

# Remaining Life Assessment Pada Komponen *Rotor shaft turbine* PLTU 600 MW

WUJUD AR RAFII<sup>1</sup>, MEILINDA NURBANASARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung  
Email : [wujud2204@gmail.com](mailto:wujud2204@gmail.com)

Received 06 09 2021 | Revised 06 09 2021 | Accepted 13 09 2021

## ABSTRAK

*Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi kinetik uap yang diubah oleh turbin menjadi energi mekanik yang akan memutar generator. Rotor turbin PLTU yang telah beroperasi lebih dari 30 tahun dengan temperatur operasi lebih dari 450 °C, dengan kondisi tersebut degradasi yang paling umum terjadi yaitu creep. Untuk mengetahui keadaan komponen tersebut, dilakukan pemeriksaan berupa uji komposisi kimia, uji kekerasan dan metalografi replika. Nilai komposisi kimia, nilai kekerasan dan gambar fasa dari hasil pemeriksaan, menunjukkan telah sesuai dengan standar materialnya yaitu ASTM A470 Class 4. Degradasi creep berdasarkan hasil metalografi replika berupa isolated cavities, oriented cavities dan microcracks. Dari indikasi tersebut dan merujuk pada perhitungan versi Neubauer – Wadel, maka rotor shaft turbine layak beroperasi dengan ketentuan dilakukan inspeksi ulang dalam waktu enam bulan.*

**Kata kunci:** energi listrik, remaining life assesment, generator, rotor turbin, creep

## ABSTRACT

*Coal fired power plant produce electrical energy by utilizing the kinetic energy of steam which is converted by a turbine into mechanical energy which will turn a generator. The turbine rotor has been operating for more than 30 years at operating temperature above 450 °C, under these conditions the degradation that occurs is creep. To determine the condition of it, chemical composition tests, hardness tests and replica metallography will be carried out. The value of chemical composition, hardness value and phase image from the inspection results show that it is in accordance with the material standard, namely ASTM A470 Class 4. Creep degradation is based on the results of replica metallography in the form of isolated cavities, oriented cavities and microcracks. From these indications and referring to the calculation of the Neubauer – Wadel version, the turbine rotor shaft is feasible to operate provided that it is re-inspected within six months.*

**Keywords:** electrical energy, remaining life assesment, generator, rotor turbine, creep

## 1. PENDAHULUAN

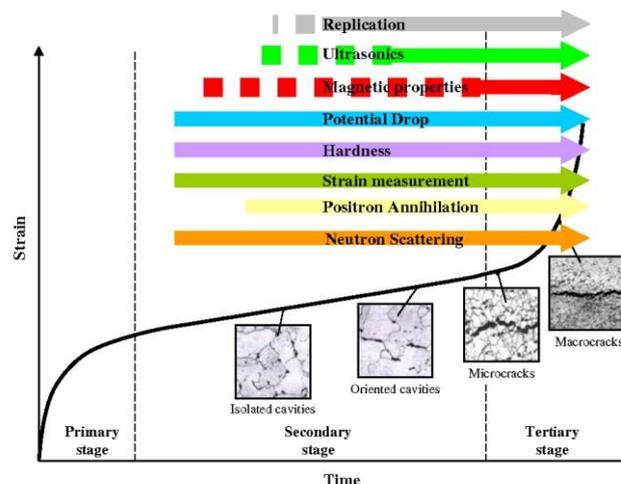
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menghasilkan daya listrik terbesar. Pembangkit listrik tenaga uap ini menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi kinetik uap dari hasil penguapan air yang dipanaskan oleh bahan bakar berupa batu bara di dalam boiler. Pembangkit listrik tenaga uap memiliki lima komponen utama berupa boiler, turbin, generator, pompa dan kondensor. **(Kristianingsih dan Musyafa, 2013)**

*Rotor shaft turbine* pembangkit listrik tenaga uap batu bara yang telah beroperasi lebih dari 30 tahun dengan temperatur operasi lebih dari 450 °C dapat mengalami degradasi sifat mekanik dan berpengaruh kepada umur komponen tersebut. Mekanisme degradasi yang dapat terjadi berupa korosi dan *pitting*. **(Nurbanasari, 2015)** Degradasi yang paling umum terjadi pada komponen yang beroperasi pada temperatur tinggi yaitu *creep*. **(Zhu, Chen, Xuan dan Xiaohui, 2019)** Komponen *rotor shaft* dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Rotor shaft turbine**

*Non destructive test* (NDT) merupakan salah satu metode untuk mengevaluasi kelayakan komponen tersebut dengan ketentuan adanya akibat degradasi *creep*. NDT yang dilakukan berupa metalografi replika dengan melihat perubahan struktur mikro. Kurva regangan *creep* terhadap fungsi waktu dan tahapan perubahan struktur mikro akibat *creep* dapat dilihat pada gambar 2



**gambar 2. Kurva Regangan *Creep* Terhadap Fungsi Waktu dan Tahapan Perubahan Struktur Mikro Akibat *Creep* (Sposito, Ward, Cawley, Nagy dan Scruby, 2015)**

Perubahan struktur mikro akibat *creep* dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori yang mempunyai harga *expended life fracture* ( $t/t_r$ ), *isolated cavities* (class A  $t/t_r = 0,46$ ), *oriented cavities* (class B  $t/t_r = 0,65$ ), *microcracks* (class C  $t/t_r = 0,85$ ), *macrocracks* (class D  $t/t_r = 1$ ), adapun material yang tidak terindikasi adanya kerusakan akibat *creep* (undamaged material) ( $t/t_r = 0,27$ ). (Nurbanasari dan Suratman, 2015) Sisa umur ( $t_{rem}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan  $t$  merupakan umur desain.

$$t_{term} = t \left[ \frac{t_r}{t} - 1 \right] \quad (1)$$

Dengan persamaan 1, maka sisa umur untuk undamaged material, class A, class B, class C dan class D berturut-turut adalah  $2,7t$ ,  $1,17t$ ,  $0,54t$ ,  $0,19t$ ,  $0$ . Sesuai yang telah diimplementasikan pada industri pembangkit tenaga, hasil  $t_{rem}$  tersebut dikalikan faktor keamanan yaitu 3 (Viswanathan dan Gehl, 1991) maka hasil yang akan diperoleh untuk waktu re-inspeksi yang aman yaitu  $0,9t$ ,  $0,4t$ ,  $0,18t$ ,  $0,06t$ ,  $0$ .

Terdapat dua versi penggunaan persamaan (1) (Dowson dan Bauer, 2016), yang pertama digunakan secara langsung (EPRI-APTECH) dan versi kedua dikoreksi sebesar 25% dengan pertimbangan keamanan (konservatif) (Neubauer-Wadel). Untuk perhitungan ini, umur desain diasumsikan 30 tahun dengan mempertimbangkan umur desain rata-rata turbin uap yang banyak digunakan. Dengan begitu waktu interval re-inspeksi yang aman untuk *rotor shaft turbine* tertera pada tabel 1 sebagai berikut.

**Tabel 1. Interval Waktu Re-Inspeksi Untuk Komponen Dengan Umur Desain 30 Tahun [Dowson Dan Bauer, 2016]**

<i>Damage Classification</i>	<i>Inspection Interval (Years)</i>	
	<b>EPRI-APTECH</b>	<b>Neubauer-Wadel</b>
<i>Undamaged</i>	27	5
<i>A. Isolated cavities</i>	12	3
<i>B. Oriented cavities</i>	5.4	1.5
<i>C. Microcracks</i>	1.8	0.5
<i>D. Macrocracks</i>	<i>Based on fracture mechanics</i>	<i>Repair immediately</i>

Dengan mengacu perhitungan RLA versi Neubauer-Wadel yang bersifat konservatif dan lebih aman, maka pendekatan yang diambil seperti pada tabel 2.

**Tabel 2. Pendekatan Untuk Interval Waktu Re-inspeksi**

<b>Klasifikasi Kerusakan</b>	<b>Interval Re-inspeksi (tahun)</b>
<i>Undamaged</i>	5
<i>Isolated cavities (class A)</i>	3
<i>Oriented cavities (class B)</i>	1,5
<i>Microcracks (class C)</i>	0,5
<i>Macrocracks (class D)</i>	Penggantian

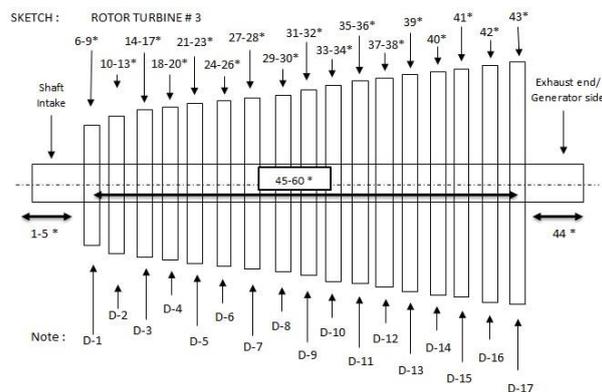
## 2. METODOLOGI

### 2.1. Verifikasi Material

*Rotor shaft turbine* yang diperiksa merupakan *high pressure turbine* dan telah digunakan lebih dari 30 tahun. Untuk memastikan material yang digunakan (ASTM A470 Class 4) pada komponen, maka dilakukan uji komposisi kimia, uji kekerasan dan metalografi replika untuk mengamati fasa. Pengujian komposisi kimia dilakukan pada 10 lokasi yang tersebar pada komponen dengan menggunakan metode *positive material identification* (PMI) – spektroskopi emisi optik (OES) dan mengikuti standar ASTM E415 – 08. Alat PMI yang digunakan adalah Master *Pro-Oxford Instrument*. Pada komponen tersebut dilakukan pengujian kekerasan insitu dengan metode brinell menggunakan *portable leeb hardness*. Metalografi dengan menggunakan metode replika dilakukan pada komponen *stage 17*, lokasi pengujian dapat dilihat pada gambar 2.

### 2.2. Remaining Life Assessment (RLA)

*Remaining life assessment* yaitu memprediksi sisa umur pakai *rotor shaft turbine*, pada penelitian ini RLA dilakukan dengan menganalisa kerusakan *creep* dari hasil metalografi. Sehingga data RLA dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam perencanaan perbaikan dan pengambilan keputusan. Pengujian yang dilakukan berupa metalografi metode replika yang dilakukan pada enam puluh lokasi yang tersebar pada komponen. Enam puluh lokasi yang dilakukan pengujian dapat dilihat pada gambar 3.

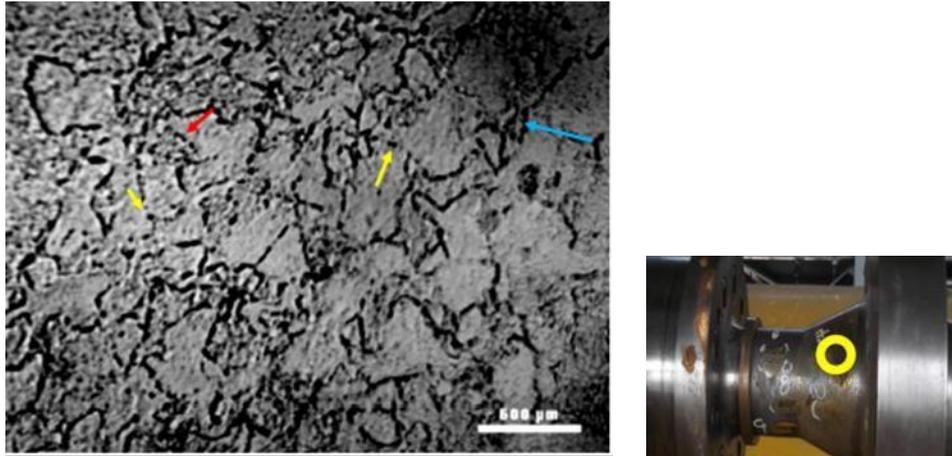


Gambar 3. Kodefikasi Lokasi Metalografi (Nurbanasari dan Suratman, 2015)

## 2. HASIL DAN ANALISA

Hasil pengujian komposisi kimia pada *rotor shaft turbine* rata-rata menunjukkan 0,28%C, 0,39%Mn, 0,25%Si, 0,42%Cr, 0,52%Mo dan 0,83%V yang memenuhi standar material ASTM A470 class 4. Nilai kekerasan berada pada range 242 – 347 HB yang menunjukkan telah sesuai dengan nilai kekerasan ASTM A470 class 4. Jenis fasa yang teramati pada komponen berupa bainit dan ferit yang artinya sesuai dengan standar ASTM A470 Class 4.

Dari 60 sampel yang telah dilakukan metalografi replika, menunjukkan bahwa komponen *rotor shaft turbine* telah mengalami *creep*. Dua gambar struktur mikro yang diambil dari lokasi yang berbeda pada komponen, dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.



**Gambar 4. Hasil Metalografi Replika Pada Shaft Intake**

Pada gambar 5. memperlihatkan hasil metalografi replika pada titik kodefikasi nomor 43 yang berada pada stage 17, menunjukkan adanya indikasi *creep* berupa *isolated cavities* yang ditandai dengan panah kuning dan *oriented cavities* ditandai dengan panah merah. Lokasi yang dilakukan pengujian ditandai dengan tanda lingkaran kuning.

Hasil metalografi menggunakan metode replika pada 60 titik *rotor shaft turbin*, menunjukkan 90% diantaranya merupakan *creep* berupa *isolated cavities* dan *oriented cavities* serta 10% menunjukkan telah terbentuknya *microcracks*. Meskipun hanya 10% dari metalografi menunjukkan *microcracks*, namun hal tersebut penting dan digunakan sebagai dasar dalam menentukan tahap kerusakan yaitu class C. Oleh karena itu, dengan melihat tabel 2. jelas bahwa rotor turbin perlu dilakukan inspeksi kembali dalam enam bulan.

#### **4. KESIMPULAN**

Dari hasil di atas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan metalografi, *rotor shaft turbine* sesuai dengan standar ASTM A470 Class 4.
- 2) Degradasi akibat *creep* teramati berupa *isolated cavities*, *oriented cavities* dan *microcracks*.
- 3) Merujuk pada hasil perhitungan versi Neubauer – Wadel, maka *rotor shaft turbine* layak beroperasi dengan ketentuan dilakukan inspeksi ulang dalam waktu enam bulan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Arnstein, S. R. (1969). A Ladder of Citizen Participation. Dalam R. T. Gates, & F. Stout (Penyunt.), *The City Reader* (2nd ed.). New York: Routledge Press.
- Borer, M. I. (2010). From Collective Memory to Collective Imagination: Time, Place, and Urban Redevelopment. *Symbolic Interaction*, 33(1), 96-144.
- Darlis, A. R. (2015). Impementation Visible Light COmmunication. *International Optical Conference* (hal. 200 - 209). Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Mac Leod, D. (1992). *Post-Modernism and Urban Planning*. Dipetik June 25, 2010, dari <http://www3.sympatico.ca/david.macleod/POMO.HTM>
- Poston, J. D., & Bouvier, L. F. (2010). *An Introduction to Demography*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Stoica, R.-I. (2006 [2005]). Heterotopia Urbana: Some Conceptual Considerations of Urban Heritage. *Forum UNESCO University and Heritage 10th International Seminar "Cultural Landscapes in the 21st Century"*. Newcastle-upon-Tyne.
- Voskuil, R. P. (1996). *Bandoeng: Beeld van Een Stad* (Indonesian ed.). (S. M. Supardan, S. Sumardi, N. Darsono, & I. I. Yousda, Penerj.) Bandung: Dept. Planologi and Jagaddhita.
- Xi, Z. (2004). *Comparison between American and Chinese Community Building*. Dipetik May 10, 2007, dari COMM-ORG: The On-Line Conference on Community Organizing and Development: <http://comm-org.wisc.edu/papers2004/zhangxi.htm>
- .