

# ANALISA KEGAGALAN BLADE BARIS TERAKHIR PADA ROTOR TURBINE UAP TIPE CONDENSING

**Adhi Komara dan Yuriadi Kusuma**  
 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
 Universitas Mercubuana Jakarta  
 Email: adhikomara@yahoo.com

**Abstrak** -- Blades dari turbin uap merupakan komponen penting dalam pembangkit listrik. Analisa kegagalan blade turbin bertujuan untuk meningkatkan kehandalan sistem turbin secara umum. Kegagalan blade baris terakhir tekanan rendah yang terjadi pada turbin uap type condensing diawali dengan naiknya vibrasi secara mendadak pada area belakang dari 5 $\mu$ m menjadi 51 $\mu$ m. Analisa dan pengujian yang dilakukan adalah analisa steam purity, pengujian mechanical stress dan pengujian metallurgy (analisa material, fractography dan microstructure). Dari hasil analisa steam purity didapat bahwa kandungan silica/ SiO<sub>2</sub> yang diambil dari beberapa titik pengambilan sample ditemukan melebihi dari batas maximum yang diperbolehkan sesuai dengan standard VGB (Vereinigung der Großkesselbesitzer)/ Asosiasi pengguna boiler ukuran besar di German; yaitu < 0.02 mg/l. Penuaan material ditemukan dari hasil pengujian yang dilakukan melalui analisa metallurgy microstructure.

**Kata Kunci:** Turbine Blade, Damping Wire, Analisa kegagalan, Steam Purity, Mechanical Stress, Pengujian Metallurgy

## 1. PENDAHULUAN

Blades dari turbin uap merupakan komponen penting dalam pembangkit listrik. Analisa kegagalan blade turbin bertujuan untuk meningkatkan kehandalan sistem turbin secara umum. Beberapa hasil penelitian telah menunjukkan bahwa blade tekanan rendah dari turbin uap umumnya ditemukan lebih rentan terhadap kegagalan dari blade tekanan menengah dan tekanan tinggi. Mekanisme kegagalan yang paling umum yang terjadi dalam blade tekanan rendah dewasa ini biasanya yang berhubungan dengan getaran baik simpatik atau dipaksa, yang disebabkan oleh kondisi operasi, dan yang terjadi sebagai hasil dari ion korosif yang terbawa dan terakumulasi dalam fluida kerja dan diawali oleh pembentukan endapan atau deposit pada blade serta komponen peredam atau damping wire.

Salah satu turbin uap yang telah efektif beroperasi selama tujuh tahun yang telah mencapai operating hours 40.792 EOH dilakukan shutdown secara emergency oleh team operasi menyusul timbulnya/terdengarnya suara tidak normal dari dalam turbin casing pada saat kondisi normal operasi, level vibrasi pada ruang pengontrolan didapati kenaikan yang significant disisi low pressure dari 5 $\mu$ m menjadi 51 $\mu$ m.

Dari hasil pembongkaran guna dapat dilakukannya inspeksi, pada bagian dalam turbin casing ditemukan blade turbin baris terakhir dan damping wire/kawat peredam

mengalami kegagalan dan kerusakan. Ditemukan juga hampir keseluruhan pada blade baris terakhir terdapat fenomena korosi dan ditutupi oleh lapisan deposit dari kontaminasi uap. Dari hasil temuan tsb, beberapa analisa guna mengetahui penyebab kegagalan perlu dilakukan.

## 2. DATA DAN ANALISA

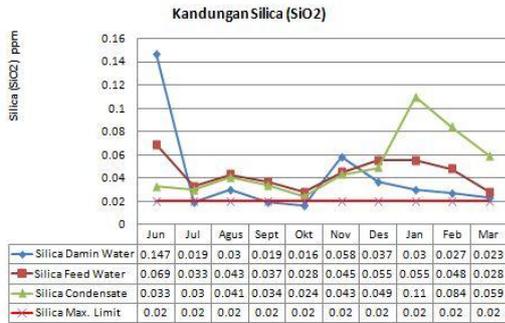
Telah dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui performansi system. Penjelasan untuk masing-masing pengujian dibahas berikut ini.

### 2.1. Pengujian Steam Purity

Metode pengujian steam purity yang menjadi referensi pengambilan data adalah dengan Metode Specific Conductance. Pengambilan steam sampling mengacu pada standard ASTM D 1066 – 97 (2001) pada beberapa titik lokasi. Perwakilan sampel uap sangat penting untuk menentukan jumlah kandungan, termasuk kelembaban, di dalamnya. Sebuah ukuran yang akurat dari kemurnian steam memberikan informasi, yang dapat digunakan untuk menentukan apakah kemurnian steam berada dalam batas yang diperbolehkan sehingga dapat mencegah kerusakan atau kecacatan bagian internal turbin.

Dari pengambilan beberapa sampel yang kemudian dilakukan pengujian di laboratorium bahwa secara keseluruhan dari

beberapa titik pengambilan sample condensate ditemukan bahwa kandungan Silica ( $\text{SiO}_2$ ) melebihi dari standard yang diperbolehkan oleh VGB (Vereinigung der Großkesselbesitzer/Asosiasi Pengguna boiler ukuran besar di German).



Gambar 1. Kandungan Silika

Standard VGB untuk kandungan Silica dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standard VGB untuk kandungan Silica

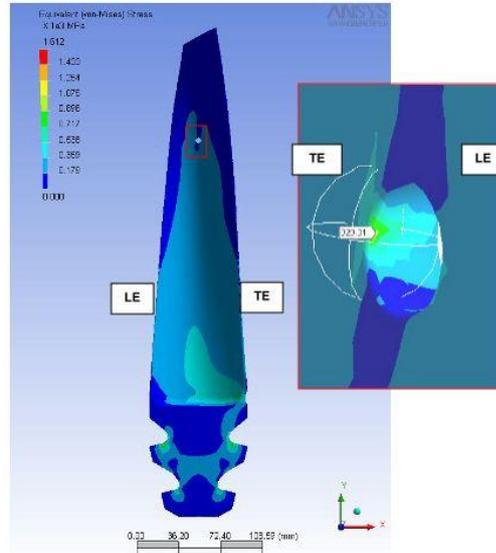
Testing for	Unit	Guide Value	
Conductivity at 25°C for CO <sub>2</sub> -free		Continues* Operati on	Start-Up** Operati on
Water	μS/cm	< 0.2	< 0.5
Silica ( $\text{SiO}_2$ )	mg/l	< 0.02	< 0.05
Total-Iron (Fe)	mg/l	< 0.02	< 0.05
Copper (Cu)	mg/l	< 0.003	< 0.01
Sodium an Potassium	mg/l	< 0.01	< 0.02

**2.2. Pengujian Mechanical Stress**

Analisa *mechanical stress* dilakukan untuk mengetahui level tegangan pada blade dan damping wire yang dikarenakan beban/gaya sentrifugal. Analisa dilakukan dengan menggunakan fasilitas software Ansys. Dimana software ini memiliki kelebihan kelebihan diantaranya sebagai berikut :

- Dua arah, link parametrik dengan semua sistem CAD (*Computer Aided Design*) utama seperti *autoCAD*, *Catia* dan lainnya.
- Sistem analisis lengkap yang memandu pengguna start-to-finish melalui analisis.
- Komponen yang fleksibel memungkinkan alat untuk dikerahkan ke setelan terbaik untuk keperluan engineering.

Hasil analisa simulasi mechanical stress terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi Mechanical Stress

Tabel 2. Mechanical Stress

No.	Des kripsi	Rpm (by software simulati on)	Yield point/ strength (N/mm2 or Mpa)			Safet y Factor (FS)
			Ansys Analisis	Blad e mate rial X20CrMo13	Dam ping Wire mate rial TiAl6V4	
1	Blad e	6,797	929	540	-	0
2	Dam ping wire	6,797	700	-	880	1.25

Analisa yang didapat dari pengujian mechanical stress pada blade dan damping wire adalah sebagai berikut:

- Tegangan maximum / yield strength blade yaitu 72% melebihi standard blade material X20CrMo13 pabrikan.
- Tegangan maximum / yield strength damping wire yaitu 20% dibawah standard material TiAl6V4, sehingga memiliki faktor keamanan sebesar 1.25%.

**2.3. Pengujian Metallurgy – Material Analysis**

Analisa kimia pada kedua blade yang patah dilakukan dengan menggunakan fasilitas Optical Emission Spectrometry. Hasil analisa kimia serta perbandingan dengan standard material sesuai dengan disain pabrikan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Metallurgy – Material Analysis.

No.	Deskripsi	Komposisi					
		C	Si	S	P	Mn	Ni
1	Blade Specimen A	0.201	0.3	0.002	0.02	0.665	0.832
2	Blade Specimen B	0.209	0.302	0.003	0.022	0.666	0.838
No.	Deskripsi	Cr	Mo	V	Cu	W	
1	Blade Specimen A	11.304	0.984	0.309	0.104	0.078	
2	Blade Specimen B	11.332	1.002	0.313	0.103	0.078	
Standard Material Specification sesuai Pabrikasi DIN. 1.4120							
No.	Deskripsi	Komposisi					
		C	Si	S	P	Mn	Ni
1	X20CrMo13	0.17-0.22	≤ 1.0	≤ 0.015	≤ 0.040	≤ 1.0	≤ 1.0
No.	Deskripsi	Cr	Mo	V	Cu	W	
1	X20CrMo13	12.0-14.0	0.90-1.30	-	-	-	

Komposisi kimia damping wire dilakukan pengujian dengan menggunakan fasilitas Energy Dispersive Spectrometry yang melekat pada Scanning Electron Microscope. Analisa kimia dengan menggunakan Optical Emission Spectrometry tidak memungkinkan karena diameter damping wire lebih kecil dari 20mm. Hasil dan perbandingan analisa kimia terhadap standard material dari pabrikasi ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisa Kimia Standar Material

Material Specimen							
No.	Deskripsi	Komposisi					
		Al	Ti	V	Fe		
1	Damping Wire Specimen	5.42	90.03	4.55	-		
		C	N	O	H		
		-	-	-	-		
Standard Material Specification sesuai Pabrikasi DIN 3.7165							
No.	Deskripsi	Komposisi					
		Al	Ti	V	Fe		
2	TiAl6V4F89	5.50-6.75	Rest	3.50-4.50	≤ 0.30		
		C	N	O	H		
		≤ 0.08	≤ 0.05	≤ 0.20	≤ 0.015		

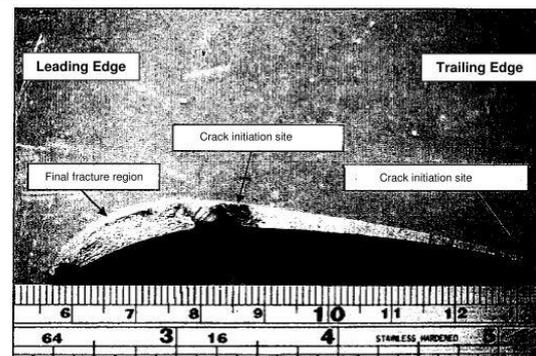
Keduanya, baik blade ataupun damping wire mengalami perubahan ringan pada komposisi material setelah dioperasikan dalam kurun waktu lebih dari 7 tahun, akan tetapi penyimpangan/ perubahan tersebut masih dalam batas kewajaran terhadap komposisi material asli dari pabrikasi.

#### 2.4. Pengujian Metallurgy – Fractography Analysis

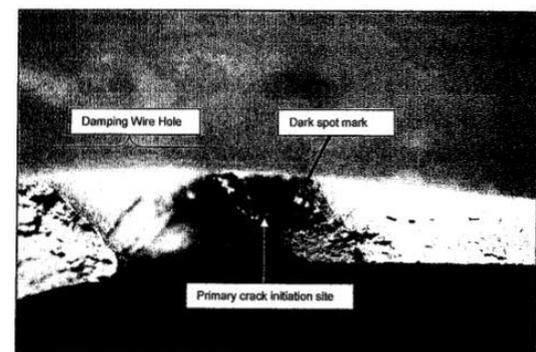
Pengujian dilakukan dengan standard procedure persiapan dan pengujian sesuai dengan standard ASTM E3 – 11. Dari pengujian fractography terdapat tiga area atau titik permukaan fractures / retakan yang menjadi perhatian untuk dilakukan analisa dan pengujian sebagai berikut:

- Lubang *damping wire*; menjadi permulaan *primary crack*
- Trailing edge*; menjadi wilayah *secondary crack*
- Leading edge; menjadi wilayah final fracture

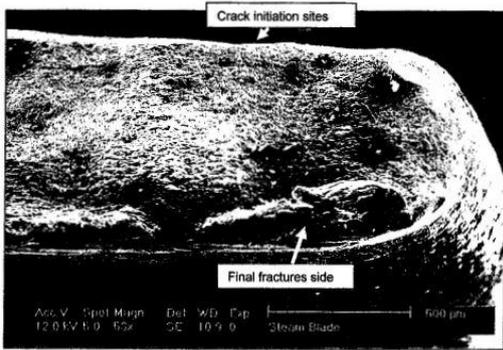
##### a. Blade



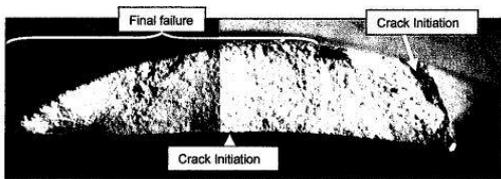
Gambar 3. Macrograph pada titik awal retakan/ patahan blade



Gambar 4. Macrograph pada permulaan primary crack

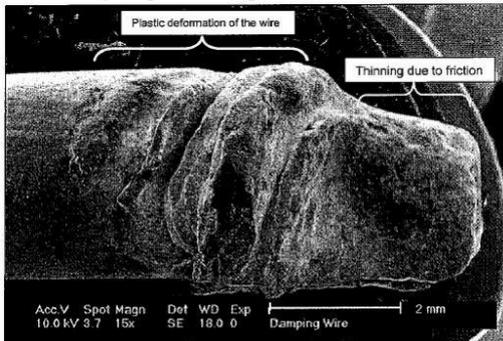


Gambar 5. Fractograph pada blade sekitar *secondary crack - Trailing edge* , SEM macrograph



Gambar 6. Fractograph pada blade sekitar *Final fracture - Leading edge* , Stereo macrograph.

**b. Damping/ Lacing Wire**



Gambar 7. Fractograph pada damping wire yang mengalami kegagalan. Deformasi plastic serta permukaan yang mengalami pengecilan diameter

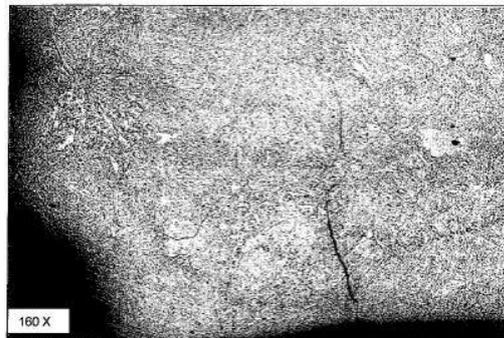
Berdasarkan pengambilan data pada pengujian dengan metode fractography yang diperlihatkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 7, berikut beberapa analisa yang diperoleh:

- a. Crack pertama kali pada blade terjadi pada area lubang damping/ lacing wire yang ditandai dengan tanda titik gelap. Wilayah titik gelap yang terdapat pada permukaan patahan mengindikasikan bahwa crack telah berhadapan langsung dengan kondisi sekita dalam jangka waktu cukup lama atau dihasilkan dalam proses quenching/ pendinginan.

- b. Crack kedua pada blade terjadi pada wilayah trailing edge dengan ditandai oleh jejak pergoresan fatigue yang diamati pada permukaan retakan.
- c. Crack ketiga atau final pada blade retakan terjadi pada area leading edge. Wilayah ini mengalami gagal karena kegagalan fatigue. Retakan bermula terjadi pada kedua sisi dan berakhir dengan patahan static yang dikarenakan potongan melintang tidak dapat lagi menampung beban.
- d. Fracture pada damping/ lacing wire bermula terjadinya deformasi yang cukup parah oleh gerakan pengikisan permukaan antara lubang blade dengan damping wire. Gerakan pengikisan permukaan hanya mungkin terjadi jika terdapat gerakan relative antara blade dan damping wire. Gerakan relative terjadi jika ukuran lubang membesar sehingga menjadikan ikatan longgar pada damping wire ke blade.

**2.5. Pengujian Metallurgy – Microstructure Analysis**

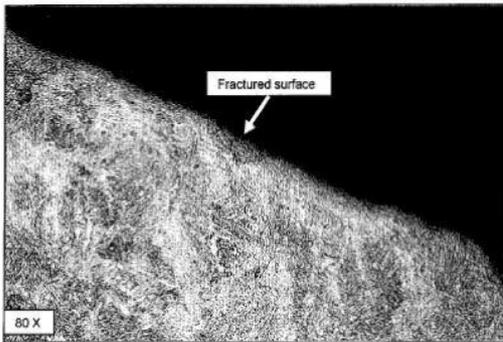
Pengujian microstructure yang dilakukan di laboratorium dengan alat optical microscope dengan hasil pembesarannya diperlihatkan pada Gambar 8 hingga Gambar 11.



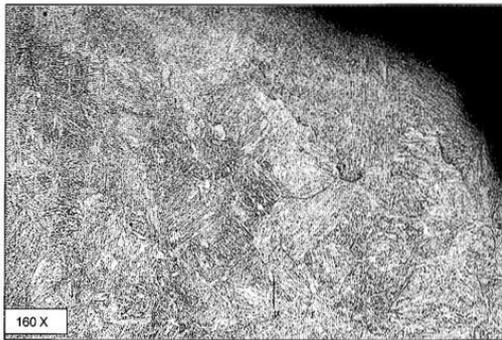
Gambar 8. Optical Micrograph pembesaran 160 kali pada sisi permulaan primary crack



Gambar 9. Optical Micrograph pembesaran 320 kali pada sisi permulaan primary crack



Gambar 10. Optical Micrograph pembesaran 80 kali pada sisi permulaan secondary crack



Gambar 11. Optical Micrograph pembesaran 160 kali pada sisi permulaan secondary crack

Permukaan patahan pada permulaan primary crack yang mengandung titik gelap dipotong dan potongan penampangnya dilakukan pengujian dengan optical microscope.

Dari pengujian dengan metode microstructure ini, berikut beberapa analisa yang didapat :

- a. Sifat yang paling membedakan adalah adanya koloni carbide, pengelompokan carbide, ukuran besar carbide, dan microcracks yang tersebar luas melalui carbide.
- b. Sebaliknya, distribusi carbide dan ukuran specimen dekat pada lokasi permulaan crack kedua adalah seragam, dan tidak terdapatnya microcracks.
- c. Pembentukan koloni carbide, pengelompokan carbide, dan ukuran partikel carbide besar menjadi pemicu premature crack pada permulaan primery crack.
- d. Dalam phase brittle/ rapuh, carbide akan sangat mudah retak dibawah beban mekanis.
- e. Jalur perambatan retakan akan cenderung mengikuti phase carbide.

- f. Permulaan crack juga dpat terjadi sebagai akibat dari thermal expansion. Karena terdapatnya perbedaan yang cukup signifikan pada koefisien thermal.

## 5. KESIMPULAN

Setelah melakukan beberapa pengujian, maka dapat diambil kesimpulan dari hasil analisa di atas sebagai berikut:

1. Penyebab utama kegagalan blade baris terakhir disebabkan oleh kegagalan pada damping wire yang mengakibatkan vibrasi yang berlebihan pada blade.
2. Damping wire gagal karena penuaan material dan efek korosi yang disebabkan oleh deposit/ endapan
3. Kualitas uap tidak sesuai dengan petunjuk dari pabrikan dan VGB terutama kandungan Silica ( $\text{SiO}_2$ ) dan demikian menyebabkan deposit masif dan efek korosi.
4. Dari hasil pengujian fractography disimpulkan bahwa keretakan blade pertama kali terjadi pada sisi lubang damping wire akibat vibration yang berlebihan selama dan setelah damping wire mengalami kegagalan.
5. Pengujian microstructure menyimpulkan bahwa terjadi pembentukan dan pengumpulan carbide pada area primary crack akibat material aging sehingga menimbulkan sifat brittle dan mudah retak dibawah beban mekanik.

Berdasarkan hasil analisa serta pengujian yang dilakukan, berikut beberapa saran yang memerlukan perhatian sehingga kegagalan yang sama dapat dicegah :

1. *Meningkatkan dan pemantauan kualitas uap*; Langkah-langkah harus diambil untuk memastikan kualitas uap konstan sesuai standard pabrikan & VGB.
2. *Kegiatan perawatan terus menerus pada turbine unit sesuai dengan rekomendasi pabrikan.*
3. Memperbesar ukuran *damping wire* yang memadai; Ukuran damping wire harus disesuaikan dengan kondisi operasi yang sebenarnya. Oleh karena itu diameter wire harus ditingkatkan. Diamter yang akan dimodifikasi harus dipertimbangkan yang mana juga mempengaruhi gaya sentrifugal dan vibration mode
4. Memperkuat *blade* pada bagian *damping wire* karena meningkatnya ukuran damping wire.
5. Modifikasi diameter pengikat *damping wire* sesuai *vibration mode* baru.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bagnoli D L. et al.1987. *Fractography Handbook Volume 12*. United States of America.: *ASM International*.
- Hanipa Hepi. 2007.*Failure Analysis Last Stage Blade*. Purwakarta.: PT Sulzer Hickam Indonesia.
- Heinz P, Bloch,, dan Singh Murari P. 2009. *Steam Turbine Design, Application and Re-Rating*. Mexico.:McGraw-Hill
- Hübner. 1993. *Mineral and Silica Deposit in Steam Turbine*, Nürnberg.: ABB Turbinen Nürnberg GmbH
- Husaini Ardy. 2007. *Failure Analysis ABB Steam Turbine Rotor Blade*. Bandung.: PT.LAPI ITB
- Siemens. 1999. *Maintenance Manual for Turbine 19332 Type ATP2-V50A*.: Nürnberg.: ABB Turbinen Nürnberg GmbH.
- Siemens.1999. *Steam Quality*. Nürnberg.: ABB Turbinen Nürnberg GmbH
- Singh Murari P., dan Lucas George M. 2011. *Blade Design & Analysis for Steam Turbine*. United States of America.: McGraw-Hill.
- Wegst C W. 2001. *Stahlschlüssel/ Key to Steel*. Marbach.: Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH.
- Wei-Ze Wang. 2006. *Failure analysis of the final stage blade in steam turbine*. PR China.: ScienceDirect