

## ANALISIS KERUSAKAN PADA SUDU TURBIN GAS

ASYARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dosen Teknik Mesin Universitas Darma Persada

### Abstrak

*Tulisan ini meneliti kerusakan yang terjadi pada sudu turbin gas yang digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Material sudu adalah Inconel 617 yang merupakan material dengan bahan dasar Nikel. Material yang diamati telah beroperasi lebih dari 50.000 jam. Pemeriksaan dilakukan dengan metode pemeriksaan visual, pemeriksaan metalurgi yang mencakup pemeriksaan dengan mikroskop optik, mikroskop elektron scanning dan X-ray Fluorescence (XRF). Dari pengamatan visual ditemukan adanya logam oksida, sodium dan sulfur. Terlihat juga adanya gejala korosi dan erosi. Berdasarkan analisis struktur mikro, ditemukan adanya lapisan tipis karbida dan terbentuknya butir presipitasi  $\gamma'$  kasar yang menjadi penyebab menurunnya kekuatan sudu. Ditemukan juga rongga mikro yang menjadi titik awal terjadinya kegagalan creep.*

**Kata kunci:** Turbin, Sudu, Inconel 617, Kerusakan Turbin, Creep.

### I. PENDAHULUAN

Sebuah sudu turbin gas akan mengalami beban kerja yang berat yaitu berupa tegangan mekanik yang berat, lingkungan yang agresif dan suhu tinggi. Oleh sebab itu material yang digunakan untuk sudu turbin haruslah mampu menahan kondisi berat tersebut. Biasanya bahan yang banyak digunakan adalah bahan dengan logam dasar Nikel.

Dalam beroperasinya turbin, sering ditemui kegagalan yang dialami oleh sudu, baik retak ataupun pecah. Hal ini disebabkan karena terjadinya penurunan kualitas bahan akibat telah beroperasi dalam waktu yang lama dan dalam suhu tinggi (mencapai 850 °C). Oleh sebab itu, perlu diketahui kerusakan-kerusakan yang terjadi pada sudu turbin berikut mekanisme terjadinya. Berikut ini akan dijelaskan hasil penelitian mengenai kerusakan yang ditemui pada sudu turbin gas yang digunakan pada instalasi pembangkit tenaga listrik.

### II. TEORI

Kegagalan pada sudu dapat disebabkan oleh berbagai mekanisme pada kondisi kerja turbin gas yang mempunyai suhu tinggi dan putaran tinggi. Pada umumnya, kegagalan pada sudu turbin gas dapat dikelompokkan atas dua kategori: (a) *fatigue*, mencakup fatigue siklus rendah dan siklus tinggi; dan (b) patah *creep*. (Naeem, 2008).

Material yang digunakan biasanya dibuat dari bahan dasar Nikel superalloy. Bahan ini merupakan material standar untuk beroperasi pada daerah suhu tinggi pada turbin gas, dimana sudu akan mengalami tegangan mekanik yang tinggi dan lingkungan yang agresif. Pada material Nikel superalloy, unsur Chrom merupakan unsur penting untuk menahan korosi pada suhu tinggi dan unsur lainnya sebagai unsur untuk meningkatkan kekuatan

bahan pada suhu tinggi. Unsur Aluminium dan Titanium diperlukan untuk membentuk fase presipitasi  $\gamma'$  selama perlakuan panas.

Gallardo, dkk. (2002) menemukan bahwa kegagalan yang dijumpai pada sudu turbin gas adalah: hilangnya lapisan proteksi dari ujung sudu karena pemakaian, dan timbulnya korosi panas karena hilangnya lapisan proteksi. Sementara Barella, dkk. (2011) menemukan kegagalan pada sudu turbin gas berupa retak, yang disebabkan oleh *fatigue* putaran tinggi. Naeem, dkk. (2008), menemukan bahwa kerusakan pada sudu turbin gas adalah berupa korosi dan erosi, terdapatnya rongga mikro, presipitasi karbida pada batas butir, dan degradasi fase paduan  $\gamma'$ . Ditemukan juga keretakan pada lapisan pelindung yang menjadi penyebab terjadinya retak *fatigue* termal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab-penyebab kegagalan material sudu pada beban siklik. Untuk mengidentifikasi hal tersebut, dilakukan investigasi metalurgi terhadap sampel sudu sebuah turbin gas yang beroperasi pada sistem pembangkit listrik tenaga gas (PLTG).

### III. BAHAN DAN METODE

Bahan sudu yang diteliti adalah *Inconel 617* yang merupakan material berbasis Nikel. Sampel yang diamati adalah sampel yang diambil dari sudu turbin gas yang telah beroperasi lebih dari 50.000 jam. Spesifikasi bahan *Inconel 617* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi kimia *Inconel 617* (Kutz, 1998).

Unsur	Ni	Cr	Co	Mo	Al	Ti	C
%	54,0	22,0	12,5	9,0	1,0	0,3	0,07

Kekuatan tarik : 738 MPa

Kekuatan luluh: 296,5 MPa

Elongasi : 70%

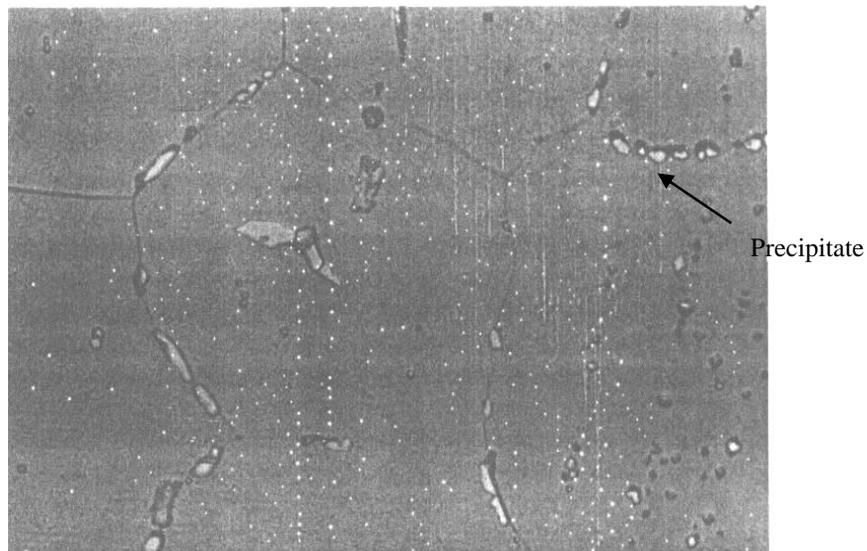
Investigasi dilakukan dengan menggunakan pemeriksaan visual, dan mikrostruktur. Pemeriksaan mikrostruktur dilakukan dengan mikroskop optik, mikroskop *scanning*, dan *X-ray fluorescence*.

### IV. PEMBAHASAN

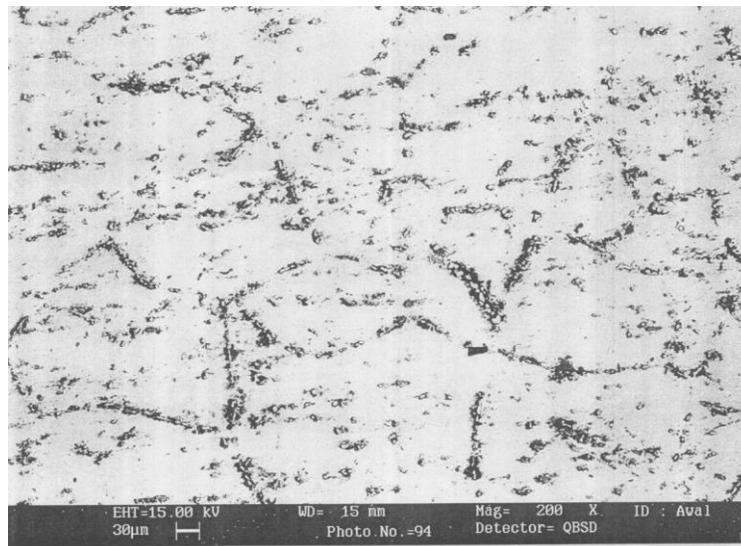
Berdasarkan pemeriksaan secara visual terhadap sampel, pada sisi sudu mempunyai kontur permukaan yang kasar dan warna yang berbeda, terutama warna kemerah-merahan, kehijauan, dan kecoklatan. Dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dan *X-ray Fluorescence* (XRF) diketahui bahwa warna-warna ini disebabkan oleh adanya senyawa oksida besi,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Na}$  dan  $\text{S}$ . (Naeem, 2008).

Sampel yang diperiksa, pertama-tama diuji dengan mikroskop optik, dan selanjutnya diperiksa dengan mikroskop elektron *scanning* dengan dibantu oleh pengujian *XRF*.

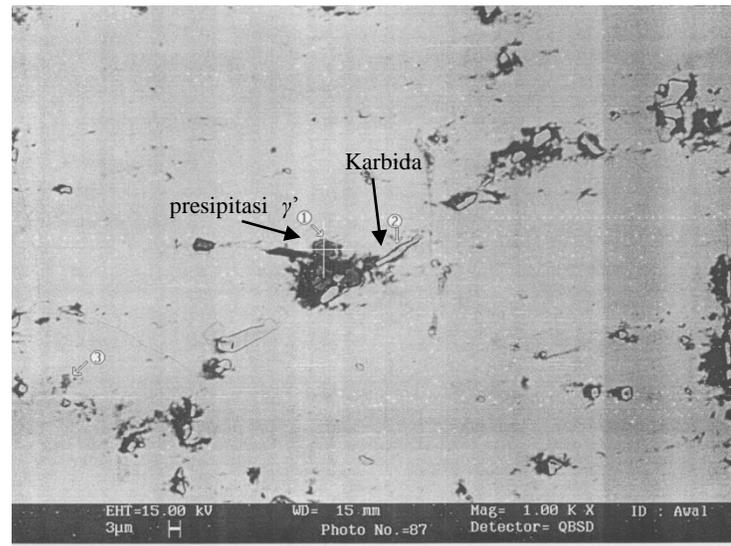
Pada gambar 1 terlihat terjadinya pengkasaran batas butir dan terbentuknya presipitasi, yang disebabkan oleh pemakaian. Gambar diambil menggunakan mikroskop optik.



Gambar 1. Foto sampel dengan menggunakan mikroskop optik. (500x).



Gambar 2. Foto sampel dengan menggunakan mikroskop elektron *scanning*. (200x)



Gambar 3. Foto sampel dengan menggunakan mikroskop elektron *scanning*. (1000x)

Dari gambar 2, terlihat banyak rongga mikro (porositas) yang merupakan *dekohesi intergranular* karbida. Rongga mikro akan menjadi titik awal mekanisme kegagalan *creep*.

Dari hasil uji XRF pada titik 1 (gambar 3), didapat bahwa titik ini dominan dengan unsur Ti (90,38%) sehingga titik ini merupakan fase presipitasi  $\gamma'$  yang berbentuk kasar. Analisis XRF pada titik 2 (gambar 3), menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai konsentrasi Karbon yang tinggi yaitu: 1,58%, dimana seharusnya konsentrasinya adalah 0,07%. Presipitasi karbon ini hampir dijumpai pada semua batas butir (gambar 1 dan 2). Adanya presipitasi karbon ini akan menurunkan kekuatan material yang dapat mencapai 30% (Sugianto), dan pada akhirnya akan dapat dengan cepat merusak bahan. Titik 3 pada gambar 3 dominan dengan unsur Ni dan Cr yang merupakan presipitasi dari senyawa Cr dengan Ni.

Yang perlu dicermati adalah adanya lapisan karbida di batas butir. Pembentukan presipitasi karbida bersamaan dengan degradasi fase presipitasi  $\gamma'$  pada batas butir akan menyebabkan perapuhan bahan sehingga memicu terjadinya mekanisme *creep* dan mengakibatkan inisiasi dan perambatan retak *intergranular*. (Sugianto). Pembentukan senyawa karbida diakibatkan oleh sudu yang beroperasi pada suhu sangat tinggi di atas suhu normalnya ( $\pm 850$  °C). Rybnikov (2005) menyebutkan bahwa pembentukan senyawa karbida timbul ketika suhu kerja sudu mencapai 1050 °C. Diperkirakan naiknya suhu kerja sudu disebabkan oleh terganggunya sistem pendinginan di pipa saluran yang disebabkan oleh tangkai berbahan keramik yang tak dapat dibuang, sisa-sisa pengecoran, kotoran-kotoran, dan sebagainya. Kenaikan suhu kerja di atas suhu normalnya akan secara drastis merusak ketahanan mekanik material, dan pada akhirnya akan menurunkan ketahanan fatigue logam sehingga logam dengan mudah dapat mengalami keretakan.

Untuk mencegah timbulnya presipitasi karbida pada batas butir, maka operator turbin harus selalu menjaga suhu kerja turbin dalam batas normal sehingga sudu turbin tidak cepat menjadi rusak.

#### IV. KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis kerusakan sudu turbin yang terbuat dari bahan dasar Nikel yaitu Inconel 617. Sudu turbin yang diperiksa telah digunakan lebih dari 50.000 jam operasi. Pemeriksaan dilakukan dengan pemeriksaan visual dan analisis metalurgi.

1. Pemeriksaan visual menunjukkan bahwa terdapat senyawa besi oksida,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , NiO, Na dan S. Dan pada permukaan sudu terlihat kasar yang diakibatkan oleh terjadinya korosi dan erosi.
2. Pemeriksaan struktur mikro sudu menghasilkan adanya lapisan tipis karbida di batas butir dan presipitasi  $\gamma'$  yang berbentuk kasar yang mengakibatkan penurunan kekuatan material sudu.
3. Terdapat rongga mikro yang menjadi titik awal terjadinya kegagalan *creep*.
4. Diperkirakan bahwa kegagalan sudu dapat bertambah parah ketika terjadinya kontak/gesekan antara ujung sudu dengan *casing* karena sudu mengalami *creep* setelah beroperasi dalam waktu yang lama.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

1. American Society for Testing of Materials, 1995. *Annual Book of ASTM Standards, Section 3 – Metal Test Methods and Analytical Procedures*. Volume 03.01, ASTM, Philadelphia, USA.
2. ASM International, 1990. *Metals Handbook, ninth edition, Volume 3: Properties and Selection Stainless Steel, Tools Materials and Special Purpose Metals*. Ohio.
3. Barella S., M. Boniardi, S. Cincera, P. Pellin, X. Degive, S. Gijbels, 2011. *Failure Analysis of a Third Stage Gas Turbine Blade*. Journal of Engineering Failure Analysis, Vol. 18, Issue 1, pp. 386-393. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135063071000169X>)
4. Callister W.D. Jr, 1994. *Material Science and Engineering, an Introduction, 3<sup>rd</sup> edition*. John Willey & Sons, Inc.
5. Gallardo J.M., J. A. Rodriguez, E. J. Herrera, 2002. *Failure of Gas Turbine Blade*. Journal of Wear, Vol. 252, Issues 3-4, pp. 264-268. (<http://www.sciencedirect.com/science/pii/S0043164801008857>)
6. Kutz Myer, 1998. *Mechanical Engineers Hand Book, 2<sup>nd</sup> edition, Vol. 1*. John Willey & Sons, Inc.
7. Naeem M. T., S. A. Jazayeri, N. Rezamahdi, K. N. Toosi, 2008. *Failures Analysis of Gas Turbine Blades*. Proceed of the 2008 IAJC-IJME International Conference. ([www.ijme.us/cd\\_08/PDF/120\\_ENG\\_108.pdf](http://www.ijme.us/cd_08/PDF/120_ENG_108.pdf))
8. Rybnikov A.L., Getsov L.B., Lentiev S.A., 2005. *Failure Analysis of Gas turbin Blades*. Journal of Microsc Microanal 11(Suppl 2), pp. 222.

9. Sugianto A., R. J. Wardhana, N. Yulian, I Gede K. J. Wardana, M. Karokaro, H. Purwaningsih. *Failure Failure Analysis of a First Stage High Pressure Turbine Blade in an Aero Engine Turbine on PK-GSG Boeing B747-400*. (<http://digilib.its.ac.id/public/ITS/Undergraduate/15480/Paper/pdf>)