

ANALISA KEGAGALAN TURBIN BLADE L-2 LP2 PLTU BATUBARA KAPASITAS 600 MW

Asep Hidayat¹, Meilinda Nurbanasari²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung
Email : asephdyt19@gmail.com

Received DD MM YYYY | Revised DD MM YYYY | Accepted DD 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. Dari hasil inspeksi secara visual ditemukan sudu turbin stage 5 mengalami kegagalan dan kerusakan pada bagian tenon dan shroud, maka perlu dilakukan analisa untuk menentukan penyebab dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada tenon dan shroud. Tahapan Analisa yang dilakukan meliputi inspeksi visual pada bagian tenon kemudian dilakukan verifikasi material dengan cara melakukan pengujian komposisi kimia, analisa struktur mikro dan uji kekerasan vikers. Setelah dilakukan verifikasi material dilanjutkan dengan pengujian fraktografi berupa mikroskop optik dan SEM EDS untuk mengetahui penyebab dan mekanisme kegagalannya. Hasil Pemeriksaan pada tenon sudu turbin uap dinyatakan mengalami kegagalan akibat patah fatigue dengan temuan berupa beachmarks pada area permukaan patahan.

Kata kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), turbin uap, sudu turbin, shroud, tenon, beachmarks, L-2 LP2.*

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 failed in the Steam Power Plant (PLTU) system with a capacity of 600 MW which has been operating effectively for more than 24 years. From the results of a visual inspection, it was found that the stage 5 turbine blade failed and damaged the tenon and shroud, it is necessary to do an analysis to determine the cause and mechanism of failure that occurred in the tenon and shroud. Stages of analysis carried out include visual inspection of the tenon section and then material verification by testing chemical composition, microstructure analysis and Vickers hardness test. After verifying the material, it is continued with fractographic testing in the form of optical mics and SEM EDS to find out the cause and mechanism of the failure. The results of the inspection on the tenon of the steam turbine blade were declared to have failed due to fatigue fracture with findings in the form of beachmarks on the fault surface area.

Keywords: *Steam Power Plant (PLTU), steam turbine, turbine blades, shroud, tenon, beachmarks, L-2 LP2.*

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menghasilkan daya listrik terbesar di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan generator untuk menghasilkan listrik dan turbin uap sebagai mesin penggerak nya. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. (Surya, 2019)

Beberapa hasil penelitian telah menunjukkan bahwa sudu tekanan rendah dari turbin uap umumnya ditemukan lebih rentan terhadap kegagalan dari sudu tekanan menengah dan tekanan tinggi. (Komara & Kusuma, 2014) Pada tahun 2021 salah satu turbin uap mengalami kegagalan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 600 MW yang telah beroperasi selama 24 tahun lebih mengalami shutdown akibat turbin tidak berfungsi. Hasil pemeriksaan sementara menunjukan kegagalan diakibatkan oleh kerusakan yang terjadi pada tenon dan shroud di posisi blade L-2 baik pada sisi generator maupun sisi governor ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sudu Turbin Low Pressure 2

Ruang lingkup kajian dalam penelitian ini berfokus pada kegagalan tenon sudu turbin L-2 LP2 PLTU batubara kapasitas 600 MW serta analisa kegagalan dilakukan pada sudu L-2 LP2 sisi generator dan governor, jenis material yang digunakan pada sudu turbin L-2 LP2 adalah 17-4 PH. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana mekanisme dan penyebab terjadinya kegagalan pada tenon sudu turbin.

2. METODOLOGI

2.1. Verifikasi Material

Pada tahap verifikasi material ini bertujuan untuk memastikan tidak ada kesalahan pada material yang digunakan yaitu 17-4 PH (Precipitation-Hardening Stainless Steel) dengan cara membandingkan hasil pengujian terhadap standar. Verifikasi material dilakukan dengan beberapa pengujian yaitu pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan analisa struktur mikro (ASM). Pengujian verifikasi material hanya dilakukan pada sudu turbin L-2 sisi generator.

2.2. Inspeksi Visual

Pemeriksaan secara visual bertujuan untuk mengidentifikasi awal kondisi komponen berupa temuan-temuan kerusakan atau cacat pada permukaan komponen dan mengamati karakteristik permukaan patahan atau kerusakan. Pemeriksaan untuk mendeteksi cacat atau kerusakan komponen dalam skala makro di permukaan maupun cacat yang spesifik seperti korosi, deformasi plastis, erosi dengan cara ini sangat terbatas.

2.3. Fraktografi

Pengujian fraktografi bertujuan untuk mempelajari permukaan patahan. Informasi penting mengenai sifat patah suatu bahan dapat diamati melalui pemeriksaan mikroskopik permukaan patah. Penampakan utama atau mode patahan yang diamati dalam analisis mikro-fraktografi secara umum adalah belahan. (Amin, 2016) Analisa permukaan patahan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM EDS.

3. HASIL DAN ANALISA

3.1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Proses verifikasi material yang pertama dilakukan yaitu pengujian komposisi kimia, hasil pengujian komposisi kimia di tunjukan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

		Element %Wt							
		Cr	Mn	Si	Ni	P	S	C	Cu
Hasil Uji 17-4 PH		15,84	0,330	0,23	4,20	0,018	0,001	0,047	3,434
Standar 17-4 PH (Upmeet.com/2022)	Min	15	-	-	3	-	-	-	3
	Max	17,5	1	1	5	0,04	0,03	0,07	3,5

Hasil verifikasi komposisi kimia material menunjukkan bahwa material sudu L-2 Gen yang digunakan masih berada dalam range standar material 17-4 PH yang di perhatikan pada tabel 1.

3.2. Hasil Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode mikro vikers dengan pembebanan 200 gram dan dwell time 15 detik. hasil pengujian harga kekerasan pada sudu turbin L-2 LP2 Gen ditunjukan pada tabel 2 dan 3 kemudian dibandingkan dengan material standarnya dalam rockwell c.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

Hasil Pengujian				
Titik Pengujian	d1	d2	d Avg	HV
1.	32,7	34,0	33,4	333
2.	32,8	35,6	34,2	317
3.	33,4	34,7	34,1	320
4.	33,4	35,7	34,6	311
5.	32,7	34,4	33,6	329
Avg HV				322

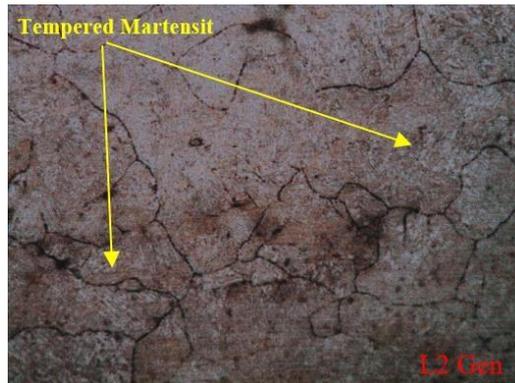
Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Dan Standar

No.	Hasil Uji 17-4 PH	Standar 17-4 PH (atimetals.com/2014)			
	Kekerasan (Rc)	Kondisi	Temperatur	Waktu	Kekerasan (Rc)
1	33,62	H 900	900 °F ± 10 (482 °C ± 5)	60 min ± 5 min	40 sampai 47
2		H 925	925 °F ± 10 (496 °C ± 5)	4 hrs ± 0,25 hr	38 sampai 45
3		H 1025	1025 °F ± 10 (552 °C ± 5)	4 hrs ± 0,25 hr	35 sampai 42
4		H 1075	1075 °F ± 10 (579 °C ± 5)	4 hrs ± 0,25 hr	33 sampai 39
5		H 1100	1100 °F ± 10 (593 °C ± 5)	4 hrs ± 0,25 hr	32 sampai 38
6		H 1150	1150 °F ± 10 (482 °C ± 5)	4 hrs ± 0,25 hr	28 sampai 37

Hasil pengujian harga kekerasan material 17-4 PH sudu turbin L-2 LP2 Gen menunjukkan bahwa nilai kekerasan dalam secara rockwell c masih berada dalam range standar kekerasan material 17-4 PH yang ditunjukkan pada tabel 3. Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan hasil uji material 17-4 PH sudu turbin uap telah memenuhi standar kekerasan material 17-4 PH.

3.3. Hasil Pengujian Analisa Struktur Mikro

Pada gambar 2 menunjukkan hasil dari pengamatan menggunakan mikroskop optik berupa struktur mikro material sudu turbin L-2 LP2 Gen.



Gambar 2. Struktur Mikro Hasil Uji Sudu L-2 LP2 Gen

Dapat dilihat pada gambar 2 dari hasil pengujian analisa struktur mikro menggunakan Etsa Vilella dengan pembesaran 400x didapatkan bahwa material sudu L-2 LP2 Gen memiliki fasa tempered martensit.

3.3. Inspeksi Visual

Inspeksi visual dilakukan dengan cara mengamati bagian patahan pada tenon sudu turbin L2 Gen dan L-2 Gov ditunjukkan pada gambar 3.

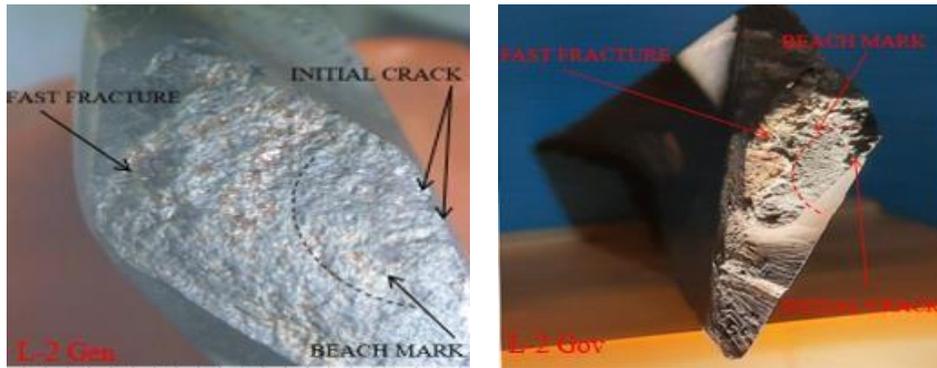


Gambar 2. Struktur Mikro Hasil Uji Sudu L-2 LP2 Gen

Dari hasil inspeksi visual kedua tenon sudu turbin menunjukkan adanya pola patahan pada kedua permukaan tenon seperti awal retakan dimulai, penjarangan retak dan area patah akhir yang belum terlihat jelas tapi bisa di prediksi dimana lokasi terjadinya pola patahan tersebut. Untuk memastikan fenomena yang terjadi pada patahan perlu dilakukan pengujian fraktografi agar mendapat informasi yang lebih jelas.

3.4. Mikroskop Optik

Pada gambar 3 dibawah ini merupakan hasil pengujian yang dilakukan menggunakan alat uji mikroskop optik pada tenon sudu turbin L-2 Gen dan L-2 Gov.

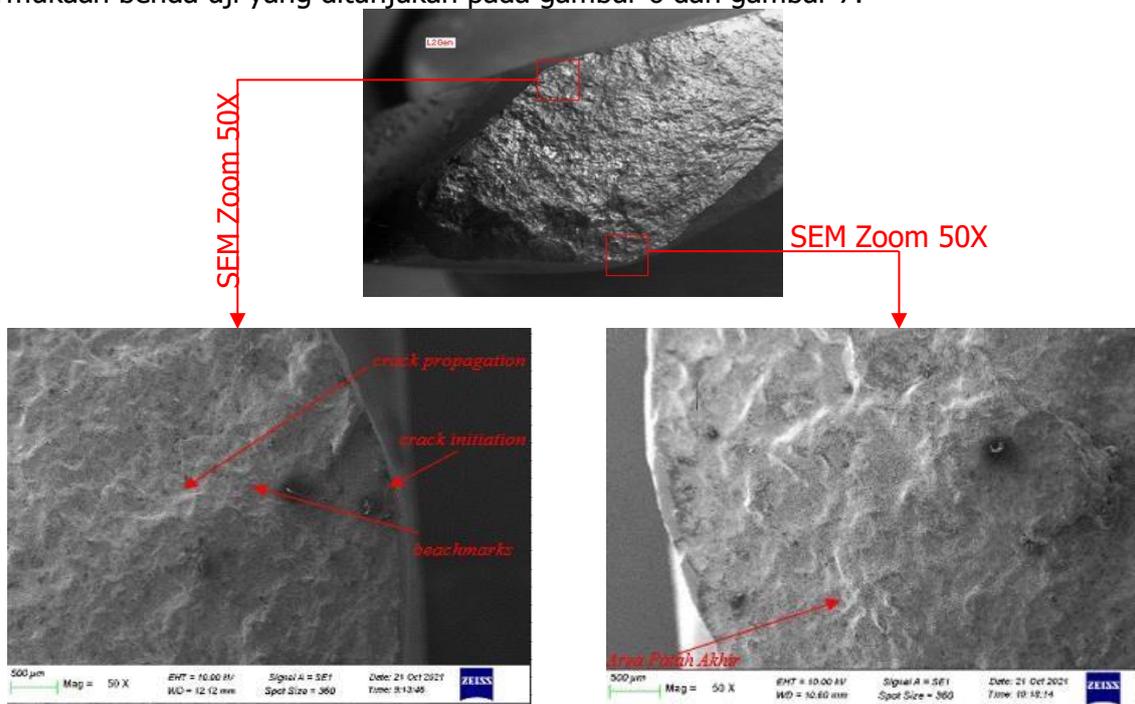


Gambar 3. Struktur Mikro Hasil Uji Sudu L-2 LP2 Gen

Dilihat dari gambar 3 terdapat tanda berupa initial crack yang terjadi pada posisi inlet bagian dalam tenon yaitu pada radius antara kepala tenon dan badan tenon, serta terlihat garis-garis pantai (beach marks) dan fast fracture pada permukaan benda yang mengalami kegagalan. Garis-garis pantai (beach marks) merupakan karakteristik mekanisme kegagalan fatigue yang diakibatkan oleh beban dinamik. Beban dinamik menimbulkan resonansi getaran dimana getaran tersebut bersumber dari perputaran sudu dan fluktuasi beban, selain mengalami vibrasi sudu juga mengalami gaya besar dari shroud yang terangkat akibat dari sudu tetangga yang sudah rusak terlebih dahulu.

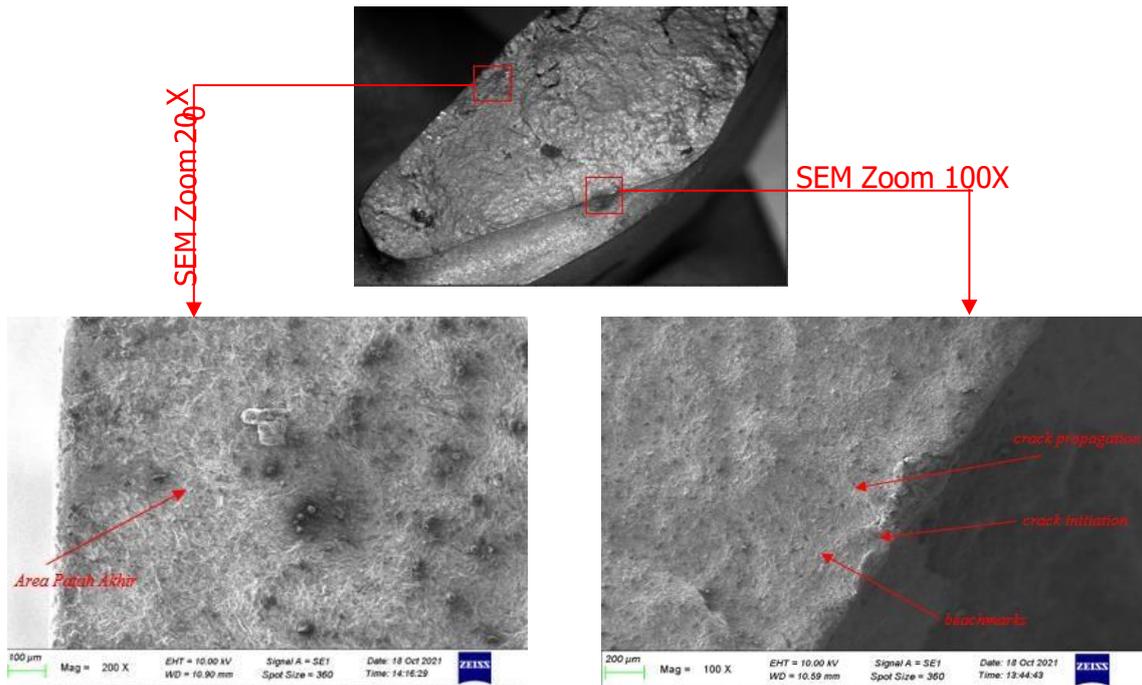
3.5. SEM (Scanning Electron Microscope) Dan EDS (Energi Dispersive System)

Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM bertujuan untuk melihat lebih dalam struktur mikro yang terjadi yang tidak dapat dilakukan oleh mikroskop optik karena keterbatasan pembesaran yang dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5. Kemudian dilakukan juga pengujian EDS untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada permukaan benda uji yang ditunjukkan pada gambar 6 dan gambar 7.



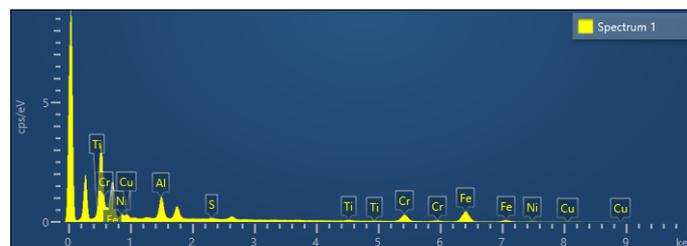
Gambar 4. Hasil SEM Tenon L-2 LP2 Gen

Analisa Kegagalan Turbin Blade L-2 LP2 PLTU Batubara Kapasitas 600 MW

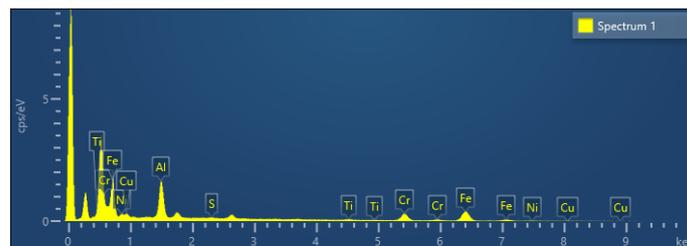


Gambar 5. Hasil SEM Tenon L-2 LP2 Gov

Hasil pengujian SEM pada sampel L-2 LP2 Gen yang ditunjukkan pada gambar 4 dan sampel L2 LP2 Gov yang ditunjukkan pada gambar 5. Dari kedua sampel tersebut memberikan informasi yang sama yaitu arah penjalaran retak (crack propagation) yang teksturnya halus mengarah pada satu bagian, bagian tersebut merupakan initial crack dimana awal retakan dimulai serta area patah akhir terjadi dengan terlihat tekstur penjalaran retak menjadi kasar serta arah penjalaran menjadi berbeda dengan arah penjalaran retak sebelumnya. Pada kedua sampel hasil SEM tersebut juga terlihat fenomena beachmarks yang lebih jelas pada permukaan patahan.



Gambar 6. Hasil EDS Permukaan Tenon L-2 Gen

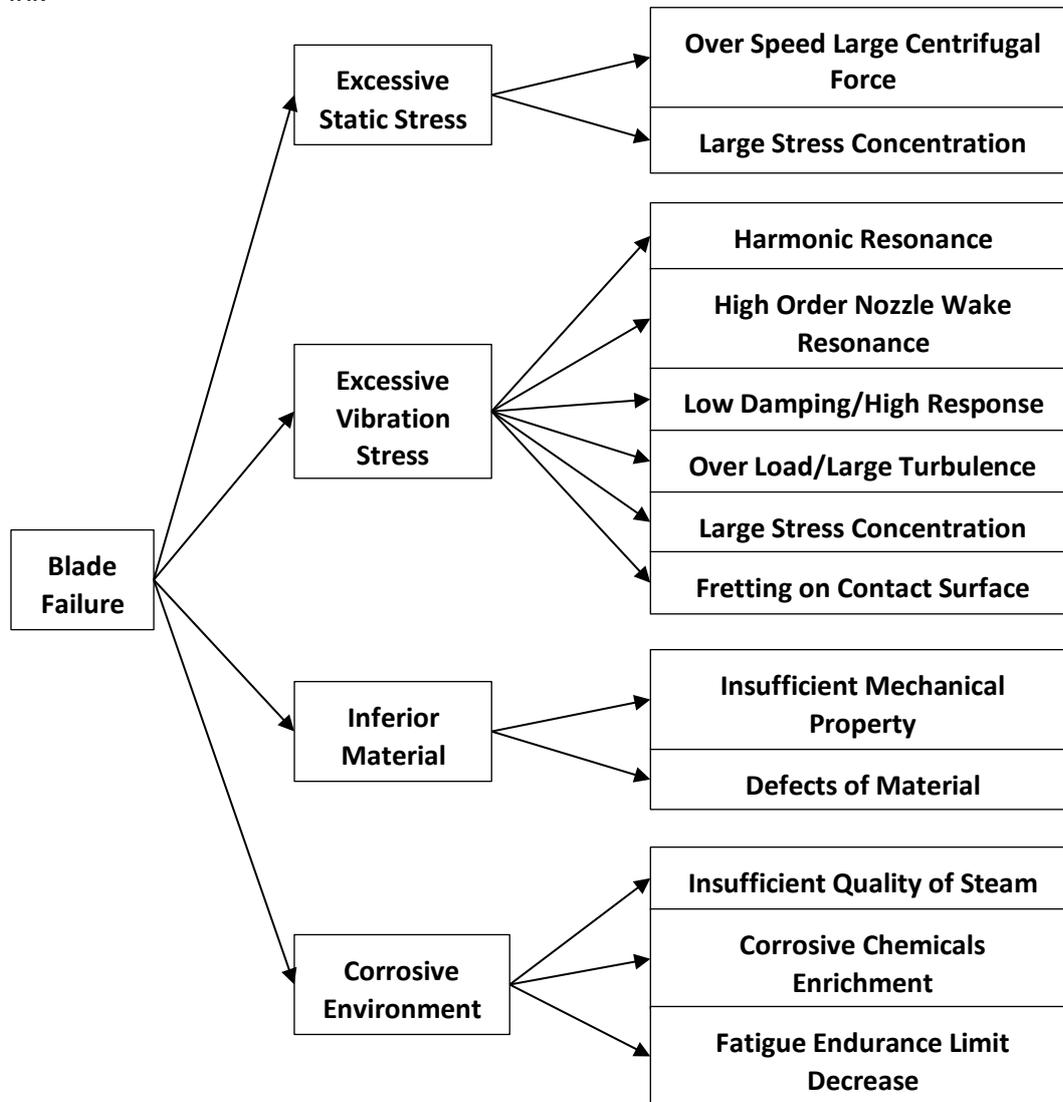


Gambar 7. Hasil EDS Permukaan Tenon L-2 Gov

Hasil pengujian EDS dari kedua sampel tersebut pada gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan tidak ditemukan adanya unsur klorida (Cl) pada permukaan tenon sudu turbin uap L-2 Gen dan L-2 Gov

3.6. Tahap Investigasi Kegagalan

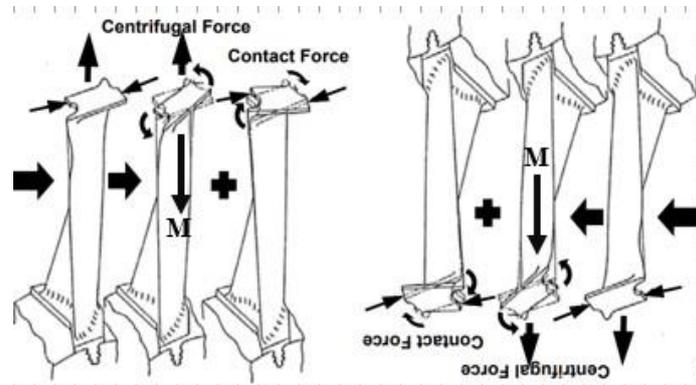
Untuk menentukan mekanisme kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Bagan Analisa Penyebab Kerusakan Blade (Hata et al., 2008)

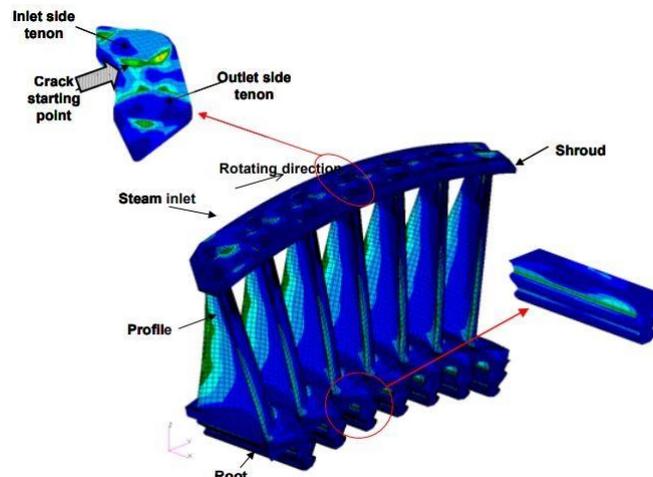
Berdasarkan bagan analisa penyebab kerusakan Blade diatas, kegagalan sudu diklasifikasikan menjadi 4, yaitu tegangan statis berlebihan, tegangan akibat getaran berlebihan, bahan rendah, beserta lingkungan yang korosif. Dari hasil ke tiga pengujian verifikasi material memberikan informasi bahwa material masih berada dalam range standar material 17-4 PH oleh sebab itu tidak ada kesalahan pada material yang digunakan. Kemudian hasil EDS pada permukaan turbin tidak ditemukan adanya klorida (Cl) yang menjadi penyebab terjadinya korosi ini membuktikan bahwa lingkungan tidak bersifat korosif, selain itu beban pada sudu diakibatkan gerakan sudu turbin yang berotasi sehingga tenon mengalami beban dinamik. Oleh sebab itu kegagalan yang terjadi mengarah kepada tegangan akibat getaran berlebihan

(Excessive Vibration Stress). Gambar 9 menunjukkan gaya sentrifugal yang bekerja pada sudu turbin.



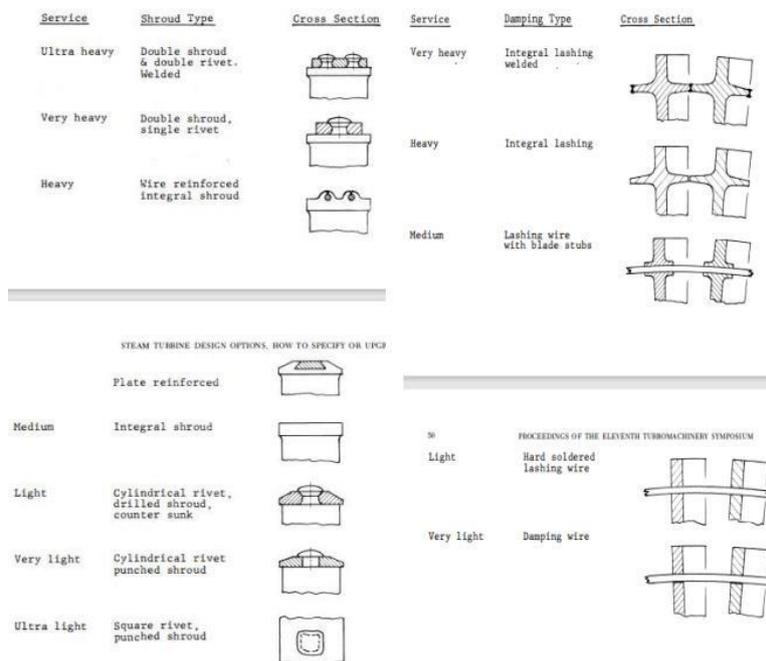
Gambar 9. Gaya Sentrifugal Yang Bekerja (Hata et al., 2008)

Jika dilihat saat turbin beroperasi sudu yang berotasi menghasilkan gaya sentrifugal mengarah menjauhi titik pusat putaran, sudu turbin juga memiliki massa yang mengarah pada titik pusat gravitasi dari ketidak seimbangan gaya ini sudu turbin akan mengalami vibrasi dalam arah radial yang kemudian merambat ke seluruh bagian sudu turbin serta dapat terjadi resonansi harmonik vibrasi dari sistem ketika frekuensi getarannya menyentuh frekuensi pribadi sudu. Gambar 10 memperlihatkan hasil simulasi analisa vibrasi pada sudu turbin uap.



Gambar 10. Hasil Analisis Tegangan Vibrasi (Hata et al., 2008)

Hasil simulasi analisis tegangan vibrasi menunjukkan bahwa tegangan vibrasi maksimum (vibration stress maximum) terjadi pada bagian dalam tenon yaitu pada radius antara kepala tenon dan badan tenon dimana lokasi tersebut merupakan awal mulai nya crack initiation terjadi. Desain shroud yang digunakan pada sudu turbin low pressure 2 diklasifikasikan berdasarkan kekuatannya yang ditunjukkan dalam gambar 11.



Gambar 11. Desain Shroud Berdasarkan Kekuatan Relatifnya (Naumann, 1981)

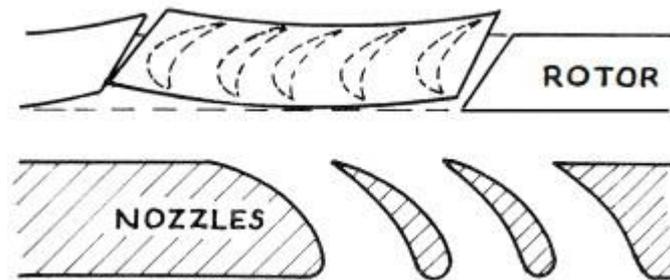
Jika dilihat dari desain shroud pada gambar 11 sudu turbin L-2 menggunakan jenis desain shroud cylindrical rivet punched dilihat dari badan tenon sudu L-2 yang rata serta bentuk shroud nya yang diperlihatkan pada gambar 12. Shroud cylindrical rivet punched memiliki kekuatan relatif rendah dibandingkan dengan jenis shroud yang digunakan pada sudu lainnya berdasarkan gambar 11.



Gambar 12. Jenis Shroud Yang Digunakan Low Pressure 2

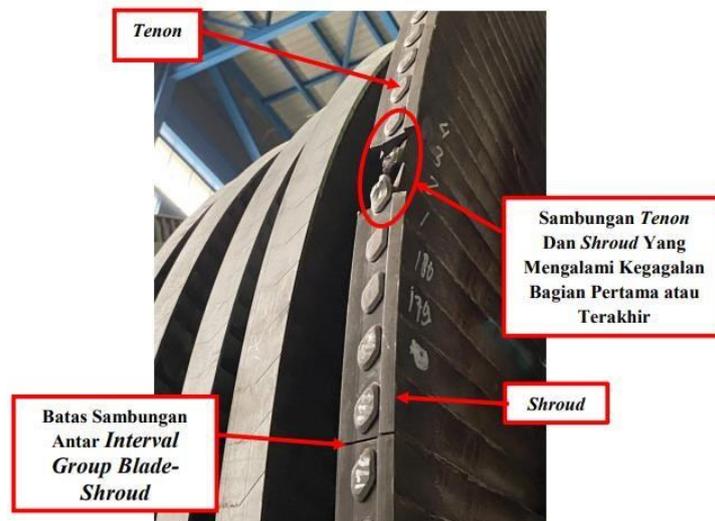
Sambungan jenis shroud cylindrical rivet punched menghubungkan satu sudu dengan sudu yang lainnya memberikan interlocking dan redaman terhadap defleksi. Sudu turbin biasanya dihubungkan empat sampai tujuh sudu oleh shroud dengan interlocking seperti pada sudu L2 setiap shroud menghubungkan enam sudu turbin, shroud yang menghubungkan beberapa sudu turbin dinamakan interval group blade-shroud diperlihatkan pada gambar 12 interval group blade-shroud menyediakan celah dengan interval group blade-shroud yang lainya untuk ekspansi termal. Celah antar interval group blade-shroud sudu turbin L-2 yang disediakan untuk ekspansi termal memberikan kebebasan yang dapat menimbulkan getaran yang diketahui merupakan sumber kegagalan seperti pada tenon sudu turbin L-2. Kegagalan

dimulai pada tenon sudu pertama atau terakhir dalam interval group blade-shroud seperti yang ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Getaran Sudu Jenis Integral Shroud (Naumann, 1981)

Kejadian pada gambar 12 disebabkan oleh kurangnya interlocking yang menghasilkan gerakan berlebihan pada bagian sudu pertama dan terakhir sehingga menjadi titik terlemah dalam satu interval group blade-shroud seperti yang terjadi pada sudu turbin L-2 diperlihatkan dalam gambar 13.



Gambar 14. Kegagalan Yang Terjadi Pada Sudu L-2

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan analisa kegagalan pada tenon sudu turbin pembangkit listrik tenaga uap kapasitas 600MW dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji komposisi kimia, uji kekerasan dan analisa struktur mikro menunjukkan bahwa material 17-4 PH sudu turbin uap yang digunakan telah memenuhi standar spesifikasi material 17-4 PH.
2. Mekanisme kegagalan pada sudu turbin uap diawali dengan muncul nya (crack initiation) retakan tak kasat mata yang lambat laun retakan tersebut akan menjalar ke seluruh bagian tenon (crack propagation) sampai sambungan tenon dan shroud mengalami kegagalan.

3. Kegagalan pada sambungan tenon dan shroud diakibatkan oleh beban dinamik yang dihasilkan dari gerakan sudu turbin ketika berotasi, beban dinamik pada tenon yang bekerja dalam kurun waktu cukup lama menyebabkan kelelahan (fatigue) yang ditandai dengan adanya fenomena beachmarks pada permukaan patahan.

Saran

Bukti kegagalan perlu dijaga sejak awal terjadinya kegagalan salah satu bukti kegagalan adalah patahan, permukaan patahan yang rusak atau sengaja dirusak akan mempersulit proses analisa kegagalan, kesulitan yang dialami adalah bukti kegagalan yang tidak segera dijaga dan dibiarkan terpapar lingkungan sehingga terjadi proses korosi mekanik maka dari itu bukti kegagalan harus segera di dokumentasikan dan dijaga serta disimpan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, A. (2016). Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi Haz Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding Pada Baja Karbon Sedang. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 02(01), 7–8.
- Ati. (2016). Technical data sheet Technical data sheet. Allegheny Technologies Incorporated. ATI Properties, Inc.
- Hata, S., Nagai, N., Yasui, T., & Tsukamoto, H. (2008). Investigation of Corrosion Fatigue Phenomena in Transient Zone and Preventive Coating and Blade Design against Fouling and Corrosive Environment for Mechanical Drive Turbines. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 1(1), 121–139. <https://doi.org/10.5293/ijfms.2008.1.1.121>
- Komara, A., & Kusuma, Y. (2014). Analisa Kegagalan Blade Baris Terakhir Pada Rotor Turbine Uap Tipe Condensing. *Sinergi*, 18(1), 47–52.
- Naumann, H. G. (1981). STEAM TURBINE BLADE DESIGN OPTIONS: HOW TO SPECIFY OR UPGRADE by Helmut G. Naumann.
- Surya, I. (2019). Najamudin Indra Surya Witoni Kunarto Bambang Pratowo Zein Muhamad. Pengaruh Panas Las Gtaw(Gas Tungsten Arc Welding) Pada Material Stainless Steelgrade 316L Terhadap Uji Tarik Dan Komposisi Kimia Material, 6(April), 11–12.
- Upmet. (2021). Stainless Steel 17-4 PH. United Performance Metals. An ONI Company.