan tekanan hidrolik kemudian terdeteksi oleh sistem *Distributed Control System* (DCS) sebagai lonjakan *pressure*. Saat *pressure* melebihi nilai *set point*, sistem *command pressure* tidak mampu melakukan *backup* tekanan secara optimal sehingga sistem proteksi mengaktifkan kondisi *control valve OFF*. Rangkaian kejadian tersebut menunjukkan bahwa kegagalan pada sistem *injection grease* menjadi penyebab awal terjadinya peningkatan *pressure* hingga menyebabkan gangguan operasi *control valve* pada sistem turbin uap.



Gambar 3.2 *Injection grease control valve* tersumbat.

### 3.1.2 Root Cause Analysis (RCA)

Metode *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama kegagalan dengan melakukan *5 why analysis* untuk menunjukan faktor yang mempengaruhi terjadinya kegagalan di *control valve* menggunakan *fishbone diagram*



Gambar 4.4 Diagram *fishbone*.

Faktor – faktor penyebab terjadinya kegagalan pada *control valve* pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Faktor penyebab dan detail masalah

No	Faktor	Penyebab	Detail Masalah	Verifikasi	Analisa
1	Manusia	Kurang monitoring pressure	Operator tidak melakukan pemantauan tren tekanan hidrolik secara berkala sehingga kenaikan tekanan sebelum trip tidak segera ditangani	Evaluasi histori DCS menunjukkan monitoring tetap dilakukan sesuai SOP dan tidak ada kelalaian signifikan	Tidak terbukti
2	Metode	Belum diterapkan predictive maintenance	Sistem maintenance masih bersifat corrective sehingga degradasi komponen tidak terdeteksi lebih awal	Review program maintenance menunjukkan belum adanya condition-based monitoring	Terbukti
3	Mesin	Filter actuator clogging	Penyumbatan filter menyebabkan aliran oli terhambat dan tekanan hidrolik meningkat	Hasil pembongkaran actuator ditemukan endapan/kotoran pada filter	Terbukti
3	Mesin	Stem valve berat	Gesekan meningkat sehingga respon buka-tutup valve melambat	Uji stroke manual menunjukkan pergerakan stem tidak smooth dan membutuhkan tekanan lebih tinggi	Terbukti
4	Measurement	Sensor LVDT kurang akurat	Dugaan adanya deviasi pembacaan posisi valve	Setelah dilakukan kalibrasi ulang, sensor masih dalam batas toleransi	Tidak terbukti
5	Material	Kualitas oli hidrolik menurun	Dugaan kontaminasi oli menyebabkan gangguan sistem hidrolik	Hasil oil analysis menunjukkan kualitas oli masih dalam standar operasional	Tidak terbukti

Dari masalah yang di temukan pada saat inspeksi merupakan spare part yang harus dilakukan analisa menggunakan 5 why analisis untuk mengetahui akar penyebab seperti berikut :



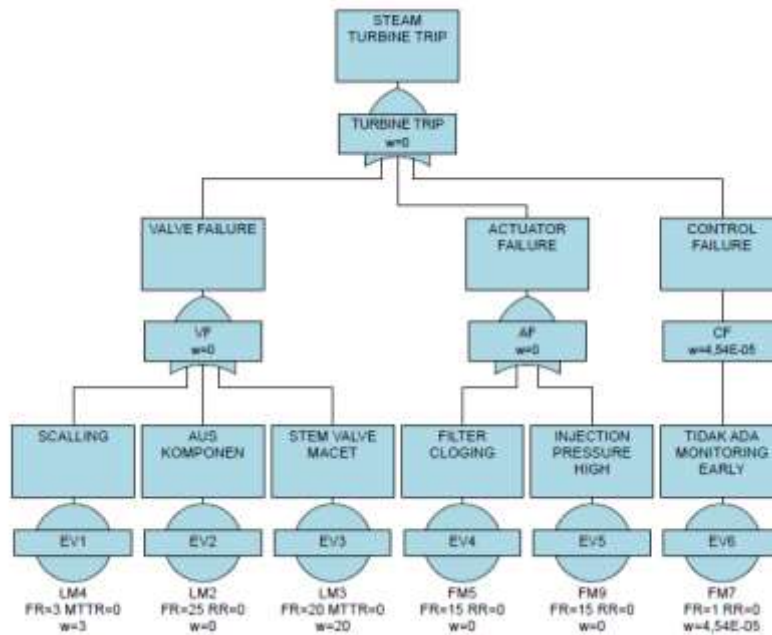
Gambar 4.5 Diagram 5 why analysis.

Hasil analisis 5-Why menunjukkan bahwa akar penyebab utama kegagalan *control valve* adalah tidak diterapkannya *predictive maintenance* dan tidak adanya *monitoring trend* performa sistem hidrolik. Akar penyebab tersebut kemudian dimodelkan sebagai *basic event* dalam *Fault Tree Analysis*.

### 3.1.3 Failure Tree Analysis (FTA)

#### a. Top Event

*Top event* pada penelitian ini adalah terjadinya *steam turbine trip* akibat kegagalan operasi *control valve* pada sistem turbin uap di PLTP XYZ Wonosobo.



Gambar 4.6 *Fault Tree Analysis*

#### b. Intermediate event

Tabel 3.2 *Intermediate event*.

No	Event	Kode	Unavailability (w)
1	Valve Failure	VF	0
2	Actuator Failure	AF	0
3	Control Failure	CF	4.54E-05

#### c. Basic event

Tabel 3.3 *Basic Events*

No	Event	Kode	Failure Rate (FR)	Unavailability (w)
1	Scalling	EV1	3	3
2	Aus Komponen	EV2	25	0
3	Stem Valve Macet	EV3	20	20
4	Filter Clogging	EV4	15	0
5	Injection Pressure High	EV5	15	0
6	Tidak Ada Monitoring Early	EV6	1	4.54E-05

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh faktor-faktor dominan yang berkontribusi terhadap kegagalan operasi control valve hingga menyebabkan steam turbine trip pada sistem PLTP XYZ Wonosobo. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi akar penyebab kegagalan melalui pendekatan sebab-akibat serta pemodelan hubungan logika kegagalan sistem.

#### 1. Analisis hasil metode *Root Cause Analysis* (RCA).

Hasil analisis RCA menunjukkan bahwa faktor paling dominan penyebab kegagalan control valve berasal dari faktor metode pemeliharaan (maintenance method), yaitu belum diterapkannya sistem *predictive maintenance* dan *monitoring trend* performa sistem hidrolik secara berkelanjutan. Kondisi ini menyebabkan indikasi awal kerusakan seperti kenaikan *hydraulic injection* pressure, peningkatan gesekan *stem valve*, dan penurunan performa *actuator* tidak dapat terdeteksi sejak dini.

Melalui pendekatan *5-Why Analysis* diketahui bahwa:

1. *Control valve* mengalami respon buka-tutup yang tidak stabil.
2. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya tekanan hidrolik *actuator*.
3. Tekanan meningkat akibat adanya *filter actuator clogging* dan *stem valve* yang berat.
4. Kerusakan tersebut tidak segera diketahui karena tidak adanya *monitoring* kondisi secara *real-time*.
5. Akar penyebab utamanya adalah belum diterapkannya *predictive maintenance* dan *condition-based monitoring*.

Selain faktor metode, ditemukan pula faktor mesin sebagai penyebab langsung (direct cause), yaitu:

1. *Filter actuator clogging* akibat endapan kotoran pada sistem hidrolik.
2. *Stem valve* macet akibat peningkatan gesekan mekanis.
3. *Mechanical thrust ring* mengalami kerusakan.
4. *Injection grease stem* dan *shaft valve* tersumbat.

Faktor-faktor tersebut menyebabkan *actuator* membutuhkan tekanan lebih tinggi untuk mengoperasikan *valve* hingga mencapai 47–48 (bar), melebihi kondisi normal operasi. Akibatnya *respon control valve* menjadi lambat dan tidak stabil sehingga berpotensi mengaktifkan sistem proteksi turbin.

Dengan demikian, berdasarkan metode *Root Cause Analysis* (RCA) dapat disimpulkan bahwa faktor paling dominan adalah:

- a. Faktor metode: tidak adanya *predictive maintenance* dan *monitoring* dini.
- b. Faktor mesin: *filter actuator clogging* dan *stem valve* macet.

#### 2. Analisis hasil metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

Berdasarkan hasil *Fault Tree Analysis* (FTA), diketahui bahwa *top event* berupa *steam turbine trip* dipengaruhi oleh tiga *intermediate event* utama, yaitu:

1. *Valve Failure* (VF).
2. *Actuator Failure* (AF).
3. *Control Failure* (CF).

Dari ketiga *intermediate event* tersebut, faktor yang paling dominan adalah *Control Failure* (CF) dengan nilai *unavailability* sebesar:

$$w = 4.54 \times 10^{-5}$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa kegagalan sistem kontrol memiliki kontribusi terbesar terhadap terjadinya *steam turbine trip* dibandingkan *event* lainnya.

Pada *level basic event*, hasil analisis menunjukkan bahwa *event*:

a. Tidak ada *Monitoring Early* (EV6).

Menjadi *basic event* paling dominan karena merupakan satu-satunya *event* yang memiliki nilai *unavailability* tidak nol. Hal ini membuktikan bahwa kegagalan sistem *monitoring* dini menjadi penyebab utama berkembangnya kerusakan tanpa tindakan *preventif*.

Selain itu, *event* lain yang memiliki kontribusi besar secara teknis adalah:

- a. *Stem Valve Macet* (EV3).
- b. *Scalling* (EV1).

Kedua *event* tersebut menyebabkan hambatan mekanis pada *control valve* sehingga *actuator* bekerja lebih berat dan *respon valve* menjadi tidak stabil.

Secara keseluruhan, hasil FTA menunjukkan bahwa:

1. Kegagalan sistem kontrol dan *monitoring* merupakan faktor dominan penyebab *turbine trip*.
2. Kegagalan *mekanis valve* seperti *stem macet* dan *scalling* menjadi penyebab teknis utama yang memperburuk kondisi operasi.
3. Tidak adanya sistem deteksi dini menyebabkan kerusakan berkembang hingga sistem *proteksi* turbin aktif secara otomatis.

Berdasarkan integrasi hasil *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat disimpulkan bahwa kegagalan *operasi control valve* terjadi akibat kombinasi antara:

- a. lemahnya *sistem* pemeliharaan.
- b. Tidak adanya *monitoring* prediktif.
- c. Serta degradasi mekanis pada *actuator* dan *stem valve*.

Kondisi tersebut menyebabkan *control valve* tidak mampu merespon kebutuhan sistem secara optimal sehingga memicu *steam turbine trip* sebagai bentuk *proteksi* sistem pembangkit.

### 3.1.4 Rekomendasi Saran Perbaikan.

Berdasarkan hasil analisis RCA dan FTA, rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan *predictive maintenance* dan *condition monitoring* pada *sistem control valve* untuk mendeteksi potensi kegagalan lebih awal.
2. Melakukan pembersihan dan penggantian *filter actuator* secara berkala untuk mencegah *clogging* pada sistem hidrolik.
3. Melakukan inspeksi rutin pada *stem valve*, *thrust ring*, dan sistem *injection grease* untuk mengurangi hambatan mekanis.
4. Melakukan *monitoring trend hydraulic pressure* secara berkala melalui sistem *Distributed Control System* (DCS) agar kenaikan tekanan dapat segera diidentifikasi.
5. Menyusun jadwal *preventive maintenance* dan pergantian *spare part* secara berkala untuk meningkatkan keandalan operasi *control valve* dan mencegah *steam turbine trip*.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai implementasi *Root Cause Analysis* dan *Fault Tree Analysis* terhadap kegagalan operasi *control valve* di PLTP XYZ Wonosobo, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1). Moda kegagalan *control valve* meliputi *filter actuator clogging*, *stem valve macet*, kerusakan *mechanical thrust ring*, serta tersumbatnya *injection grease* pada *stem* dan *shaft valve* yang menyebabkan *respon valve* tidak stabil hingga memicu *steam turbine trip*. 2). Penyebab utama kegagalan berasal dari faktor *metode* dan mesin, yaitu belum diterapkannya *predictive maintenance* serta meningkatnya gesekan dan tekanan *hidrolik* pada *sistem valve*. 3). Sistem *proteksi control valve* mampu mencegah kerusakan lebih besar melalui mekanisme *steam turbine trip*, namun sistem *monitoring* dini belum optimal dalam mendeteksi potensi kegagalan. 4). Mitigasi yang

direkomendasikan meliputi penerapan *predictive maintenance*, *monitoring hydraulic* pressure secara berkala, inspeksi rutin *actuator* dan *stem valve*, serta penggantian *spare part* secara *preventif* untuk meningkatkan keandalan operasi turbin uap.

## Referensi

1. Devalma, A. Ulah, and A. Faizal, "Reliability Analysis of Steam Turbine Instrumentation Using the Failure Mode and Effect Analysis ( FMEA ) Method at PT . PLN Nusantara Power UP Tenayan," vol. 11, no. 2, pp. 185–192, 2024, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v11i2.
2. Y. Adedayo, E. Engineering, and T. Nadu, "Reference Design and Comparative Analysis of Model Reference Adaptive Control for Steam Turbine Speed Control," pp. 329–341, 2020, doi: 10.5937/fme2002329F.
3. L. Qiao and L. Fang, "Fracture Analysis of the Main Valve Stem in the Steam Turbine Fracture Analysis of the Main Valve Stem in the Steam Turbine," 2019, doi: 10.1088/1757-899X/677/3/032036.
4. A. S. Koliadiuk, M. H. Shulzhenko, O. M. Hubsnyi, and J. Company, "STRENGTH AND SERVICE LIFE OF A STEAM TURBINE STOP AND CONTROL," pp. 61–70, 2021.
5. C. F. Nascimento, P. Fernando, and F. Frutuoso, "The Use of a Root Cause Analysis Method for Industrial Plant Reliability Improvement and Engineering Design Feedback".
6. F. Guo, Y. Lyu, Z. Duan, Z. Fan, W. Li, and F. Chen, "Analysis of Regulating Valve Stem Fracture in a Petrochemical Plant," 2023.
7. L. Yang, S. Li, and J. Hou, "A Comprehensive Review of Flow-Induced Vibration and Fatigue Failure in the Moving Components of Control Valves," pp. 1–17, 2025.
8. Anzhar Devalma et al. (2024) *Reliability Analysis of Steam Turbine Instrumentation Using the FMEA Method*
9. M. Faqih, N. R. Arini, H. Elvian, and G. Prasetya, "The Development of A Reliability Evaluation Application for Power Plant Steam Turbine Vibrations to Predict Its Failure," vol. 9, no. 2, pp. 268–282, 2021.
10. Z. Yuan and Z. Gao, "Analysis and Improvement Practice for Stream Control Valve Stem Fracture of Back Pressure Steam Turbine," vol. 10, no. 11, pp. 58–66, 2024, doi: 10.6919/ICJE.202411.
11. Alpiyanti, M. Rusydi Alwi, Zulkifli, Surya Hariyanto (2023) Analisis Kegagalan Intercooler pada Mesin Utama Kapal Tugboat dengan Metode RCA dan ETA
12. Yogi Pratama Winata & Khafizh Rosyidi (2025) Quality Control Analysis Using Six Sigma Method and Root Cause Analysis on 100ml Bottles at PT XYZ Pandaan
13. Wan Mohd Haqqi Wan Ahmad et al. (2023) Root Cause Analysis on Manufacturing Defects in Brass Oxygen Valves
14. Wahyu Cakra Nugraha, Raffy Arrasyfzra Prayogo, Aldela Ayu Titi Nurhawani (2026) Analisis Kegagalan Surge Control Valve pada APU Model GTCP331-350 Pesawat Airbus A330 Series di PT GMF AeroAsia Tbk
15. Patel et al. (2022) Estimation of the Time for Steam Generator Trip Due to Cyber Intrusions