

INVESTIGASI AREA SERRATED YIELDING PADA PADUAN 800H

Detailed information about the mechanical properties of components in the power plant was crucial in process design. One essential piece of information was the characteristics of the material at various temperatures in a tension load. In this study, the tensile test was applied to the Alloy 800H with various temperatures ranging from 24°C to 900°C at a constant deformation rate of 10⁻⁴/s. Alloy 800H was a promising candidate for components in power plants due to its high corrosion resistance in a high-temperature environment. A test was conducted by following the ASTM E8 and ASTM E21. The tensile apparatus was equipped with a furnace, and a thermocouple was attached to the specimen surface of the cylindrical during the test. The data was recorded by the data acquisition connected to the PC. This preliminary study aimed to determine the serrated yielding area that occurred based on several data from tensile test results.

I.M.W. Ekaputra

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Sanata Dharma
Program Studi Teknik Mesin
Paingan, Maguwoharjo, Yogyakarta
Indonesia
made@usd.ac.id

Keywords: Alloy 800H, Serrated Yielding, Superalloy.

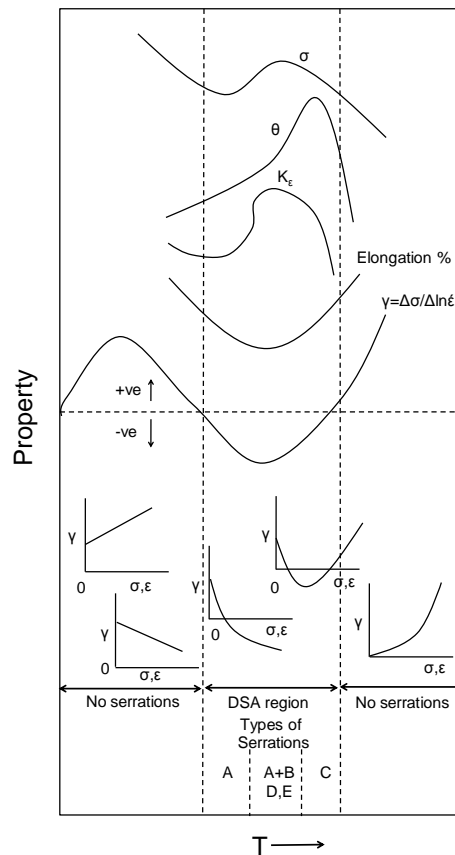
1. PENDAHULUAN

Beberapa paduan logam baik *ferro* maupun *non-ferro* masih cukup populer untuk digunakan pada berbagai aplikasi [1-5]. Salah satu paduan logam *ferro* yaitu paduan 800H, merupakan salah satu paduan yang dijadikan kandidat sebagai bagian dari komponen di pembangkit listrik [1-2]. Salah satu keunggulan dari paduan 800H adalah ketahanan pada temperatur di atas 900°C dan pada lingkungan pendingin helium. Pada pembangkit listrik, paduan 800H digunakan pada komponen di generator uap dan penukar panas. Lingkungan pengoperasian yang cukup ekstrim pada komponen-komponen tersebut dapat mengakibatkan penurunan kualitas dan kegagalan mekanis pada jangka waktu penggunaan tertentu. Salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan pada proses desain khususnya pada lingkungan bertemperatur tinggi adalah sensitifitas laju regangan [6,7].

Sensitivitas laju regangan merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhatikan karena dapat menyebabkan perubahan aliran tegangan. Telah dilaporkan bahwa pada nilai laju regangan tertentu, deformasi plastis heterogen atau juga dikenal sebagai efek Portevin Le-Chatelier, dapat menyebabkan hilangnya keuletan dan menghasilkan permukaan yang beriak (*serrated yielding*) [8,9]. Secara makroskopis, deformasi plastis heterogen tersebut telah dimodelkan melalui pemodelan *dynamic strain aging* (DSA). DSA dapat dimodelkan secara sederhana ketika atom terlarut mengalami proses penuaan [4,10-12]. Proses penuaan terjadi karena pergerakan dislokasi terhambat oleh suatu halangan seperti Forrest dan dislokasi pipa [10]. Fenomena DSA dapat diamati melalui pembebanan tarik pada jangkauan laju regangan dan temperatur tertentu [4]. Fenomena tersebut terkait dengan proses pengerasan saat pergerakan dislokasi berasosiasi dengan difusi atom terlarut [10]. Telah dilaporkan bahwa area DSA dapat ditentukan berdasarkan tren nilai yang ada pada kurva tegangan-regangan berupa nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, keuletan, dsb., seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1 [10]. Umumnya fenomena DSA ditemukan di daerah plastis pada suhu menengah dan laju regangan rendah [4,13].

Salah satu penelitian terkait pengaruh temperatur terhadap karakteristik mekanis dari paduan 800H telah dilakukan oleh Dewa dkk., [1]. Dewa dkk., telah melakukan investigasi terkait kelelahan siklus rendah secara eksperimental pada logam paduan dasar 800H dan hasil pengelasan di udara dengan kontrol regangan pada temperatur 700° C. Pengelasan paduan 800H yang direkomendasikan dibuat dengan pengelasan busur. Hasil pengujian kelelahan menunjukkan bahwa karakteristik lelah antara logam dasar dan pengelasan pada suhu tersebut tidak berpengaruh signifikan. Pengaruh waktu penahanan juga diselidiki pada regangan tarik maksimum dari 0,6% kondisi rentang regangan total selama 60 detik, dan hasilnya menunjukkan umur kelelahan mengalami penurunan. Sebagai tambahan, penelitian lain terkait investigasi area *serrated yielding*

dan mekanismenya telah dilakukan oleh Ekaputra dkk., [2]. Hasil penelitian menunjukkan



Gambar 1: Penentuan area *serrated yielding* berdasarkan sifat mekanis [10].

bahwa beberapa tipe *serrated yielding* berupa A, B, C, dan D telah teridentifikasi pada suhu tertentu. Mekanisme dari masing-masing tipe *serrated yielding* tersebut telah di jelaskan secara komprehensif.

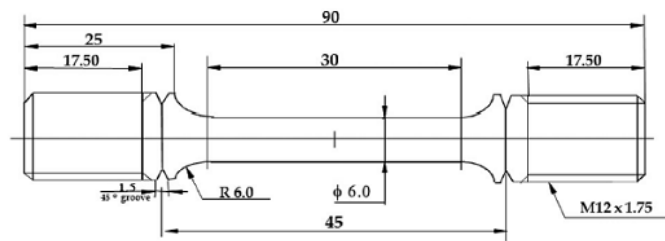
Pada penelitian ini, penentuan area terjadinya *serrated yielding* pada paduan 800H diselidiki melalui pengujian tarik dengan laju deformasi konstan sebesar 10^{-4} /detik dan variasi temperatur hingga 900 °C. Dari hasil pengujian, area *serrated yielding* yang terdapat pada kurva tegangan-regangan diamati dan didiskusikan.

2. METODE DAN BAHAN

Paduan 800H (UNS No. N08810), juga dikenal sebagai Incoloy 800H, merupakan varian dari Incoloy 800 (UNS No. N08800) dengan komposisi nominal adalah Fe-32.5Ni-21Cr [1,2]. Paduan ini memiliki kekuatan dan ketahanan suhu tinggi terhadap oksidasi, karburisasi, dan jenis korosi suhu tinggi lainnya. Spesifikasi Incoloy 800 tidak membutuhkan kandungan karbon minimal. Konsentrasi karbon yang cukup tinggi di Incoloy 800 akan memberikan sifat mulur dan pecah yang lebih tinggi. Umumnya Incoloy 800 diproduksi melalui proses pengecoran dengan komposisi karbon kurang dari 0,05%. Dengan pembatasan batas karbon minimum ini dan persyaratan tambahan untuk ukuran butir rata-rata minimum maka secara resmi disebut sebagai Incoloy 800H atau hanya paduan 800H.

Spesimen yang digunakan pada pengujian tarik mengikuti ukuran dan dimensi yang terdapat pada standar ASTM E8 [14]. Spesimen uji tarik yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 6 mm dan panjang ukur 30 mm. Semua spesimen dibuat dalam arah *rolling*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2. Untuk preparasi akhir, spesimen dipoles di sepanjang permukaan dengan amplas #2000-grit. Semua persiapan spesimen mengikuti ASTM E8. Laju deformasi pada pengujian tarik dikendalikan dengan mengatur kecepatan *crosshead*. Karena uji tarik dilakukan pada suhu tinggi, metode pengujian juga mengacu pada standar ASTM E21 [15]. Mesin uji tarik dilengkapi oleh tungku pemanas dengan tiga zona pemanasan.

Spesimen diletakkan di tengah tungku dan termokopel ditempelkan pada permukaan spesimen.



Gambar 2: Spesimen uji tarik paduan 800H [3].

Uji tarik dilakukan dengan variasi temperatur dari 24 °C hingga 900 °C, dan dengan pengontrolan laju deformasi konstan sebesar 10^{-4} /detik. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji universal dengan kapasitas 50 kN. Selama pengujian, data uji tarik terekam di dalam PC yang terhubung melalui alat data akuisisi. Spesimen silinder diletakkan di tengah tungku searah dengan arah beban tarik. Termokopel dipasang pada permukaan spesimen untuk memantau temperatur selama pengujian yang berada pada kisaran ± 3 °C. Perubahan panjang dari spesimen diukur berdasarkan perpindahan gerakan *crosshead* pada mesin uji tarik.

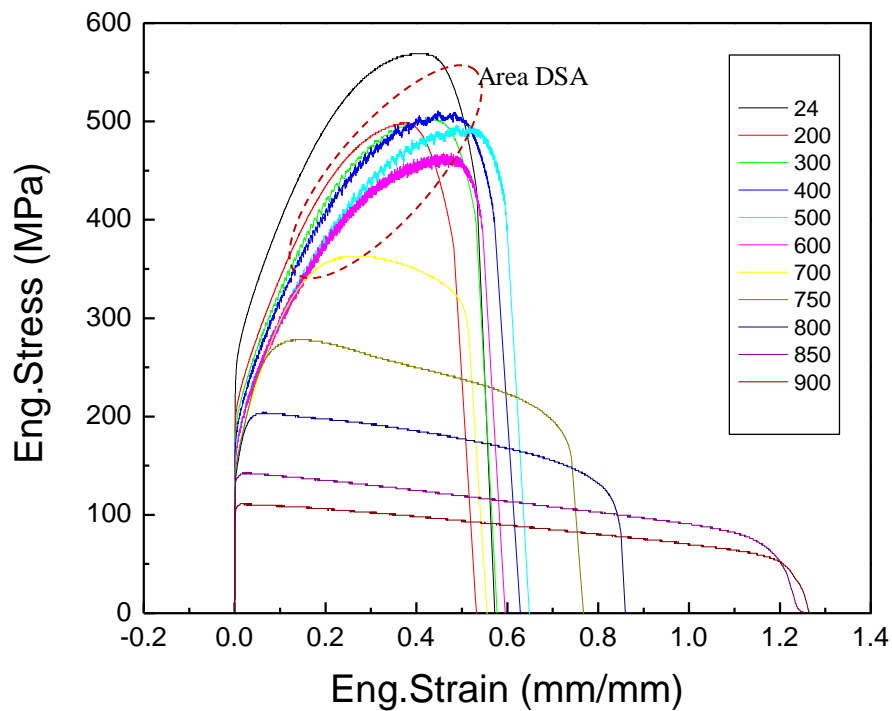
3. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 3 menunjukkan kurva tegangan-regangan untuk paduan 800H pada beberapa variasi temperatur. Secara umum kurva tegangan regangan pada paduan 800H diawali oleh kurva linear (area elastis), dan dilanjutkan dengan area plastis yang ditunjukkan oleh kurva *non-linear*. Deformasi plastis hampir mendominasi keseluruhan kurva pada hampir seluruh kondisi temperatur. Mekanisme *strain hardening* pada area deformasi plastis mendominasi pada temperatur 24 °C hingga 600 °C. *Strain hardening* dimulai sesaat setelah paduan 800H melewati kekuatan luluhnya hingga mencapai kekuatan tariknya. Sementara, di atas temperatur 600 °C terlihat bahwa proses *recovery* mendominasi dibandingkan dengan *strain hardening*. Proses *recovery* terlihat pada area kurva tegangan-regangan sesaat setelah melewati batas kekuatan tariknya. Proses *recovery* terjadi karena mobilitas atom (*slip*) yang mengalami peningkatan pada temperatur yang relatif tinggi. Proses tersebut juga telah dilaporkan pada penelitian lainnya pada jenis paduan 617 [5]. Penelitian lainnya melaporkan bahwa proses lain yang memungkinkan terjadi di atas temperatur 600 °C adalah *dynamic recrystallization* dan *creep* [16]

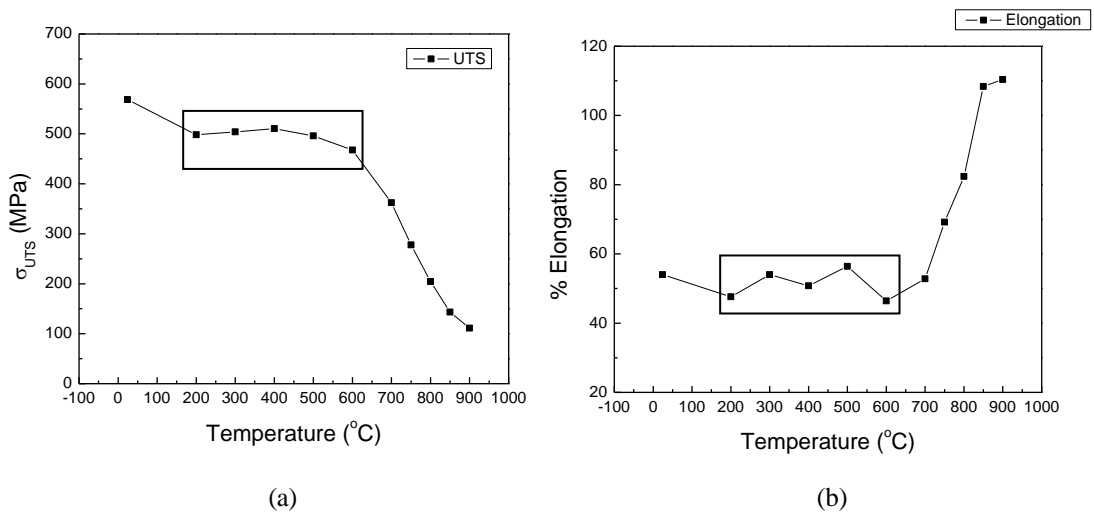
Pada Gambar 1, area plastis menunjukkan kurva bergerigi, yang merupakan indikasi terjadinya *serrated yielding*. *Serrated yielding* mulai dapat diamati pada temperatur 200 °C hingga 600 °C. Salah satu teori yang cukup populer untuk menjelaskan fenomena *serrated yielding* telah dijelaskan oleh Rodriguez [12]. *Serrated yielding* dijelaskan melalui mekanisme yang disebut dengan *dynamic strain aging* (DSA), yaitu terkait dengan hambatan yang dialami oleh dislokasi atom akibat adanya penuaan atom terlarut. Dari lima tipe DSA yang telah dilaporkan, terlihat bahwa paduan 800H didominasi oleh tipe A+B dengan kerapatan yang semakin tinggi dengan meningkatnya temperatur. Tipe A+B dapat diidentifikasi pada kurva plastis berupa kenaikan dan penurunan tegangan yang terjadi secara tiba-tiba saat material mengalami regangan akibat pembebanan tarik [5,12].

Untuk mengidentifikasi lebih jauh area *serrated yielding* yang terjadi pada paduan 800H, maka dapat dilakukan dengan mengamati kurva sifat mekanis seperti yang dijelaskan pada Gambar 1. Gambar 3(a) dan (b) menunjukkan sifat mekanis hasil pengujian paduan 800H pada laju deformasi konstan sebesar 10^{-4} /detik. Gambar 3(a) dan (b) menunjukkan masing-masing kekuatan tarik dan hasil pengukuran perubahan panjang saat patah. Terlihat bahwa dengan kenaikan temperatur maka nilai kekuatan tariknya akan semakin turun, dan sebaliknya nilai perubahan panjangnya semakin meningkat. Peningkatan dan penurunan dari nilai tersebut terkait dengan dominasi proses *strain hardening* pada temperatur dibawah 600 °C, dan *recovery* pada temperatur di atas 600 °C. Peningkatan dan penurunan kurva terjadi secara bertahap pada temperatur 24 °C hingga 600 °C. Sedangkan pada temperatur di atas 600 °C, peningkatan dan penurunan kurva terjadi secara drastis. Hasil ini menunjukkan bahwa area DSA teridentifikasi melalui nilai peningkatan dan penurunan yang bertahap yang terjadi pada temperatur 24 °C hingga 600 °C. Namun dari pengamatan kurva tegangan regangan pada Gambar 3, *serrated yielding* tidak terjadi pada temperatur 24 °C. Dari hasil ini maka dapat ditarik kesimpulan bahwa paduan 800H pada laju deformasi 10^{-4} /detik memiliki tiga area yaitu; (1) area

temperatur tanpa DSA pada temperatur di bawah 200 °C, (2) area DSA pada temperatur 200 °C sampai 600 °C, (3) area tanpa DSA pada temperatur di atas 600 °C.














Gambar 3: Kurva tegangan-regangan Alloy 800H pada beberapa variasi temperatur.



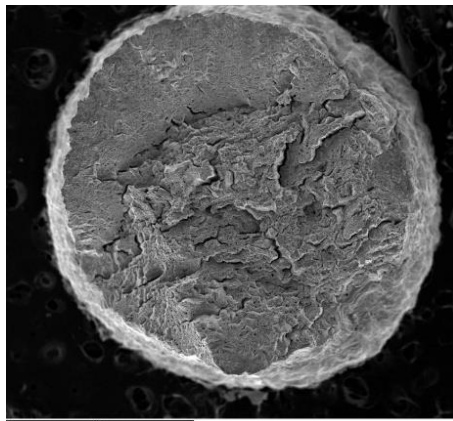
Gambar 4: Sifat mekanis dari pengujian tarik; (a) kekuatan tarik, (b) perubahan panjang.

Gambar 5 menunjukkan posisi patahan yang terjadi setelah specimen hasil pengujian tarik. Terlihat bahwa sebagian besar hasil pengujian, patahan terjadi pada area ukur (*gauge length*). Posisi patahan tersebut mengindikasikan bahwa pembebanan sudah sesuai dan terjadi pada area ukur. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa perubahan panjang mengalami peningkatan cukup signifikan pada temperatur di atas 600 °C. Deformasi plastis yang cukup signifikan terjadi pada temperatur di atas 600 °C dengan indikasi patahan yang cenderung membentuk seperti *cup and cone*. Hasil pengamatan lebih jelas ditunjukkan pada hasil pengamatan SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada temperatur 24 °C hingga 600 °C terlihat bentuk patahan yang cenderung rata seperti belahan yang merupakan tipikal jenis patahan untuk material yang

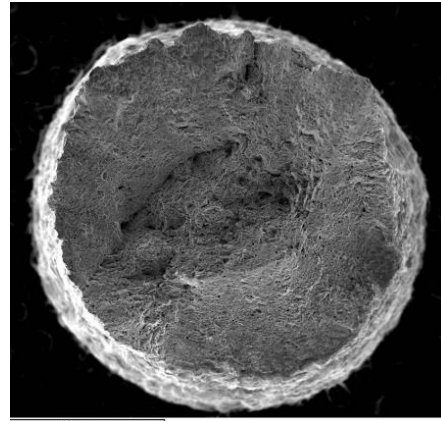
tingkat keuletannya tidak terlalu signifikan. Namun pada temperatur di atas 600 °C terlihat bahwa lesungan (*dimples*) terbentuk pada permukaan patahan. Semakin tinggi temperatur, lesungan yang terbentuk semakin merata dan membesar. Pada temperatur 900 °C terlihat bahwa profil *cup and cone* terlihat sangat jelas.

RT		700	
200		750	
300		800	
400		850	
500		900	
600			

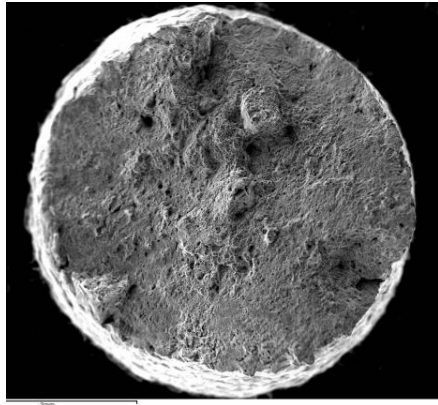
Gambar 5: Posisi patah spesimen pada saat patah.



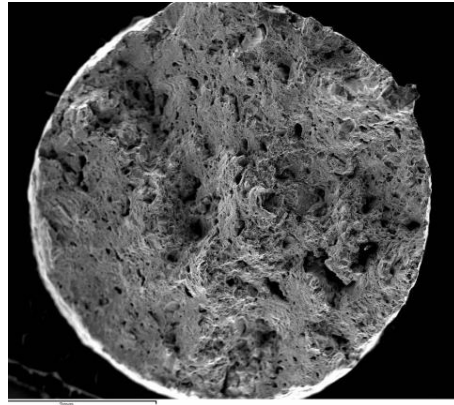
Temperatur ruangan



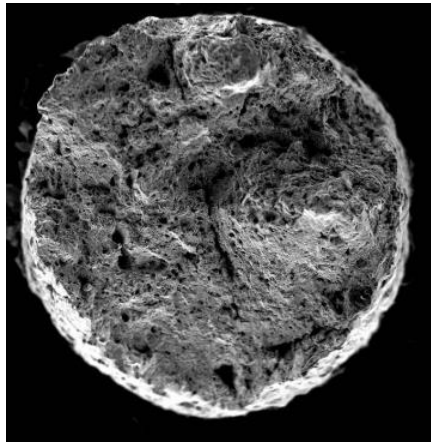
400 °C



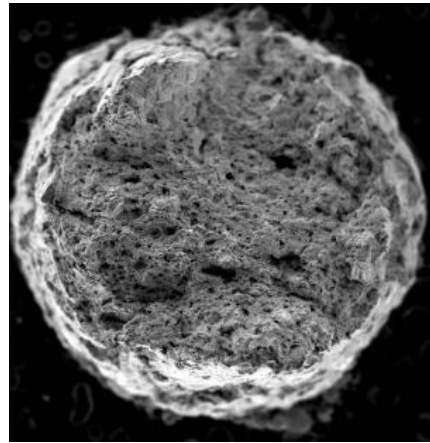
600 °C



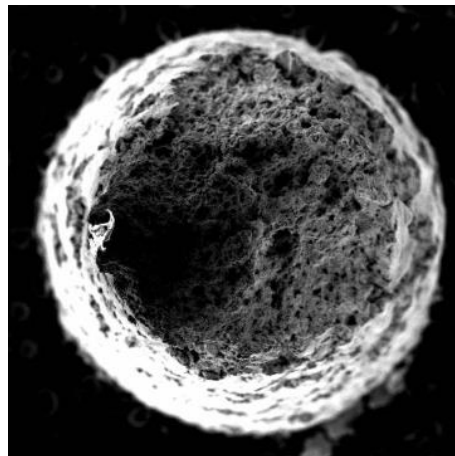
700 °C



800 °C



850 °C



900 °C

Gambar 6: Profil patahan spesimen melalui pengamatan SEM.

4. KESIMPULAN

Penentuan area *serrated yielding* dilakukan untuk memastikan karakteristik yang tepat pada paduan 800H sebelum digunakan pada komponen di pembangkit listrik. Dari hasil pengujian tarik paduan 800H pada variasi temperatur dan laju deformasi 10^{-4} /detik dihasilkan tiga area utama. Area *serrated yielding* ditemukan pada temperatur antara 200 °C hingga 600 °C. Penentuan area *serrated yielding* berdasarkan dari pengamatan kurva tegangan regangan dan nilai yang ditunjukkan berdasarkan kekuatan tarik dan perubahan panjang yang terjadi saat patah. Dominasi area *serrated yielding* menunjukkan tipe DSA A+B untuk paduan 800H. Penyelidikan lebih lanjut diperlukan untuk menentukan mekanisme *serrated yielding* yang terjadi secara mikro melalui pengujian tarik dengan variasi laju deformasi.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung dan didanai oleh LPPM Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. DEWA, R.T., KIM, S.J., KIM, W.G., KIM, E.S., “Uniaxial low-cycle fatigue study of Alloy 800H Weldments at 700°C”, *Metals*, v.8, n.918, pp.1-16, Nov. 2018.
- [2]. REN, W., SWINDEMAN, R., “A review of Alloy 800H for applications in the Gen IV nuclear energy systems”, in: *Proceedings of the ASME 2010 Pressure Vessels & Piping Division*, pp. 1-16, USA, Jul 2010
- [3]. EKAPUTRA, I.M.W., “Prediksi laju perambatan retak melar pada baja Austenitik 316L menggunakan data uji melar dan metode NSW”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.10, n.2, pp. 185-192, Aug. 2019.
- [4]. EKAPUTRA, I.M.W., KIM, W.G., PARK, J.Y., KIM, S.J., KIM, E.S., “Influence of dynamic strain aging on tensile deformation behavior of Alloy 617”, *Nuclear Engineering and Technology*, v. 48, n. 6, pp. 1387-1395, Dec. 2016.
- [5]. EKAPUTRA, I.M.W., KIM, W.G., PARK, J.Y., KIM, KIM, Y.W., “Analysis of the creep crack growth rate for modified 9Cr-1Mo steel using Q^* parameter”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, v. 28, n. 10, pp. 4075-4081, Oct. 2014.
- [6]. GOSH, A. K., On the measurement of strain-rate sensitivity for deformation mechanism in conventional and ultra-fine grain alloys”, *Materials Scientific Engineering A*. v.463, n.1-2, pp. 36–40, Aug. 2007.
- [7]. SAHA, G. G., MCCORMICK, P. G., RAO, P.R., “Portevin-Le Chatelier effect in an Al-Mn alloy II: yield transition and strain rate sensitivity measurements”, *Materials Science and Engineering*, v.62, n.2, pp. 197-203, 1984.
- [8]. TAMIMI, S., CAMPOS, A.A., CRUZ, J.P.D., “Modelling the Portevin-Le Chatelier effects in aluminium alloys: a review”, *Journal of Mechanical Behaviour Materials*. v.24, n.3–4, pp. 67–78. 2015.
- [9]. PICU, R. C., “A mechanism for the negative strain-rate sensitivity of dilute solid solutions”, *Acta Materialia*. v.52, n.12, pp. 3447–3458, Jul. 2004.
- [10]. Reza Sharghi-Moshtaghin, and Sirous Asgari, 2008, “The Characteristics of Serrated Flow in Superalloy IN738LC”, *Materials Science and Engineering A*, 486, 376-380.
- [11]. G. G. Saha, P. G. McCormick, and P. Rama Rao, 1984, “Portevin-Le Chatelier Effect in an Al-Mn Alloy I: Serration Characteristics”, *Materials Science and Engineering*, 62, 187-196.
- [12]. P. Rodriguez, 1984, “Serrated Plastic Flow”, *Bull. Mater. Sci.*, 6(4), 653-663.
- [13]. Jae-Hoon Nam, Seon-Keun Oh, Myeong-Heom Park, Young-Kook Lee, 2021, “The Mechanism of Dynamic Strain Aging For Type A Serrations In Tensile Curves Of a Medium-Mn Steel”, *Acta Materialia*, 206, 1-10.
- [14]. ASTM E8 / E8M-21, “Standard test methods for tension testing of metallic materials”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2021.
- [15]. ASTM E21-20, “Standard test methods for elevated temperature tension tests of metallic materials”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2020.
- [16]. KAOUMI, D., HRUTKAY, L., “Tensile deformation behavior and microstructure evolution of Ni-based superalloy 617”, *Journal of Nuclear Materials*, v.454, n.1-3, pp. 265-273, Nov. 2014.