

Evaluasi Korosi Disk Gate Valve Drain TCA PLTGU Priok

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Ari Fajar Nahor³

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID, Fajar@gmail.com

Abstract

The drain TCA gate valve disk in Unit 3 of PLTGU Priok experienced material degradation dominated by corrosion. This study evaluates the influence of working-fluid temperature and pressure on disk damage using visual observation, metallographic testing, SEM-EDX characterization, Vickers hardness testing, operating-parameter calculation, and fishbone analysis. The investigated disk material was stainless steel SUS316. Metallographic observations showed ferrite and pearlite phases, local voids, and indications of decarburization near the grain boundary. SEM-EDX analysis identified C, N, O, and Fe with weight fractions of 6.87%, 0.50%, 0.72%, and 91.90%, respectively. The average hardness of the used disk was 192 HV, equivalent to about 190 HB and 92 HRC, while comparison with new disk data indicated a significant hardness reduction. Operating analysis showed that pressure increased from 16.57 bar to 18.23 bar and temperature increased from 464.8 deg C to 485 deg C when damage risk became critical. These results indicate that high pressure and temperature accelerate corrosion reactions, reduce material resistance, and shorten valve service life. Strict monitoring of pressure, temperature, cooling effectiveness, and material condition is therefore required

Keywords: gate valve; corrosion; SEM-EDX; Vickers hardness; PLTGU Priok

Abstrak

Disk gate valve drain TCA Unit 3 PLTGU Priok mengalami degradasi material yang didominasi oleh korosi. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh suhu dan tekanan fluida kerja terhadap kerusakan disk menggunakan pengamatan visual, pengujian metalografi, karakterisasi SEM-EDX, pengujian kekerasan Vickers, perhitungan parameter operasi, dan analisis fishbone. Material disk yang dianalisis adalah stainless steel SUS316. Hasil metalografi menunjukkan fasa ferrite dan pearlite, keberadaan void lokal, serta indikasi dekarburisasi pada daerah batas butir. Hasil SEM-EDX menunjukkan unsur C, N, O, dan Fe dengan fraksi berat masing-masing 6,87%, 0,50%, 0,72%, dan 91,90%. Kekerasan rata-rata disk bekas adalah 192 HV atau setara sekitar 190 HB dan 92 HRC, sedangkan perbandingan dengan data disk baru menunjukkan penurunan kekerasan yang signifikan. Analisis operasi menunjukkan tekanan naik dari 16,57 bar menjadi 18,23 bar dan suhu naik dari 464,8 deg C menjadi 485 deg C saat risiko kerusakan menjadi kritis. Hasil ini menunjukkan bahwa tekanan dan suhu tinggi mempercepat reaksi korosi, menurunkan ketahanan material, dan memperpendek umur pakai valve. Pemantauan tekanan, suhu, efektivitas pendinginan, dan kondisi material perlu dilakukan lebih ketat.

Kata kunci: gate valve; korosi; SEM-EDX; kekerasan Vickers; PLTGU Priok

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan pembangkit siklus kombinasi yang memanfaatkan turbin gas, Heat Recovery Steam Generator (HRSG), dan turbin uap untuk meningkatkan pemanfaatan energi panas gas buang. Pada sistem ini, keandalan komponen bantu tetap penting karena gangguan pada jalur drain, katup, dan sistem pendinginan dapat memengaruhi kontinuitas operasi serta keselamatan peralatan bertekanan. Oleh karena itu, evaluasi komponen yang bekerja pada lingkungan temperatur dan tekanan tinggi perlu dilakukan secara terstruktur, khususnya pada unit yang beroperasi secara berulang dalam siklus termal pembangkit [4-6].

Gate valve berfungsi mengatur pembukaan dan penutupan aliran pada sistem perpipaan pembangkit. Pada area drain turbine cooling air (TCA), disk gate valve menerima kontak langsung dengan fluida panas dan bertekanan, sehingga komponen ini rentan terhadap tegangan mekanik, perubahan temperatur, dan degradasi permukaan. Kajian aliran dan tegangan pada gate valve menunjukkan bahwa geometri disk, distribusi tekanan, dan karakter aliran dapat memengaruhi konsentrasi tegangan serta umur pakai komponen, sedangkan manual PLTGU Priok menunjukkan bahwa material disk menggunakan stainless steel SUS316 yang harus bekerja pada kondisi operasi berat [2,3,19].

Korosi pada komponen logam tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi material, tetapi juga oleh temperatur, tekanan, keberadaan oksigen, kontak fluida, dan ketidakhomogenan mikrostruktur. Pada stainless steel,

lingkungan panas dapat mempercepat oksidasi, mengubah kondisi batas butir, dan menurunkan ketahanan permukaan apabila lapisan pelindung tidak lagi stabil. Selain itu, void, dekarburisasi, penurunan kekerasan, dan konsentrasi tegangan dapat mempercepat inisiasi kerusakan lokal pada komponen yang menerima beban termal dan mekanik berulang [7,9-12]. Analisis kegagalan material perlu menggabungkan pengamatan visual, metalografi, SEM-EDX, dan uji kekerasan agar mekanisme kerusakan dapat dibaca dari beberapa bukti. Metalografi digunakan untuk melihat fasa, batas butir, void, dan indikasi perubahan mikrostruktur. SEM-EDX digunakan untuk mengamati morfologi permukaan serta komposisi unsur pada area rusak. Sementara itu, uji kekerasan Vickers memberikan informasi kuantitatif mengenai kemampuan material menahan penetrasi setelah mengalami operasi jangka panjang [8,13-16].

Selain aspek material, parameter operasi juga perlu dianalisis karena perpindahan panas dan aliran fluida menentukan beban kerja komponen. Temperatur fluida memengaruhi laju reaksi oksidasi dan perubahan sifat mekanik, sedangkan tekanan dan kecepatan aliran dapat meningkatkan tegangan serta potensi erosi-korosi pada permukaan disk. Oleh karena itu, perhitungan panas, tekanan, kecepatan aliran, dan perubahan relatif parameter operasi perlu digunakan untuk menghubungkan kondisi kerja dengan pola kerusakan disk gate valve [17,18]. Penelitian ini mengevaluasi kerusakan disk gate valve drain TCA Unit 3 PLTGU Priok dengan menitikberatkan pada hubungan antara tekanan, suhu fluida kerja, struktur mikro, komposisi unsur, kekerasan material, dan hasil analisis fishbone. Artikel ini disusun dari tugas akhir dengan judul yang disesuaikan agar lebih ringkas untuk format JTM, namun tetap mempertahankan substansi utama penelitian, yaitu identifikasi mekanisme kerusakan dan penyusunan rekomendasi pemeliharaan berbasis kondisi operasi dan degradasi material [1,7,9].

2. Metode Penelitian

2.1. Objek dan Data Penelitian

Penelitian menggunakan sampel disk gate valve drain TCA Unit 3 PLTGU Priok. Sampel berasal dari komponen yang mengalami kerusakan saat operasi. Material disk mengacu pada spesifikasi stainless steel SUS316. Pengambilan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara teknis, studi literatur, dan pengujian laboratorium. Pengujian dilakukan di laboratorium Institut Teknologi PLN dan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tahapan analisis meliputi identifikasi masalah, pengamatan visual, pengujian metalografi, pengujian SEM-EDX, pengujian kekerasan Vickers, perhitungan suhu dan tekanan kerja, serta analisis penyebab dengan diagram fishbone. Metode ini dipilih agar kerusakan tidak hanya dilihat dari bentuk visual, tetapi juga didukung bukti struktur mikro, komposisi unsur, kekerasan material, dan parameter operasi.

2.2. Pengujian Metalografi, SEM-EDX, dan Kekerasan

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat struktur mikro material. Sampel dipotong, diratakan, dimounting, digerinda menggunakan amplas bertahap, dipoles, kemudian dietsa menggunakan Kalling reagent. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk melihat fasa, batas butir, void, serta indikasi perubahan struktur akibat operasi pada suhu tinggi. Pengujian SEM-EDX digunakan untuk mengamati morfologi permukaan pada perbesaran tinggi dan mengidentifikasi unsur kimia pada area yang diuji. Pengujian kekerasan Vickers dilakukan pada enam titik pengamatan untuk memperoleh nilai kekerasan rata-rata disk bekas. Hasil Vickers kemudian dikonversi ke skala Brinell dan Rockwell-B untuk memudahkan interpretasi mekanik.

2.3. Rumus Analisis Operasi

Rumus teknis ditulis ulang dalam format persamaan bernomor agar lebih lazim untuk Microsoft Word. Perpindahan panas dihitung dari laju aliran massa dan entalpi. Perbedaan temperatur rata-rata logaritmik digunakan sebagai indikator beda temperatur efektif. Tekanan keluar diperkirakan dari tekanan operasi dan penurunan tekanan. Kecepatan aliran digunakan sebagai indikator pengaruh fluida terhadap permukaan disk.

$$Q_c = \dot{m} \times h_g \quad (1)$$

$$LMTD = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad (2)$$

$$P_2 = P_1 - \Delta P \quad (3)$$

$$v = Q / A \quad (4)$$

$$Re = (\rho \times v \times D) / \mu \quad (5)$$

$$\Delta P_r (\%) = [(P_{\text{rusak}} - P_{\text{normal}}) / P_{\text{normal}}] \times 100\% \quad (6)$$

$$\Delta T_r (\%) = [(T_{\text{rusak}} - T_{\text{normal}}) / T_{\text{normal}}] \times 100\% \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Spesifikasi Material dan Kondisi Operasi

Berdasarkan manual book PLTGU Priok, komponen body dan bonnet menggunakan stainless steel A182 F316, stem menggunakan SUS630, disk menggunakan SUS316, yoke menggunakan SUS416, stem nut menggunakan SUS360, dan handwheel menggunakan cast iron/steel FCM8 27-05. Fokus artikel adalah disk gate valve karena bagian ini menerima kontak langsung dengan fluida kerja dan mengalami kerusakan.

Tabel 1. Spesifikasi ringkas komponen gate valve

Komponen	Material	Kode
Body	Stainless steel	A182 F316
Bonnet	Stainless steel	A182 F316
Stem	Stainless steel	SUS630
Disk	Stainless steel	SUS316
Yoke	Stainless steel	SUS416
Stem nut	Stainless steel	SUS360

Data operasi menunjukkan suhu masuk 464,8 deg C, suhu keluar 230 deg C, laju aliran 47,24 kg/s, penurunan tekanan 0,16 kg/cm², tekanan operasi 16,57 kg/cm², kecepatan aliran 1574,67 m/s, dan entalpi 2534,76 kJ/kg. Nilai ini menunjukkan bahwa disk bekerja pada kondisi termal dan mekanik tinggi sehingga rentan terhadap korosi dan tegangan termal apabila pendinginan atau batas operasi tidak terjaga.

Tabel 2. Parameter operasi drain TCA

Parameter	Nilai	Satuan	Simbol
Suhu masuk	464,8	deg C	T1
Suhu keluar	230	deg C	T2
Laju aliran	47,24	kg/s	m_dot
Penurunan tekanan	0,16	kg/cm ²	Delta P
Tekanan operasi	16,57	kg/cm ²	P1
Kecepatan aliran	1574,67	m/s	v
Entalpi	2534,76	kJ/kg	h_g

3.2. Hasil Metalografi

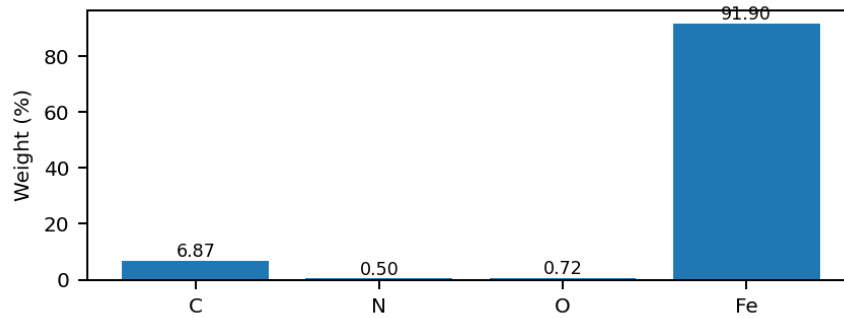
Hasil pengamatan metalografi memperlihatkan struktur mikro yang terdiri atas fasa ferrite berwarna terang dan pearlite berwarna gelap. Fasa ferrite tampak lebih dominan dibandingkan pearlite. Pada beberapa area ditemukan void yang menjadi indikasi awal lokasi korosi. Daerah batas butir masih terlihat jelas dan menunjukkan indikasi dekarburisasi, yaitu kondisi yang dapat menurunkan sifat mekanik material. Keberadaan void penting diperhatikan karena void dapat berperan sebagai konsentrator tegangan. Saat disk menerima tekanan, suhu tinggi, dan kontak fluida berulang, void dapat mempercepat inisiasi korosi lokal. Pada kondisi tersebut, permukaan disk tidak lagi homogen sehingga reaksi korosi dan degradasi mekanik lebih mudah berkembang di titik lemah material.

3.3. Hasil SEM-EDX

Pengujian SEM menunjukkan morfologi permukaan berwarna putih keperakan dengan keberadaan void pada perbesaran 10,0 um. Hasil EDX menunjukkan unsur C, N, O, dan Fe dengan fraksi berat masing-masing 6,87%, 0,50%, 0,72%, dan 91,90%. Keberadaan oksigen pada area uji menunjukkan keterlibatan reaksi oksidasi, sedangkan kandungan karbon dan perubahan struktur mikro berkaitan dengan proses dekarburisasi dan penurunan sifat material.

Tabel 3. Hasil komposisi SEM-EDX

Unsur	Weight (%)	Atomic (%)	Interpretasi
C	6,87	25,43	Terkait karbon dan perubahan struktur
N	0,50	0,80	Unsur minor pada area uji
O	0,72	0,58	Indikasi oksidasi/korosi
Fe	91,90	73,19	Unsur dominan material



Grafik 1. Komposisi unsur hasil SEM-EDX berdasarkan weight percent

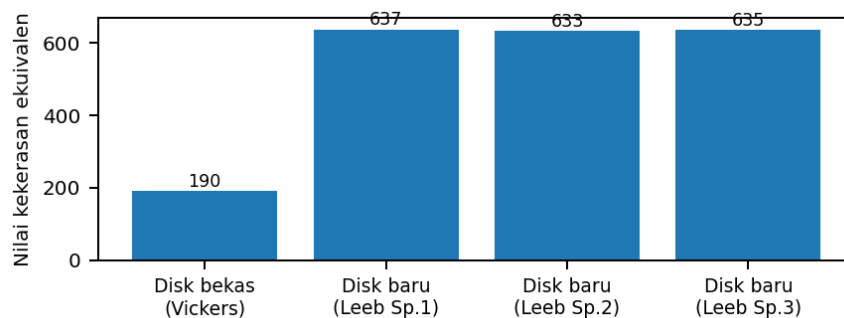
3.4. Hasil Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers pada enam titik menghasilkan nilai 192,2 HV; 199,4 HV; 191,4 HV; 184,2 HV; 204,4 HV; dan 182,1 HV. Nilai rata-rata sebesar 192 HV. Jika dikonversi, nilai tersebut setara dengan sekitar 190 HB dan 92 HRB. Nilai ini lebih rendah dibanding data pembandingan material disk baru yang berada pada kisaran 633-637 HL.

Tabel 4. Data pengujian kekerasan Vickers

No.	Diagonal 1 (um)	Diagonal 2 (um)	HV
1	54,49	53,15	192,2
2	52,98	52,65	199,4
3	53,56	54,27	191,4
4	54,13	55,79	184,2
5	52,35	51,98	204,4
6	55,39	55,15	182,1
Rata-rata	53,82	53,83	192

Penurunan kekerasan mengindikasikan bahwa disk telah mengalami degradasi akibat operasi jangka panjang. Void, korosi, dan paparan suhu tinggi dapat menurunkan kemampuan material menahan beban. Kondisi ini sejalan dengan analisis bahwa disk bekas telah digunakan sekitar 4-5 tahun sehingga mengalami interaksi berulang dengan fluida panas bertekanan.



Grafik 2. Perbandingan nilai kekerasan disk bekas dan data pembandingan disk baru

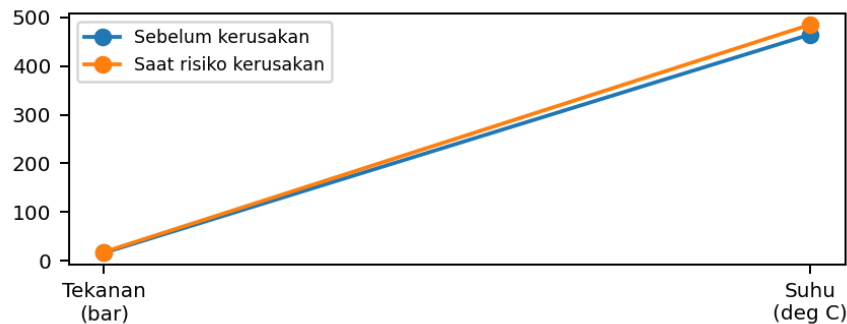
3.5. Perhitungan Suhu, Tekanan, dan Risiko Kerusakan

Perhitungan perpindahan panas menggunakan laju aliran massa 47,24 kg/s dan entalpi 2534,76 kJ/kg menghasilkan Q_c sebesar 119742,1 kJ/s. Nilai LMTD yang dihitung adalah 43,013 deg C. Temperatur disk dihitung sebesar 462,8 deg C. Data ini menunjukkan bahwa komponen menerima beban termal tinggi secara terus-menerus. Sebelum kerusakan, tekanan operasi berada pada 16,57 bar. Ketika udara panas bertekanan mencapai 18,23 bar, valve mengalami kerusakan, sehingga terjadi kenaikan tekanan sekitar 10%. Suhu operasi normal 464,8 deg C meningkat menjadi 485 deg C saat risiko kerusakan kritis, atau naik sekitar 5%. Kenaikan tekanan dapat

meningkatkan tegangan pada material, sedangkan kenaikan suhu mempercepat reaksi korosi dan menurunkan ketahanan material.

Tabel 5. Perbandingan kondisi normal dan kondisi risiko kerusakan

Parameter	Kondisi normal	Kondisi risiko	Kenaikan
Tekanan fluida kerja	16,57 bar	18,23 bar	+10%
Suhu fluida kerja	464,8 deg C	485 deg C	+5%
Perkiraan dampak tekanan	-	-	Kerusakan naik 15-20%
Perkiraan dampak suhu	-	-	Kerusakan naik 10-15%



Grafik 3. Perbandingan tekanan dan suhu terhadap kondisi risiko kerusakan

3.6. Analisis Fishbone

Analisis fishbone menunjukkan bahwa kerusakan disk gate valve dipengaruhi oleh faktor lingkungan, material, korosi, tekanan, dan temperatur. Faktor SDM, SOP operasi, perawatan berkala, kualitas komponen awal, dan flow yang sesuai prosedur tidak menjadi penyebab utama. Dengan demikian, akar masalah paling kuat berada pada kombinasi kondisi operasi dan degradasi material akibat kontak berulang dengan udara panas bertekanan.

Tabel 6. Ringkasan analisis fishbone kerusakan disk gate valve

Faktor	Analisis	Keterangan
SDM	Pegawai memiliki kompetensi perawatan gate valve	Bukan penyebab
Lingkungan	Kualitas udara/air bereaksi dengan logam saat valve beroperasi	Penyebab
Metode	Operasi mengikuti SOP dan perawatan berkala dilakukan	Bukan penyebab
Material	Umur pakai panjang meningkatkan kontak dengan udara panas	Penyebab
Korosi	Terjadi akibat perpindahan panas dan reaksi dengan fluida kerja	Penyebab
Mesin	Pressure dan temperatur tinggi mempercepat korosi	Penyebab

Hasil fishbone konsisten dengan metalografi, SEM-EDX, dan pengujian kekerasan. Void yang terdeteksi pada struktur mikro dan SEM menjadi lokasi potensial inisiasi korosi. Oksigen yang terdeteksi oleh EDX memperkuat indikasi oksidasi. Penurunan kekerasan menunjukkan bahwa kemampuan material menahan beban telah menurun. Kombinasi tiga bukti ini mendukung kesimpulan bahwa disk mengalami degradasi akibat paparan operasi panas dan bertekanan.

3.7. Implikasi Teknis untuk Pemeliharaan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeliharaan disk gate valve perlu diarahkan pada pemantauan kondisi operasi dan kondisi material. Tekanan dan temperatur drain TCA sebaiknya dipantau secara real time atau dengan

interval inspeksi yang lebih rapat, terutama pada unit dengan riwayat korosi. Ketika tekanan mendekati kenaikan 10% atau temperatur mendekati batas 485 deg C, tindakan mitigasi perlu diprioritaskan sebelum terjadi kerusakan struktural.

Selain itu, pemeriksaan visual saja tidak cukup. Kombinasi inspeksi visual, hardness test, metalografi, dan SEM-EDX memberikan dasar yang lebih kuat untuk menentukan apakah disk masih layak digunakan. Pada komponen yang telah mengalami void, penurunan kekerasan, dan indikasi korosi, penggantian material atau perbaikan desain pendinginan perlu dipertimbangkan agar kegagalan berulang dapat dicegah.

Tabel 7. Rekomendasi pemantauan dan tindakan perbaikan

Area	Parameter yang dipantau	Tindakan teknis
Operasi	Tekanan dan suhu fluida kerja	Pasang batas alarm dan evaluasi tren operasi
Material	Kekerasan, void, korosi lokal	Lakukan inspeksi berkala dan uji hardness
Pendinginan	Efektivitas drain TCA	Pastikan pendinginan tidak terganggu
Pemeliharaan	Riwayat umur pakai	Tentukan interval penggantian berbasis kondisi
Desain	Kesesuaian material SUS316	Evaluasi material alternatif untuk kondisi ekstrem

3.8. Relevansi Hasil terhadap Format Artikel JTM

Dalam format jurnal teknik, hasil penelitian perlu disajikan secara padat dengan hubungan yang jelas antara data, metode, rumus, dan interpretasi. Oleh karena itu, data skripsi yang semula panjang diringkas menjadi parameter kunci: struktur mikro, unsur SEM-EDX, kekerasan Vickers, tekanan, suhu, dan hasil fishbone. Penyajian ini tetap mempertahankan substansi teknis tetapi lebih sesuai untuk pembaca jurnal.

Rumus-rumus yang digunakan juga disederhanakan dan diberi nomor. Notasi Q_c , $m_{\dot{}}$, h_g , LMTD, P_1 , P_2 , ΔP , v , dan Re digunakan secara konsisten agar pembaca dapat mengikuti perhitungan. Tabel dibuat ringkas agar tidak terlalu memakan ruang, sedangkan grafik ditambahkan untuk memperjelas perbandingan komposisi, kekerasan, dan kondisi operasi.

3.9. Diskusi Lanjutan

Kerusakan disk gate valve tidak dapat dijelaskan hanya oleh satu faktor. Tekanan tinggi meningkatkan tegangan mekanik pada disk, sedangkan suhu tinggi mempercepat reaksi kimia pada permukaan material. Jika di permukaan material telah terdapat void atau ketidakhomogenan mikrostruktur, maka area tersebut menjadi titik awal korosi lokal. Seiring waktu, korosi lokal berkembang dan menurunkan kekerasan material. Hasil penelitian juga menunjukkan pentingnya pendekatan failure analysis pada peralatan pembangkit. Analisis ini dapat membantu pembangkit memutuskan apakah komponen masih layak digunakan, perlu direkondisi, atau harus diganti. Dengan pendekatan berbasis data, keputusan pemeliharaan tidak hanya didasarkan pada jadwal, tetapi juga pada kondisi aktual material dan parameter operasi.

Pengembangan penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan uji korosi terkontrol pada beberapa variasi suhu dan tekanan, simulasi tegangan menggunakan finite element analysis, serta perbandingan material alternatif. Pengujian tambahan seperti XRD, uji tarik mikro, dan fraktografi juga dapat memperkuat identifikasi mekanisme kerusakan, terutama untuk membedakan kontribusi korosi, erosi, dan retak akibat tegangan termal.

3.10. Keterbatasan dan Validasi Data

Artikel ini menggunakan data dari sampel disk gate valve yang telah mengalami kerusakan dan data operasi yang tersedia pada saat penelitian. Oleh karena itu, interpretasi hasil difokuskan pada hubungan teknis antara kondisi operasi, struktur mikro, komposisi unsur, dan kekerasan material. Nilai tekanan dan suhu yang digunakan merupakan parameter representatif untuk membandingkan kondisi normal dan kondisi ketika risiko kerusakan meningkat.

Keterbatasan utama penelitian adalah belum dilakukannya pengujian laju korosi terkontrol pada beberapa variasi fluida, tekanan, dan temperatur. Selain itu, uji komposisi dilakukan pada area tertentu sehingga hasilnya menggambarkan area uji, bukan seluruh volume disk. Meski demikian, konsistensi antara hasil metalografi, SEM-

EDX, hardness test, dan fishbone cukup kuat untuk mendukung diagnosis bahwa kerusakan dipicu oleh kombinasi korosi, suhu tinggi, tekanan tinggi, dan umur pakai. Validasi teknis dilakukan dengan membandingkan beberapa indikator. Pertama, hasil metalografi menunjukkan void dan indikasi dekarburisasi. Kedua, SEM-EDX menemukan oksigen pada area uji yang berkaitan dengan oksidasi. Ketiga, kekerasan disk bekas lebih rendah daripada data pembanding disk baru. Keempat, data operasi menunjukkan peningkatan tekanan dan suhu pada kondisi risiko. Empat indikator tersebut membentuk pola kerusakan yang saling mendukung.

Tabel 8. Matriks validasi diagnosis kerusakan

Bukti	Hasil utama	Makna teknis
Metalografi	Ferrite dominan, pearlite, void, dan indikasi dekarburisasi	Ada perubahan mikrostruktur dan lokasi awal korosi
SEM-EDX	Fe dominan, O terdeteksi, C relatif tinggi pada area uji	Mendukung indikasi oksidasi dan degradasi permukaan
Hardness test	Rata-rata 192 HV, setara 190 HB dan 92 HRB	Kekerasan material menurun dibanding disk baru
Operasi	Tekanan 18,23 bar dan suhu 485 deg C pada kondisi risiko	Beban mekanik dan termal mendorong kerusakan
Fishbone	Penyebab dominan: lingkungan, umur pakai, korosi, pressure, temperatur	Akar masalah tidak tunggal, tetapi kombinasi faktor

3.11. Usulan Strategi Preventive Maintenance

Berdasarkan hasil analisis, preventive maintenance pada gate valve drain TCA sebaiknya diarahkan pada pemantauan berbasis kondisi. Pemeriksaan visual perlu tetap dilakukan, tetapi tidak boleh menjadi satu-satunya dasar keputusan. Pada interval tertentu, pengukuran kekerasan permukaan, pemeriksaan kebocoran, dan inspeksi permukaan disk perlu dilakukan untuk mendeteksi gejala awal kerusakan. Jika ditemukan indikasi pitting, void terbuka, atau perubahan warna akibat oksidasi, komponen perlu diprioritaskan untuk pemeriksaan lanjutan. Strategi pemeliharaan juga perlu memasukkan batas operasi praktis. Ketika tekanan mendekati kenaikan 10% dari kondisi normal atau suhu mendekati 485 deg C, operator perlu mengevaluasi kondisi pendinginan, kestabilan aliran, dan kemungkinan gangguan pada sistem drain. Alarm tekanan dan suhu yang sensitif dapat membantu mencegah komponen bekerja terlalu lama pada kondisi yang mempercepat korosi.

Dari sisi material, penggunaan SUS316 perlu terus dievaluasi terhadap lingkungan aktual. Apabila kerusakan berulang terjadi pada interval yang pendek, alternatif material dengan ketahanan korosi dan kekuatan temperatur tinggi yang lebih baik dapat dipertimbangkan. Namun, pemilihan material tidak boleh dilakukan hanya berdasarkan kekuatan nominal; kompatibilitas dengan fluida, temperatur, tekanan, biaya, ketersediaan, dan kemudahan perawatan juga perlu dipertimbangkan. Penerapan riwayat komponen juga penting. Setiap disk gate valve sebaiknya memiliki catatan umur pakai, riwayat operasi, hasil inspeksi, hasil penggantian, dan temuan kerusakan. Dengan basis data tersebut, pola kerusakan dapat dianalisis dari waktu ke waktu. Pembangkit dapat menentukan apakah kerusakan terjadi karena abnormalitas operasi, kelemahan material, masalah pendinginan, atau kombinasi beberapa faktor. Pendekatan ini akan meningkatkan akurasi keputusan pemeliharaan dan mengurangi risiko kegagalan mendadak.

3.12. Strategi Pemantauan Berbasis Risiko

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa disk gate valve drain TCA perlu dipantau dengan pendekatan berbasis risiko, bukan hanya berdasarkan interval waktu. Risiko utama berasal dari kombinasi suhu tinggi, tekanan tinggi, oksidasi, void mikrostruktur, dan penurunan kekerasan. Karena itu, parameter operasi dan kondisi material harus dibaca sebagai satu rangkaian informasi. Apabila tekanan naik mendekati 18,23 bar atau temperatur mendekati 485 deg C, pemeriksaan tidak cukup hanya dilakukan pada kondisi kebocoran visual, tetapi perlu diarahkan pada perubahan kekerasan, indikasi oksidasi, dan kondisi permukaan disk [7,9,10]. Pemantauan berbasis risiko dapat dimulai dengan menetapkan baseline operasi normal. Baseline tersebut mencakup tekanan, temperatur, laju aliran, histori pembukaan valve, umur pakai disk, dan hasil inspeksi terakhir. Data baseline kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual. Jika terjadi kenaikan tekanan sekitar 10% atau kenaikan temperatur sekitar 5% dari kondisi

normal, maka komponen perlu dimasukkan ke kategori pengawasan ketat. Pendekatan ini membantu mencegah kegagalan mendadak karena tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum disk mengalami korosi lebih lanjut.

Selain pemantauan operasi, inspeksi material perlu dijadwalkan pada komponen yang memiliki riwayat paparan panas tinggi. Uji kekerasan Vickers dapat digunakan sebagai pemeriksaan cepat untuk melihat kecenderungan penurunan kekuatan permukaan. Metalografi dan SEM-EDX tidak harus dilakukan pada setiap inspeksi rutin, tetapi perlu digunakan ketika ditemukan perubahan warna, pitting, void terbuka, atau indikasi korosi lokal. Kombinasi metode tersebut sesuai dengan prinsip failure analysis karena setiap temuan visual harus diverifikasi melalui bukti mikrostruktur dan komposisi unsur [8,13-16].

Tabel 9. Strategi pemantauan berbasis risiko disk gate valve drain TCA

Indikator	Batas perhatian	Metode pemeriksaan	Tindakan awal
Tekanan fluida	Naik mendekati 18,23 bar	Trending operasi	Evaluasi drain dan beban termal
Temperatur fluida	Naik mendekati 485 deg C	Monitoring temperatur	Cek efektivitas pendinginan
Permukaan disk	Pitting/oksidasi/void terbuka	Visual, SEM-EDX bila perlu	Inspeksi lanjut atau penggantian
Kekerasan material	Turun dari baseline	Vickers hardness test	Evaluasi kelayakan pakai

Tabel 9 menunjukkan bahwa evaluasi kondisi disk perlu dibuat praktis agar dapat digunakan oleh operator dan tim pemeliharaan. Indikator tekanan dan temperatur dapat dipantau secara operasional, sedangkan kondisi permukaan dan kekerasan diperiksa melalui inspeksi berkala. Jika beberapa indikator menyimpang secara bersamaan, keputusan perbaikan harus diprioritaskan karena potensi korosi dan penurunan ketahanan material menjadi lebih besar. Strategi ini juga menuntut dokumentasi riwayat komponen. Setiap disk yang dipasang sebaiknya memiliki catatan tanggal pemasangan, durasi operasi, kondisi tekanan dan temperatur tertinggi, hasil inspeksi, serta alasan penggantian. Dengan data tersebut, pembangkit dapat menentukan apakah kerusakan lebih dominan disebabkan oleh umur pakai, fluktuasi operasi, pemilihan material, atau gangguan pendinginan. Dokumentasi yang konsisten akan memperkuat keputusan preventive maintenance dan membantu pemilihan material pada periode penggantian berikutnya [18,19]. Batas operasi juga perlu dikaitkan dengan keputusan penggantian material. Jika disk SUS316 berulang kali menunjukkan penurunan kekerasan, pitting, atau oksidasi pada interval operasi yang pendek, maka evaluasi material alternatif perlu dilakukan. Material pengganti harus dipilih berdasarkan ketahanan korosi suhu tinggi, ketahanan tekanan, kompatibilitas dengan fluida TCA, dan kemudahan fabrikasi.

Dengan demikian, rekomendasi tidak hanya berupa penggantian komponen yang rusak, tetapi peningkatan keandalan sistem secara menyeluruh [9,10,12]. Dalam penerapan di lapangan, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar penyusunan daftar inspeksi khusus untuk gate valve drain TCA. Daftar tersebut memuat kondisi visual disk, status kebocoran, tren tekanan, tren temperatur, hasil hardness test, dan catatan abnormalitas operasi. Format yang konsisten akan memudahkan perbandingan antarperiode dan membantu tim pemeliharaan menentukan apakah komponen masih aman digunakan, perlu dipantau lebih rapat, atau harus diganti pada kesempatan shutdown berikutnya. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pemeliharaan berbasis kondisi. Komponen yang bekerja pada lingkungan panas dan bertekanan tinggi tidak selalu gagal secara tiba-tiba; biasanya terdapat gejala awal berupa perubahan warna, munculnya pitting, penurunan kekerasan, atau perubahan respons operasi. Jika gejala tersebut dicatat dan dianalisis, potensi kegagalan dapat dikurangi tanpa menunggu kerusakan menjadi kritis.

4. Kesimpulan

Tekanan dan suhu tinggi fluida kerja merupakan faktor utama yang menyebabkan kerusakan pada disk gate valve drain TCA Unit 3 PLTGU Priok. Korosi terjadi akibat interaksi kimiawi antara fluida kerja dan material valve, terutama pada suhu dan tekanan tinggi. Tekanan yang meningkat menaikkan tegangan pada material, sedangkan suhu tinggi mempercepat reaksi korosi dan menurunkan ketahanan material.

Kerusakan utama yang ditemukan adalah korosi material dengan indikasi void pada struktur mikro, penurunan kekerasan, dan unsur oksigen pada hasil SEM-EDX. Nilai kekerasan rata-rata disk bekas adalah 192 HV atau setara 190 HB dan 92 HRB. Hasil SEM-EDX menunjukkan Fe sebagai unsur dominan 91,90% berat, disertai C 6,87%, O 0,72%, dan N 0,50%. Kondisi operasi menunjukkan tekanan naik dari 16,57 bar menjadi 18,23 bar atau

sekitar 10%, sedangkan suhu naik dari 464,8 deg C menjadi 485 deg C atau sekitar 5%. Kombinasi kenaikan tersebut dapat mempercepat kerusakan disk valve. Pemantauan tekanan dan suhu, perbaikan sistem pendinginan, inspeksi material berkala, serta evaluasi pemilihan material diperlukan untuk menurunkan risiko kegagalan berulang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi PLN, dosen pembimbing, serta pihak PLTGU Priok yang telah mendukung pengambilan data, penyediaan sampel, dan pelaksanaan pengujian laboratorium.

Daftar Rujukan

- 1) Nahor AF. Analisis Pengaruh Tekanan dan Suhu Fluida Kerja Terhadap Kerusakan Material pada Disk Gate Valve Drain TCA pada Unit 3 PLTGU Priok. Tugas Akhir. Jakarta: Institut Teknologi PLN; 2024.
- 2) Wu H, Li JY, Gao ZX. Flow characteristics and stress analysis of a parallel gate valve. *Processes*. 2019;7(11):803.
- 3) Jatkar KH, Dhanwe SS. Finite element analysis of gate valve. *Asian Review of Mechanical Engineering*. 2013;2(1):44-49.
- 4) Woudstra N, Woudstra T, Pirone A, Van Der Stelt T. Thermodynamic evaluation of combined cycle plants. *Energy Conversion and Management*. 2010;51(5):1099-1110.
- 5) Hendri, Syammary R. Analisis efisiensi turbin gas tipe V94.2 sebelum dan sesudah minor inspection pada Blok 4 Unit 3 PLTGU Muara Tawar. *Jurnal Powerplant*. 2020;8(2):71-81.
- 6) Burhandono A. Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga gas dan uap. 2009.
- 7) ASM International. *ASM Handbook Volume 11: Failure Analysis and Prevention*. Materials Park: ASM International; 2002.
- 8) ASM International. *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures*. Materials Park: ASM International; 2004.
- 9) ASM International. *ASM Handbook Volume 13A: Corrosion*. Materials Park: ASM International; 2003.
- 10) Jones DA. *Principles and Prevention of Corrosion*. Upper Saddle River: Prentice Hall; 1996.
- 11) Hertzberg RW. *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*. New York: Wiley; 1996.
- 12) Dieter GE. *Mechanical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill; 1986.
- 13) ASTM E384. *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*. West Conshohocken: ASTM International; 2017.
- 14) ASTM E3. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. West Conshohocken: ASTM International; 2011.
- 15) ASTM E407. *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. West Conshohocken: ASTM International; 2015.
- 16) ASTM E1508. *Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy*. West Conshohocken: ASTM International; 2012.
- 17) Incropera FP, DeWitt DP, Bergman TL, Lavine AS. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Hoboken: Wiley; 2007.
- 18) Cengel YA, Cimbala JM. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill; 2014.
- 19) PT PLN. *Manual Book PLTGU Priok: Spesifikasi Material Gate Valve*. Jakarta; 2024.
- 20) Putra TS, Prabowo E, Ramadani F. Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar. *JTM: JURNAL TEKNIK MESIN*. 2026 Feb 1;2(1):10-5