

## Analisis Striasi Dan Creep Sudu Turbin Gas PLTGU Muara Tawar Unit II

Sahlan

Jurusan Teknik Mesin, STT-PLN  
Jln. Lingkar Luar Barat, Jakarta Barat  
sahlan\_1956@yahoo.com

### Abstrak

Analisis metalografi dengan pengamatan mikroskop optik pembesaran 50X atau 100X pada kaki sudu jalan (the blade root) tingkat 2 turbin gas PLTUG Muara Tawar Unit II, sisi bagian dalam aliran gas panas masuk, teramati adanya kerusakan awal (minor) yaitu kerusakan striasi. Striasi yang terjadi menunjukkan alur kerusakannya menyebar kesisi samping kiri dan kanan. Dan dengan pengamatan SEM (Scanning Electron Microscope) dengan pembesaran 10000x, atau 30000X pada sisi tengah pada sudu yang sama, terindikasi adanya kerusakan yang serius (mayor) yaitu adanya kerusakan creep dan jenis creep butiran (intergranular). Saat sampel diterima dari pihak PLTGU, visualisasinya memperlihatkan kondisi yang sudah hampir terbelah terbuka. Striasi terjadi akibat penjaralan kerusakan lanjutan dari kerusakan creep didaerah kritis, dan creep bisa terjadi akibat kondisi kerja yang berlebihan, bisa beban kejut atau beban lebih (over load) pada suhu tinggi.

**Keywords:** Striasi, creep, sudu turbin

### Pendahuluan

Turbin gas PLTU Muaratawar setelah beroperasi selama 24.000 jam kerja dilakukan inspeksi dan overhaul. Dalam inspeksi dilakukan pengamatan secara visual dan radiography spektrum, maka terindikasi adanya kerusakan pada kaki sudu jalan (blade root) tingkat 2 yang terkoyak dan berubah bentuk sudut arah aliran gasnya. Dimana pada sisi bagian dalam aliran gas panas masuk, teramati adanya kerusakan awal (minor), secara visual permukaan sudu menjadi tidak merata dan ada semacam goresan-goresan yang sangat halus. Analisis refraktografi dilakukan dengan pengamatan yang mempergunakan radiography spectrum, yaitu dilakukan foto sinar-x, maka terlihat adanya foto bintang-bintang berbaris arah vertical.

Dibawah ini merupakan spesifikasi turbin gas pada PLTGU Muara Tawar:

- Pabrik/type : ABB/GT 13E2
- Kompresor : 21 tingkat
- Turbin : 5 tingkat
- Ruang bakar : 72 burner
- Sistem Pembakaran : Annular
- Temperatur Design Inlet : 1100°C
- Temperatur Design Outlet : 550°C
- Putaran : 3000 rpm
- Volume gas buang : 585 kg/detik
- Berat total : 340.000 kg

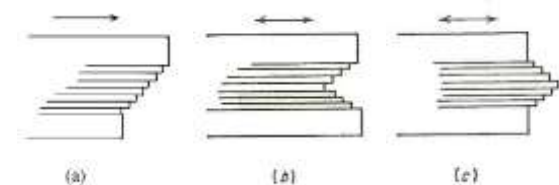
Dari adanya indikasi kerusakan awal pada sudu jalan tingkat tiga dan kemudian dihubungkan dengan data

spesifikasi turbin gas PLTUG Muaratawar, menunjukkan adanya beban kerja yang sangat berat pada sudu jalan, dimana untuk dapat berputar 3000 rpm, sudu harus menerima beban tumbukan gas panas yang bersuhu 1100o C sebesar 585 kg gas panas perdetiknya.

Untuk memastikan jenis kerusakan yang terjadi pada kaki sudu jalan tingkat maka dilakukan pemotongan dan kemudian dilakukan analisis metalografi dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dengan pembesaran masing-masing 10.000X dan 30.000X.

### Studi Pustaka

W.A. Wood ahli metalurgi mengamati mekanisme kerusakan lelah pada logam yang berkaitan dengan deformasi pergelinciran halus yang kemudian menjadi retakan lelah. Gambar 1, secara skematis memperlihatkan struktur halus pita gelincir pada pembesaran yang mampu dicapai oleh mikroskop elektron (SEM).



**Gambar 1.** Mekanisme pembentukan ekstrusi dan instruksi striasi lelah

Pergelinciran akibat deformasi statis, akan menghasilkan kontour pada permukaan logam serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 1a. Sebaliknya pergerakan maju-mundur dari gelincir halus pada leleh, dapat membentuk takikan (Gambar 1b) atau berbentuk bukit (ridge) (Gambar 1c) pada permukaannya. Takik merupakan konsentrasi tegangan, dan dasar takik mempunyai dimensi atomik. Keadaan demikian mendorong terbentuknya retakan leleh. Mekanisme pembentukan awal retak leleh tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa retakan leleh mulai terjadi pada permukaan dan retakan mulai terjadi pada intrusi dan ekstrusi pita gelincir. Pada retak tahap I, merambat sepanjang pita gelincir datar. Pada logam polikristalin, retakan dapat berkembang sejauh beberapa diameter butiran sebelum perambatan retak berubah menjadi perambatan tahap II. Lajur perambatan retak pada tahap I biasanya sangat rendah, sekitar beberapa angstrom per siklus, dibandingkan dengan laju perambatan retak pada tahap II, yaitu sekitar beberapa mikron persiklus. Permukaan patahan tahap I hampir-hampir tidak mempunyai ciri-ciri khas.



**Gambar 2.** Model striasi kerusakan leleh

Berbeda sekali dengan permukaan patahan tahap II yang memperlihatkan adanya pola riak atau striasi patahan leleh (Gambar 2). Setiap striasi menyatakan kedudukan berurut dari medan retak yang bergerak tegak lurus pada tegangan tarik terbesar. Setiap striasi dihasilkan oleh satu siklus tegangan. Adanya striasi tersebut memberikan petunjuk pasti bahwa kegagalan dihasilkan oleh kelelahan, akan tetapi dengan tidak adanya striasi tidak menutup kemungkinan terjadinya patahan leleh. Tidak adanya striasi pada permukaan atas dapat disebabkan oleh jarak yang sangat kecil, sehingga tidak dapat dilihat dengan metoda pengamatan yang digunakan. Atau dapat juga disebabkan oleh kurangnya keuletan pada ujung retak untuk menghasilkan riak melalui deformasi plastik yang cukup besar untuk diamati, atau disebabkan oleh hilangnya striasi akibat kerusakan dipermukaan. Karena retakan tahap II terbatas, maka jumlah striasi tidak akan memberikan keterangan lengkap mengenai terjadinya kegagalan.

Berbeda dengan striasi, maka pada creep merupakan kejadian fenomena pemuluran logam yang bekerja atau beroperasi pada suhu tinggi. Dengan refraktografi kita dapat mengamati peristiwa creep

logam secara struktural pada butiran kristalnya. Ini dapat dilakukan dengan melakukan pemotretan dengan pengamatan mikroskop electron yaitu melalui pengamatan metalografi. Pengamatan metalografi pada creep akan lebih jelas bila mempergunakan mikroskop electron dengan pembesaran  $> 5000X$ . yaitu pengamatan dari awal peristiwa creep (initial creep), yang dimulai dari kejadian voids sampai pada fenomena creep itu sendiri.

Ada macam peristiwa creep pada logam. Pertama intergranular creep yaitu jenis creep yang terjadi pada batas atau antar butiran kristal. Kedua intragranular creep yaitu jenis atau macam creep yang terjadi dengan cara membelah butiran Kristal.

### Metodologi Penelitian

Untuk memperoleh hasil pengamatan kerusakan leleh striasi pada sudu turbin gas, dilakukan pengamatan pada permukaan sisi luar sudu turbin dengan menggunakan pengamatan mikroskop optik dengan pembesaran 50X. Pertimbangannya adalah terjadinya striasi yang paling nyata ada pada kulit sisi luar, dan karena secara nyata pada sisi luar atom-atom bergeser dan gelinciran striasi terjadi akibat perubahan deformasi plastis.

Creep pada sudu turbin diamati dengan melakukan pemotongan melintang dan searah sumbu aksial poros turbin. Jadi pengamatan creep lebih mendalam dari pada pengamatan striasi. Dengan menggunakan SEM pembesaran masing-masing 10000X dan 30000X secara nyata dapat melakukan pengamatan void yaitu awal terjadi creep dan pengamatan terjadinya creep intergranular atau intragranular yang sudah melampaui ambang batas kerusakan leleh.

Untuk sampel, Gambar 3a. merupakan bagian sisi dingin potongan sudu tingkat 2 dan Gambar 3b. bagian sisi panas. Potongan diambil pada daerah yang dianggap paling kritis dan merupakan pusat kerusakan



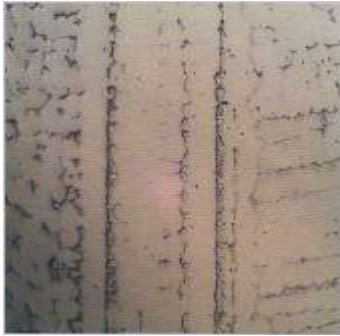
(a)



(b)

**Gambar 3:** Potongan sampel sudu tingkat 2

## Hasil dan Pembahasan



**Gambar 4:** Kerusakan lelah striasi, pembesaran 50X

Pada Gambar 4 adalah hasil foto mikroskop last dengan pembesaran 50X, yaitu untuk mengamati terjadi kerusakan lelah striasi. Pada striasi tahap I atau awal terjadinya striasi, terbentuknya dua garis tegak lurus tebal dan berbentuk bukit (ridge), menunjukkan adanya takikan akibat adanya pergerakan maju-mundur dari gelincir halus pada lelah, membentuk retakan lelah yang diakibatkan oleh tumbukan gas panas yang berlebihan dalam waktu yang lama. Takik merupakan konsentrasi tegangan, dan dasar takik mempunyai dimensi lasti. Keadaan demikian mendorong terbentuknya retakan lelah. Seperti yang diuraikan pada studi pustaka diatas, mekanisme pembentukan awal retak lelah tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa retakan lelah mulai terjadi pada permukaan dan retakan mulai terjadi pada intrusi dan ekstrusi pita gelincir.

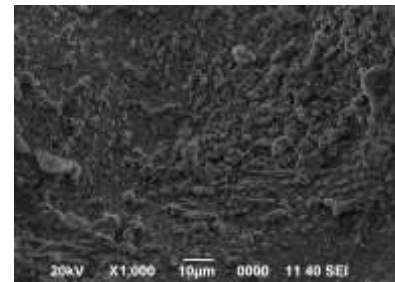
Setiap garis-garis yang sejajar tegak lurus, menunjukkan striasi kedudukan berurut dari medan retak yang bergerak tegak lurus pada tegangan tarik terbesar. Dan setiap striasi dihasilkan oleh satu siklus tegangan. Adanya striasi tersebut memberikan petunjuk pasti bahwa kegagalan dihasilkan oleh kelelahan akibat tumbukan gas panas yang tinggi, akan tetapi bila tumbukkan terus menerus dalam kurun waktu tertentu maka striasi lanjut dan kritis tidak menutup kemungkinan terjadinya akan menimbulkan patah lelah. Tidak adanya striasi pada permukaan atas dapat disebabkan oleh jarak yang sangat kecil,

Sebaliknya pergerakan maju-mundur dari gelincir halus pada lelah, dapat membentuk takikan yang halus merata pada daerah sekitarnya. Ini merupakan model striasi tahap II akibat proses penumpulan lastic. Dan secara berulang-ulang striasi tahap I menjadi kondisi tahap II dan begitu pula sebaliknya.

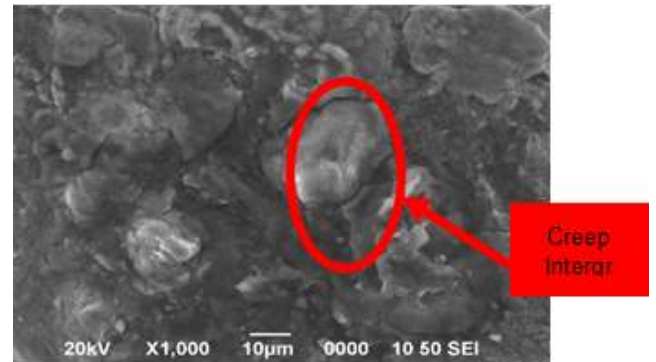
Dari hasil foto metalografi berikutnya, seperti pada Gambar 5, dengan SEM pembesaran 10.000X menunjukkan adanya creep pada sudu terjadi di atas butiran kristal, dan sebagian adanya voids pada setiap ujung butiran kristal. Pada Gambar 6 menunjukkan adanya creep yang terjadi pada (batas) butiran kristal, dan arena terjadinya creep dibutiran kristal maka

creep yang terjadi digolongkan kedalam intergranular creep. Namun terlihat juga jenis intragranular creep. Ini Nampak pada sisi tengah bagian kiri Gambar 6. Intragranular creep terlihat lebih banyak menyebar secara sporadik, bila dibandingkan dengan yang jenis intergranular creep.

Secara menyeluruh dapat dikatakan bahwa creep sudah terjadi menyeluruh didalam sudu turbin dan voids untuk mulai bermunculan yang pada akhirnya menjadi intergranular maupun intragranular creep. Pada hakekatnya, bila sudah terjadi intragranular creep, kondisi metalurgikal didalam sudu turbin sudah parah, atau dengan kata lain kerusakan lelah bahan akibat sudah fatal.



**Gambar 5:** Creep terjadi pada batas butiran (intergranular creep)



**Gambar 6:** Creep menyebar terjadi hampir pada seluruh bagian (sporadis).

## Kesimpulan

Dari hasil analisis kerusakan lelah yang disebabkan oleh striasi dan creep yang telah terjadi didalam sudu turbin PLTGU Muara Tawar Unit II, menunjukkan bahwa:

- 1) Kerusakan lelah serius dan fatal akibat striasi pada permukaan sudu turbin metalografi menunjukkan Pada striasi tahap I atau awal terjadinya striasi, terbentuknya dua garis tegak lurus tebal dan berbentuk bukit (ridge), menunjukkan adanya takikan akibat adanya pergerakan maju-mundur dari gelincir halus pada lelah, membentuk retakan lelah yang diakibatkan oleh tumbukan gas panas yang berlebihan dalam waktu yang lama. Takik merupakan konsentrasi

tegangan, dan dasar takikan mempunyai deformasi plastis. Keadaan demikian mendorong terbentuknya retakan lelah creep.

- 2) Secara menyeluruh dapat dikatakan bahwa creep sudah terjadi menyeluruh didalam sudu turbin dan voids untuk mulai bermunculan yang pada akhirnya menjadi intergranular maupun intragranular creep. Pada hakekatnya, bila sudah terjadi intragranular creep, kondisi metalurgikal didalam sudu turbin sudah parah, atau dengan kata lain kerusakan lelah bahan akibat sudah fatal.

### **Daftar Pustaka**

American Standard for Test Materials, ASTM SA 201 A1, 1999.

Ansory Kamil, Sistem Udara Pembakaran, PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan, 2006

Dieter, George E., Mechanical Metallurgy, 6th edition, McGraw-Hill, Inc. 2003.

Griffiths, W.T., The Problem of High-Temperature Alloys for Gas Turbine, John Wiley & Sons, New York, 2001.

Gittus, J., Creep, Viscoelasticity and Creep fracture in Solids, Halsted, Wiley, New York, 1975