

PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK AKIBAT PEMANASAN DIATAS TEMPERATUR KERJA PADA MATERIAL SUDU TURBIN NICKEL BASED SUPERALLOYS SRR 99

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES ALTERATION DUE TO OVERHEATING TEMPERATURE IN TURBINE BLADES NICKEL BASED SUPERALLOYS SRR 99

Toni Agung Priambodo¹, Bambang Widyanto²

¹Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jl. Sangkuriang 14, Bandung 40135

²Program Studi Teknik Material - Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

Email: toniagung@kemenperin.go.id

Diterima: 9 April 2015

Direvisi: 7 Mei 2015

Disetujui: 11 Juni 2015

ABSTRAK

Sudu turbin merupakan komponen dari mesin pesawat yang akan terekspose pada temperatur tinggi. Material *superalloys* banyak digunakan sebagai bahan untuk membuat sudu turbin, karena memiliki kekuatan yang baik pada temperatur tinggi. Salah satu material superalloy yang digunakan adalah SRR 99, yang merupakan material *nickel based superalloys* yang memiliki butir tunggal. Namun, material ini juga akan mengalami perubahan struktur mikro dan sifat mekanik pada saat terekspose pada temperatur yang terlalu tinggi. Penelitian ini mempelajari pengaruh pemanasan di atas temperatur kerja atau temperatur *overheat* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari material sudu turbin *Nickel Based Superalloys* SRR 99. Temperatur pemanasan yang digunakan sebesar 1250°C. Dari hasil pemanasan yang dilakukan terjadi penurunan ukuran partikel γ' sebesar 51% dan kenaikan harga kekerasan dari kekerasan awal sebesar 13% dibandingkan dengan kondisi sebelum pemanasan. Sedangkan variasi waktu yang dilakukan pada penelitian ini tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap perubahan ukuran partikel γ' dan nilai kekerasan.

Kata kunci: sudu turbin, mikrostruktur, *nickel based superalloys*, SRR 99

ABSTRACT

Turbine blade is one of the components of aero engine that exposed to high temperature. Superalloys materials mostly used for turbine blade's material, because it has good strength at elevated temperature. One type of the superalloys that is used is SRR 99. SRR 99 is a nickel based superalloys and has single crystal. This research was focused on the effect of heat treatment above the working temperature on the micro structure and mechanical properties of turbine blade Nickel Based Superalloys SRR 99. Heating temperature that used is 1250°C. The heat treatment resulted in decreasing of γ' particle size of 51% and the increasing of 13% hardness number compared to that of initial condition. Time variation performed in this research does not give a significant difference to changes in γ' particle size and hardness number.

Keywords: turbine blade, microstructure, *nickel based superalloys*, SRR 99

PENDAHULUAN

Pada mesin pesawat terbang yang menggunakan sistem turbin gas, semakin tinggi temperatur pembakaran semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan. Sudu turbin sebagai salah satu bagian dari komponen mesin pesawat terbang yang menerima tekanan dan temperatur yang

tinggi. Material logam dapat mengalami perubahan struktur mikro jika terpapar pada temperatur tinggi yang berakibat pula terhadap perubahan sifat mekanik, juga dapat terjadi pada sudu turbin ketika terekspose pada temperatur di atas temperatur operasi atau pada kondisi *overheat*.

Material sudu turbin yang digunakan pada mesin pesawat terbang umumnya adalah material *superalloys*. Material jenis ini memiliki kekuatan mekanik pada temperatur tinggi dan ketahanan yang baik terhadap lingkungan pada temperatur tinggi. Kekuatan mekanik diperoleh dari pembentukan presipitat γ' pada matriks γ . Sedangkan ketahanan korosi material ini didapat dengan pembentukan lapisan oksida hasil penambahan unsur Cr atau Al yang kemudian membentuk lapisan Cr_2O_3 dan Al_2O_3 saat terekspose dengan O_2 . Berdasarkan unsur paduan utamanya *superalloy* terbagi menjadi tiga kelompok. *Nickel based, cobalt based, dan iron based* [1].

SRR 99 adalah material *superalloys* yang masuk dalam kelompok *Nickel Based* dengan paduan kristal tunggal (*single crystal*) yang memiliki komposisi Cr 8,5%; Co 5%; W 9,5%; Ta 2,8%; Al 5,5%; Ti 2,2%. Unsur paduan tersebut merupakan unsur-unsur yang berfungsi sebagai penguat dalam *solid solution strengthening* [2]. Material SRR 99 digunakan sebagai sudu jalan pada *second stage turbine* dari *High Pressure Turbine* mesin TAY (*Turbofan engine*). Kondisi operasi material ini berkisar antara temperatur 900-1000°C [3]. Penggunaan material ini pada temperatur yang lebih tinggi atau yang disebut temperatur *overheat* dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro yang bisa mempengaruhi sifat mekanik dari material tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada struktur mikro jika material SRR 99 terpapar pada temperatur diatas temperatur kerja normal atau pada kondisi *overheat*. Kondisi *overheat* ini dapat terjadi pada turbin antara lain disebabkan tersumbatnya saluran pendingin yang terdapat pada sudu turbin, kinerja mesin yang menurun atau kesalahan dalam pengoperasian mesin. Penelitian ini belum dapat merepresentasikan keadaan sudu turbin pada kondisi sebenarnya dengan mengabaikan gaya sentrifugal yang diterima sudu turbin pada saat mesin berjalan.

BAHAN DAN METODE

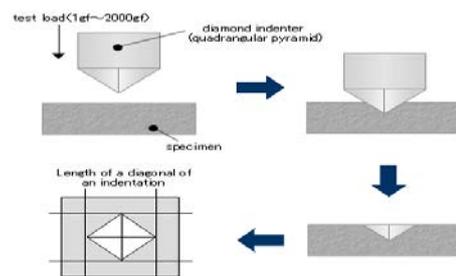
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah material *superalloys* SRR 99. Proses penelitian yang dilakukan adalah dengan pemanasan material SRR 99 pada temperatur 1250°C dengan variasi waktu pemanasan. Waktu pemanasan yang diberikan adalah selama 20, 40,

dan 60 menit. Pemilihan waktu ini didasarkan informasi bahwa waktu yang diperbolehkan untuk material SRR 99 dalam keadaan *overheat* paling lama adalah 10 menit. Variasi waktu dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari perbedaan waktu pemanasan terhadap struktur mikro dan sifat mekaniknya.

Metode penelitian yang dilakukan adalah membandingkan struktur mikro dan sifat mekanik antara sebelum pemanasan dan setelah pemanasan, dan dengan variabel waktu. Analisa struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Sedangkan penghitungan besar ukuran partikel atau presipitat dan jarak antar partikel atau presipitat menggunakan metode garis intercept dengan perangkat lunak *Lince*. Hasil yang ditampilkan dalam makalah ini adalah besar ukuran partikel atau presipitat dan jarak antar partikel rata-rata dari 10 kali pengambilan data. Perubahan sifat mekanik direpresentasikan dengan mengukur perubahan harga kekerasan sebelum dan sesudah pemanasan dengan menggunakan metode *micro vickers*. Hasil nilai kekerasan yang dianalisa dalam makalah ini adalah nilai kekerasan rata-rata dari 5 kali pengambilan data supaya dapat mewakili sampel secara keseluruhan. Metode *micro vickers* dipilih karena metode ini yang paling cocok digunakan untuk material sampel yang kecil. Pada metode *micro vickers*, beban indentasi yang digunakan 1 gf sampai dengan 200 gf. Proses pengukuran harga kekerasan metode *micro vickers* secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian setelah pemberian indentasi, bekas indentasi pada material sampel diukur jarak d_1 dan d_2 . Dari data d_1 dan d_2 tersebut, kemudian dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(1/2\theta)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2}$$

P : beban
 L^2 : panjang rata-rata diameter 1 dan 2



Gambar 1. Metode Pengukuran Harga Kekerasan Metode *Micro Vickers*

Pada penelitian ini juga dilakukan analisa menggunakan EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) untuk mengetahui unsur-unsur penyusun dari sampel SRR 99 yang digunakan sehingga dapat diketahui perubahan fasa yang terjadi dengan meletakkan komposisi unsur penyusunnya pada diagram fasa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil SEM yang dilakukan terhadap sampel awal yang belum mengalami pemanasan terlihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Perubahan Besar Presipitat γ'

Waktu Pemanasan (menit)	Ukuran γ' (μm)
0 (awal)	0,307
20	0,148
40	0,147
60	0,136

Tabel 2. Jarak Antar Partikel γ'

Waktu Pemanasan (menit)	Jarak antar partikel γ' (μm)
0 (awal)	0,133
20	0,058
40	0,053
60	0,048

Tabel 3. Nilai Kekerasan Material SRR 99

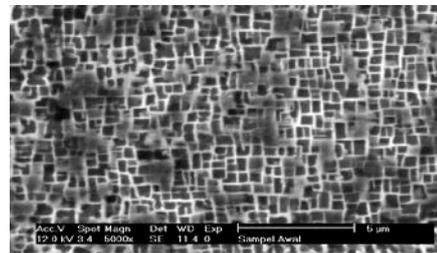
Waktu Pemanasan (menit)	Kekerasan (HV)
0 (awal)	354,0
20	408,6
40	395,6
60	418,5

Dari hasil SEM pada material awal diperoleh besar ukuran rata-rata presipitat γ' sebesar 0,307 μm dan jarak antar rata-rata presipitat γ' sebesar 0,133 μm . Nilai kekerasan dari material sudu turbin SRR 99 sebelum mengalami perlakuan panas adalah 354 HV.

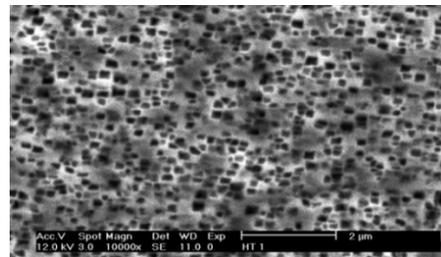
Setelah dilakukan proses pemanasan sampai temperatur 1250°C dengan variasi waktu selama 20, 40 dan 60 menit diperoleh hasil struktur mikro seperti yang tampak pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5. Dari data pada Tabel 1 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa telah terjadi perubahan ukuran yang signifikan pada presipitat

γ' dan jarak antar presipitat γ' akibat pemanasan sampai temperatur 1250°C. Sedangkan perbedaan waktu pemanasan 20, 40 dan 60 menit tidak memberikan perbedaan yang signifikan.

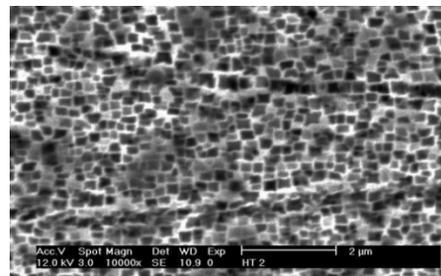
Dari data kekerasan pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa telah terjadi perubahan harga kekerasan antara sampel sebelum dan setelah pemanasan. Sedangkan perbedaan waktu pemanasan tidak menghasilkan perbedaan kekerasan yang dapat dilihat dari nilai rata-rata antara perlakuan 1, 2 dan 3 yang selisihnya relatif kecil jika dibandingkan dengan sampel awal dan sampel setelah mengalami perlakuan panas.



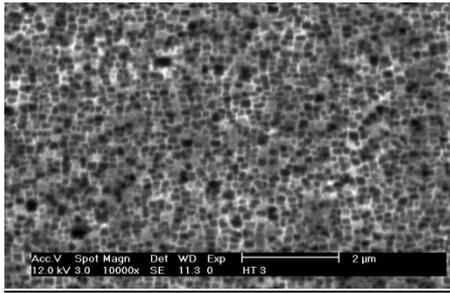
Gambar 2. Struktur Mikro SRR 99 sebelum Pemanasan terdiri dari Matriks γ dan Presipitat γ'



Gambar 3. Struktur Mikro Material SRR 99 setelah Mengalami Pemanasan sampai Temperatur 1250°C selama 20 Menit



Gambar 4. Struktur Mikro Material SRR 99 setelah Mengalami Pemanasan sampai Temperatur 1250°C selama 40 Menit



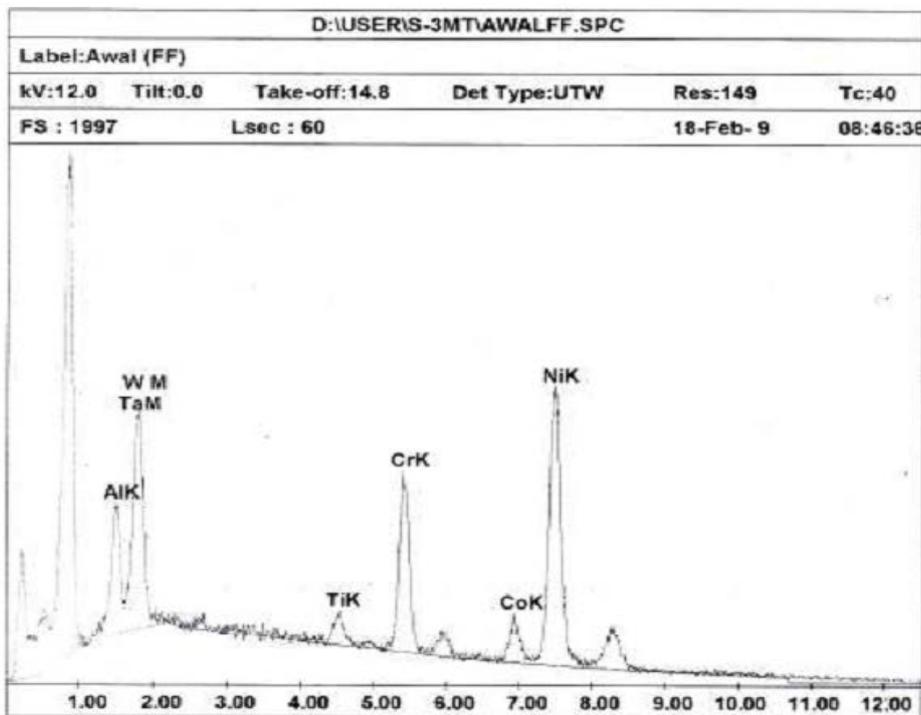
Gambar 5. Struktur Mikro Material SRR 99 setelah Mengalami Pemanasan sampai Temperatur 1250°C selama 60 menit

Penurunan ukuran presipitat γ' sebelum dan sesudah pemanasan terjadi karena pemanasan pada temperatur 1250°C, presipitat γ' larut kedalam matriks γ , seperti ditunjukkan pada diagram fasa Gambar 7. Terlihat bahwa pada saat pendinginan dengan media pendingin udara, presipitat akan mulai menjadi inti kembali dan membentuk presipitat γ' yang ukurannya lebih kecil dari ukuran awal.

Dari hasil pengujian EDS untuk mengetahui unsur-unsur penyusun material SRR 99 yang digunakan sebagai sampel diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. Komposisi Material SRR 99 Hasil EDS

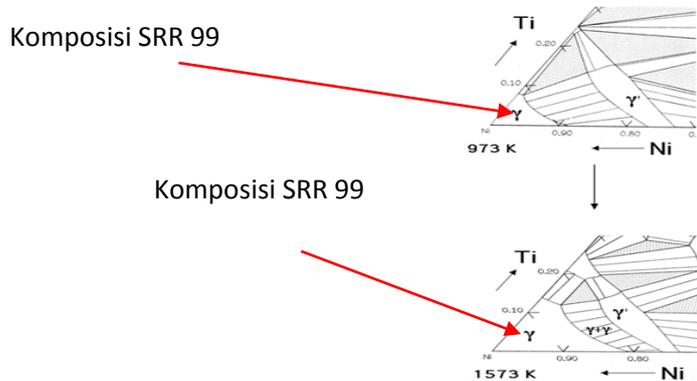
Unsur	SRR 99	Matriks (γ)	Presipitat (γ')
	%	%	%
Al	3,35	3,30	2,36
Ta	5,89	5,36	4,49
W	12,8	15,48	6,14
Ti	1,25	1,07	1,97
Cr	9,95	12,25	4,88
Co	5,95	6,53	4,51
Ni	60,8	56,01	75,63
Total	100	100	100



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian EDS

Dari hasil EDS pada material SRR 99 yang digunakan sebagai sampel, maka dapat diketahui komposisi persen berat dari unsur penyusun

sampel. Dari persen berat tersebut, dapat diketahui posisi sampel material SRR 99 yang digunakan pada diagram fasa (Gambar 7).



Gambar 7. Diagram Fasa Ni-Ti-Al pada Temperatur 700°C dan 1300°C [3]

Peningkatan harga kekerasan antara sebelum dan setelah perlakuan pemanasan terjadi karena besar gaya yang dibutuhkan oleh dislokasi untuk dapat menembus partikel yang koheren (presipitat γ') lebih besar daripada gaya yang dibutuhkan untuk menembus matriks. Pada partikel koheren dan berukuran kecil, dislokasi dapat menembus partikel tersebut dengan cara memotong (cutting) [5]. Deformasi yang terjadi akan menghasilkan penumpukan dislokasi yang dapat menjadi penghalang pergerakan dislokasi lain yang akan melewatinya. Dengan penumpukan dislokasi ini, maka akan semakin tinggi tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan dislokasi pada material tersebut. Peningkatan harga kekerasan juga disebabkan karena penurunan jarak antar presipitat γ' seperti tampak pada Tabel 3. Semakin kecilnya jarak antar presipitat γ' maka penghalang pergerakan dislokasi akan semakin banyak. Penghalang ini dapat berupa dislokasi lain atau presipitat itu sendiri.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pemanasan yang dilakukan terhadap material SRR 99 pada temperatur 1250°C menyebabkan fasa γ' mengalami penurunan ukuran sebesar 51%. Sedangkan perbedaan waktu pemanasan yaitu selama 20, 40, dan 60 menit tidak menghasilkan perubahan ukuran fasa γ' . Pemanasan yang dilakukan terhadap material

SRR 99 pada temperatur 1250°C menyebabkan peningkatan nilai kekerasan sebesar 13%. Sedangkan perbedaan waktu pemanasan yaitu selama 20, 40, dan 60 menit tidak menghasilkan perubahan harga kekerasan yang signifikan terhadap material SRR 99. Kesimpulan dari penelitian ini adalah akibat dari pemanasan di atas temperatur kerja menyebabkan penurunan ukuran presipitat γ' yang berakibat pada kenaikan harga kekerasan dari material nickel based superalloys SRR 99. Dengan kenaikan nilai kekerasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa ketangguhan material SRR 99 juga menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Fadzar Vira C sebagai narasumber dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tresa M. Pollock and Sammy Tin, 2006, "Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties", *Journal of Propulsion and Power* **22** (2): 361-374.
- [2] Sims, Stolof, Hagel, 1987, *Superalloys II*, New York, John Wiley & Sons Inc., 615 hlm.

- [3] Bhadeshia, H. K. D. H, 2014, Nickel Based Superalloys, <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/nickel.html>, diakses 28 Juni 2014.
- [4] Vira, Fadzar C, 2009, PT. Nusantara Turbin dan Propulsi, Bandung, Komunikasi pribadi.
- [5] C Dieter, G.E, 1986, *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, New York, McGrawHil, 800 hlm.
- [6] Kang Yuan, Robert Eriksson, Ru Lin Peng, Xin-Hai Li, Sten Johansson, Yan-Dong Wang, 2013, "Modeling of Microstructural Evolution and Lifetime Prediction of MCrAlY Coatings on Nickel Based Superalloys during High Temperature Oxidation, Surface and Coatings Technology". Volume **232**, 15 October 2013, Pages 204–215.
- [7] L. Y. Sheng, F. Yang, T. F. Xi, C. Lai, J. T. Guo, "Microstructure and Elevated Temperature Tensile Behaviour of Directionally Solidified Nickel Based Super-alloy" Materials Research Innovations, Vol. **17**/2013, Hal 101-106.
- [8] Calister, William, D. 2003, *Materials Science and Engineering – An Introduction, 6th Edition*, New York, John Willey & Sons Inc., 201 hlm.
- [9] ASM Handbook, 2004, *ASM Handbook Vol 9, Metallography and Microstructures*, ASM International.
- [10] Porter, D.A. & Easterling, K.E., 1991, *Phase Transformation in Metals and Alloys*, London, Chapman & Hall, 301 hlm.