

STUDI KOMPARASI SIFAT *CREEP* TAHAP SEKUNDER PADA LOGAM INDUK DAN LOGAM LAS-LASAN SA516 Gr.70

Sri Nitisiwati, Sudarno, Kussigit Santosa, Agus Nur Rahman

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

ABSTRAK

STUDI KOMPARASI SIFAT *CREEP* TAHAP SEKUNDER PADA LOGAM INDUK DAN LOGAM LAS-LASAN SA516 Gr.70. Sifat atau perilaku *creep* dari suatu bahan sangat penting terutama untuk digunakan dalam analisa integritas struktur pada komponen reaktor yang beroperasi pada temperatur tinggi. Bahan SA516 Gr.70 adalah jenis baja karbon rendah yang digunakan sebagai bahan bejana tekan HTR-10. Salah satu fokus penelitian pada komponen ini adalah penelitian terhadap sifat *creep* bahan khususnya pada sambungan las-lasannya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *creep* pada temperatur 450 °C dan tegangan konstan 100 MPa. Pengujian dilakukan pada bahan logam induk dan logam las-lasan SA516 Gr.70. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh sifat *creep* meliputi regangan *creep*, laju regangan *creep*, model patahan, dan *creep cavity*. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian *accelerated* dan *interrupted creep* sampai tahap akhir *creep* sekunder. Hasil pengujian *creep* sampai tahap akhir sekunder untuk logam induk dicapai setelah diuji *creep* selama $\pm 12.800,6$ jam adalah diperoleh regangan *creep* 0,0633 (mm/mm) dan laju regangan *creep* nya $4,95 \times 10^{-6}$ (mm/mm/jam). Untuk logam las-lasan tahap akhir sekunder dicapai setelah diuji *creep* selama $\pm 11.400,6$ jam adalah diperoleh regangan *creep* 0,0630 (mm/mm) dan laju regangan *creep* nya $5,53 \times 10^{-6}$ (mm/mm/jam). Model bidang patahannya bersifat ulet dan *creep cavity* belum jelas terlihat. Disimpulkan bahwa antara logam induk dengan logam las-lasan SA516 Gr.70 yang dilakukan pengujian *creep* pada temperatur 450 °C dan tegangan konstan 100 MPa sampai pengujian mencapai tahap akhir *creep* sekunder, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan dalam aspek perilaku *creep* untuk keduanya.

Kata kunci: *creep* tahap sekunder, laju *creep*, *creep cavity*, SA516 Gr.70,

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY ON SECONDARY STAGE CREEP PROPERTIES OF SA516 GR.70 WELD AND BASE METALS. *Creep properties or creep behavior of material are very important especially for structure integrity analysis on reactor component operated in high temperature condition. SA516 Gr.70 is a type of low carbon steel used as pressure vessel material of HTR-10. The focus of the research related to this component is research on material creep properties especially on welding joint. In this research, creep test is performed under temperature of 450 °C and constant stress of 100 MPa. The test is conducted on SA526 Gr.70 base and weld metals. The objective of this research is to obtain creep properties such as creep strain and creep strain rate, fracture mode, and creep cavity. The method used is by conducting accelerated and interrupted creep tests until the end of secondary creep stage. The results of creep test until the end of secondary creep stage obtained after 12,800.6 hours for base metals are that the creep strain and creep strain rate are 0.0633 (mm/mm) and $4,95 \times 10^{-6}$ (mm/mm/hour) and, whereas for weld metal after 11,400.6 hours creep teste the values are 0.0630 (mm/mm) and $5,53 \times 10^{-6}$ (mm/mm/hour), respectively. Fracture modes are still ductile and creep cavities for both materials are still not visible. It is concluded that between SA516 Gr.70 base and weld metals been creep tested in temperature of 450 °C and constant stress of 100 MPa, the creep behaviors for both are not significant different.*

Keywords: secondary stage creep, creep rate, creep cavity, SA516 Gr.70

PENDAHULUAN

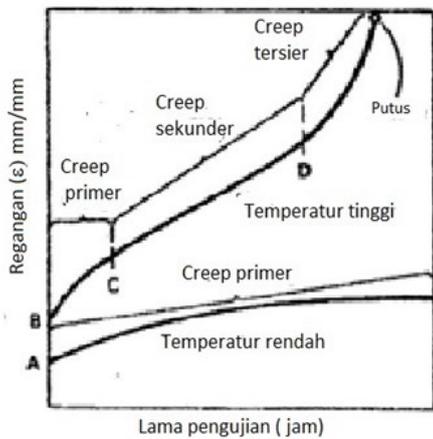
Komponen yang didesain untuk beroperasi lebih dari 30 tahun dan beroperasi pada suhu tinggi, persyaratan sifat atau perilaku *creep* dari bahan yang digunakan untuk komponen tersebut menjadi sangat penting^[1]. SA516 Gr.70 adalah paduan baja karbon rendah yang digunakan sebagai bahan bejana tekan HTR-10 (*High Temperature Reactor-10*). Penelitian ini akan membandingkan sifat *creep* tahap akhir sekunder antara logam induk dengan logam las-lasan SA516 Gr.70 yang diuji *creep* pada temperatur 450°C dan tegangan (*stress*) 100 MPa. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan regangan *creep* dan laju regangan *creep* pada tahap akhir *creep* sekunder serta model patahan dan *creep cavity* nya. Penelitian yang membandingkan sifat *creep* tahap primer antara logam induk dengan logam las-lasan SA516 Gr.70 yang diuji *creep* pada kondisi yang sama telah dilakukan pada tahun sebelumnya^[2]. Di negara asal dimana teknologi HTR-10 dikembangkan, penelitian tentang perilaku *creep* SA516 Gr.70 sebagai bahan bejana tekan HTR-10 belum dilakukan.

Metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian *accelerated* dan *interrupted creep* pada temperatur 450°C dan tegangan 100 MPa. *Accelerated creep* yaitu pengujian *creep* yang dipercepat dengan cara menaikkan temperatur atau menaikkan tegangan, atau kedua-duanya. Sedangkan *interrupted creep* yaitu pengujian *creep* yang dihentikan pada tahap tertentu sebelum benda uji *creep* putus untuk dipelajari sifat atau perilaku *creep* nya. Diharapkan de-

ngan melakukan penelitian ini dapat dipahami fenomena pengaruh pengelasan terhadap sifat *creep* bahan.

TEORI

Creep adalah deformasi lambat suatu bahan pada temperatur tinggi dan tegangan konstan sehingga mengakibatkan perubahan bentuk yang permanen. Yang dimaksud dengan temperatur tinggi adalah $\geq 40\%$ dari titik leburnya^[3]. Proses *creep* dapat pula terjadi pada temperatur rendah yaitu $< 40\%$ dari titik leburnya, namun fenomena *creep* pada temperatur rendah sulit untuk diamati secara jelas. Sebaliknya pada temperatur $\geq 40\%$ dari titik lebur bahan, fenomena *creep* dapat terlihat atau mudah diamati^[3]. Secara umum proses *creep* terbagi menjadi 3 tahapan. Tahap I adalah tahap *creep* primer atau *transient creep*, tahap II adalah tahap *creep* sekunder atau *steady-state creep*, dan tahap III adalah tahap *creep* tersier dan pada akhirnya bahan patah/putus (*fracture*)^[3,4]. Gambar 1 di bawah ini adalah bentuk kurva *creep* (regangan vs. lama pengujian) pada temperatur tinggi dan temperatur rendah. Titik A adalah regangan elastis akibat pembebanan dari suatu bahan yang diuji *creep* pada temperatur rendah. Titik B adalah regangan elastis akibat pembebanan dari suatu bahan yang diuji *creep* pada temperatur tinggi. Titik C adalah daerah transisi dari tahap I (tahap *creep* primer) ke tahap II (tahap *creep* sekunder/*steady-state*), dan titik D adalah daerah transisi dari tahap II (tahap *creep* sekunder/*steady state*) ke tahap III (tahap *creep* tersier).



Gambar 1. Kurva *creep* temperatur tinggi dan temperatur rendah ^[3]

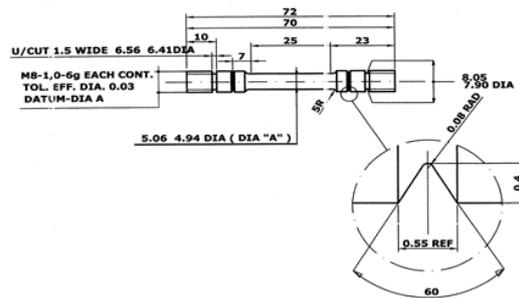
Pada pengujian *creep* temperatur rendah, perilaku *creep* yang menunjukkan tahap *creep* sekunder akan berlangsung terus menerus untuk waktu yang tidak terbatas dalam arti sulit untuk diprediksi tercapainya tahap *creep* tersier. Pada pengujian *creep* temperatur tinggi, laju regangan menurun (tahap *creep* primer) sehingga menyebabkan pada suatu kondisi dimana laju deformasi bahan menjadi bergantung pada waktu dan regangan. Bila hal ini terjadi, maka *creep* memasuki tahap II yaitu tahap *creep* sekunder atau *steady state creep*.

Deformasi bahan terus berlangsung pada kondisi *steady state* ini meskipun lambat, namun laju regangan menjadi dipercepat sebagai fungsi waktu dan selanjutnya bahan memasuki tahap III yaitu *creep* tersier dan pada akhirnya bahan patah/putus ^[3].

TATA KERJA

a. Pembuatan benda uji

Ada 2 (dua) jenis benda uji *creep* yaitu benda uji dari logam induk dan dari logam las-lasan. Bentuk dan dimensi untuk kedua benda uji *creep* ditunjukkan pada Gambar 2. Komposisi kimia logam SA516 Gr.70 ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Bentuk benda uji *creep* ^[5]

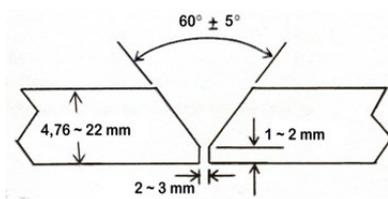
Tabel 1. Komposisi kimia SA516 Gr.70 (% berat, maksimum) ^[6]

Bahan	C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N
SA516 Gr.70	0,23	0,214	1,08	0,015	0,005	0,001	0,01	0,02	0,01	0,001	0,003	0,035	0,002	0,003

Untuk benda uji dari logam induk dapat langsung dilakukan fabrikasi dengan spesifikasi sebagai berikut: logam pelat SA516 Gr.70 dengan ketebalan ± 50 mm dibuat benda uji

creep yang berbentuk *rod* (batangan) dengan diameter 5 mm dan panjang *gage* 25 mm.

Untuk benda uji dengan sambungan las (logam las-lasan) terlebih dahulu dilakukan pengelasan dengan proses sebagai berikut: logam pelat SA516 Gr.70 ketebalan ± 50 mm di las menggunakan metode GTAW (*gas tungsten arc welding*) dengan sudut 60°C dan bentuk lasnya *V-groove* tunggal (*single V-groove*). Setelah proses pengelasan selesai kemudian dilakukan pemeriksaan di sepanjang sambungan yang di las (*weld joint*) dengan metode uji tak rusak dan dievaluasi hasilnya untuk memastikan apakah ada cacat karena proses pengelasan misalnya porositas, inklusi, dan retak. Hal ini dilakukan sebagai persyaratan untuk membuat benda uji las-lasan adalah bagian yang akan dibuat benda uji harus terbebas dari cacat. Hasil dari pemeriksaan disepanjang sambungan yang dilas dan evaluasi diketahui ada daerah/bagian kecil yang ada porositas dan inklusinya namun masih cukup panjang bagian sambungan yang terbebas dari cacat [7]. Sehingga untuk membuat benda uji las-lasan diambilkan dari daerah/bagian yang tidak ada cacatnya. Bentuk dan ukuran sambungan las *single V-groove* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sambungan las *Single V-groove* [8]

Kondisi pengelasan dengan metode GTAW adalah seperti di bawah ini [8]:

- Polaritas : DC
- Rentang voltase : 80 A - 120 A
- Rentang arus : 10 V - 20 V
- Kecepatan pengelasan : 40 mm/min – 100 mm/min
- Temperatur awal pemanasan : 20°C

Selanjutnya dibuat benda uji *creep* dari logam las-lasan dengan posisi lasnya melintang (*cross weld*) dan bentuk serta dimensinya sama dengan benda uji *creep* dari logam induk.

b. Pengujian *creep*

Penelitian tentang perilaku *creep* tahap akhir sekunder logam induk dan logam las-lasan SA516 Gr.70 dilaksanakan menggunakan mesin uji *creep* yang ada di laboratorium Fasilitas Uji Mekanik (FUM)-Bidang Pengembangan Fasilitas Keselamatan Reaktor (BPFKR), PTKRN. Foto mesin uji *creep* yang digunakan untuk penelitian di tunjukkan pada Gambar 4 (tampak bagian depan).



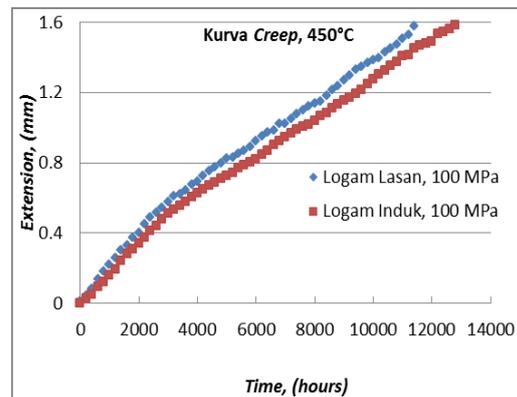
Gambar 4. Mesin uji *creep* (tampak depan) [9]

Standar pengujian *creep* yang digunakan adalah E139-08 ^[10]. Sebelum pengujian dilakukan terlebih dahulu 2 (dua) buah benda uji *creep* dipasang di 2 (dua) mesin uji *creep*, masing-masing untuk benda uji *creep* dari logam induk dan untuk benda uji *creep* dari logam las-lasan. Kondisi pengujian pada temperatur 450 °C dan tegangan konstan 100 MPa dipilih sebagai metode pengujian yang dipercepat (*accelerated*) yaitu dengan menaikkan temperatur dan tegangan diatas temperatur dan tegangan riil dari temperatur inlet helium yaitu 250 °C / 300 °C ^[11].

Selama pengujian *creep* berlangsung nonstop, dilakukan pengamatan dan evaluasi terhadap pembentukan kurva *creep*, *extension* (mm) vs. *time* (hours) yang dimulai dari tahap awal *creep* primer sampai dengan tahap akhir *creep* sekunder. Setelah tahap akhir *creep* sekunder di capai, pengujian *creep* dihentikan (*interrupted*) dan mesin uji *creep* di matikan. Benda uji *creep* (logam induk dan logam las-lasan) di lepas dan di potong tepat pada bagian tengah dari panjang *gage* nya dan dilakukan analisis bidang patahannya (*fracture facet*) untuk mendapatkan model patahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *creep* nonstop untuk kedua benda uji *creep* dilakukan sampai dengan tahap akhir mulur sekunder dicapai setelah diuji selama $\pm 12.800,6$ jam dan $\pm 11.400,6$ jam berturut-turut untuk logam induk dan logam las-lasan. Kurva *creep* yang dihasilkan yaitu *extension* (mm) vs. *time* (hours) untuk logam induk dan logam las-lasan ditunjukkan pada Gambar 5.



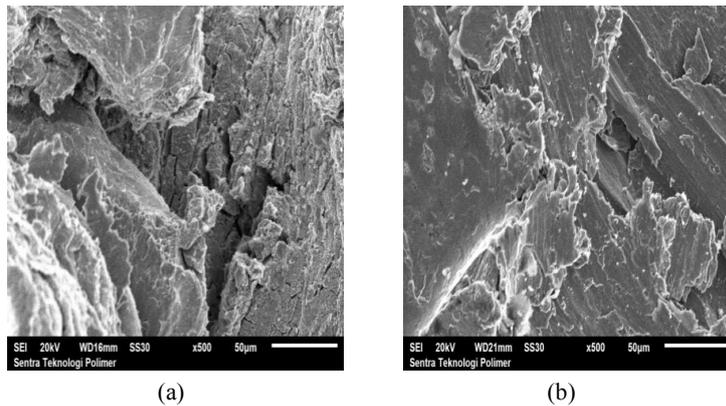
Gambar 5. Kurva *creep* (*Extension* vs. *Time*)

Maksimum *extension* (mm) yang diperoleh untuk logam induk sedikit diatas dari maksimum *extension* (mm) logam las-lasan, yaitu 1,583 mm untuk logam induk dan 1,576 mm untuk logam las-lasan atau perbedaannya sangat tidak signifikan yaitu hanya 0,007 mm. Namun waktu yang dibutuhkan untuk tercapainya tahap akhir *creep* sekunder logam las-lasan lebih singkat / cepat dari pada logam induk yaitu $\pm 11.400,6$ jam untuk logam las-lasan dan $\pm 12.800,6$ jam untuk logam induk.

Regangan maksimum bahan karena *creep* (*creep strain*) diperoleh dengan cara membagi maksimum *extension* (mm) logam induk dan logam las-lasan dengan panjang *gage* (mm) benda uji *creep*. Sedangkan untuk mendapatkan laju regangan *creep* maksimum logam induk dan logam las-lasan diperoleh dengan cara membagi regangan *creep* dengan waktu (*time*) yang dibutuhkan untuk tercapainya tahap akhir *creep* sekunder.

Analisis permukaan bidang patahan (*fracture facet*) logam induk dan logam las-lasan menunjukkan bahwa bidang patahan untuk keduanya masih bersifat ulet, dan kekosongan butiran (*creep cavity*) yang dise-

babkan karena proses *creep* belum terlihat dengan jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Kondisi dan resume hasil pengujian *creep* ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Mikrograph bidang patahan pengujian *creep* SA516 Gr.70,

Tabel 2. Kondisi dan hasil pengujian *creep*

Benda uji	Kondisi Pengujian			<i>Extension</i> (mm)	Lama Pengujian (Jam)	Regangan <i>Creep</i>		Laju Regangan <i>Creep</i> (% / jam)	Bidang Patahan
	T (°C)	<i>Stress</i> (MPa)	Beban (N)			(mm/mm)	(%)		
Logam induk	450	100	196	1.583	12.800,6	0,0633	6,33	$4,95 \times 10^{-4}$	Ulet
Logam lasan	450	100	196	1.576	11.400,6	0,0630	6,30	$5,53 \times 10^{-4}$	Ulet

Dari Tabel 2 dapat dijelaskan bahwa baik regangan *creep* maupun laju regangan *creep* untuk logam induk dan logam las-lasan SA516 Gr.70 nilainya tidak berbeda signifikan yaitu 0,0003 (mm/mm) untuk regangan *creep*. Sedangkan laju regangan *creep* untuk logam las-lasan adalah $0,58 \times 10^{-4}$ (%/jam) lebih besar dari pada laju regangan *creep* logam induk SA516 Gr.70. Meskipun pengujian *creep* sampai dengan tahap akhir *creep* sekunder perbedaannya sangat tidak signifikan namun hal ini dapat

menunjukkan bahwa proses pengelasan yang menimbulkan panas telah menurunkan ketahanan bahan terhadap sifat *creep* bahan karena terjadi perubahan dimensi struktur mikronya yang membesar sehingga menurunkan gaya kohesi antar butir. Hasil analisis bidang patahan (*fracture facet*) sampai dengan tahap akhir *creep* sekunder untuk kedua jenis benda uji *creep* masih bersifat ulet.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian *creep* disimpulkan bahwa antara logam induk dengan logam las-lasan SA516 Gr.70 yang dilakukan pengujian *creep* pada temperatur 450 °C dan tegangan konstan 100 MPa sampai tahap akhir *creep* sekunder perilaku *creep* untuk keduanya tidak ditemukan perbedaan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. WOO GON KIM et.al., "Analysis of the Creep Rupture Data of Alloy 617 For a High Temperature Gas Cooled Reactor", Proceeding of Eighth International Conference on Creep and Fatigue at Elevated Temperatures, San Antonio, Texas, pp.1-6 (2007).
2. SRI NITISWATI, dkk., "Studi Komparasi Sifat Creep Tahap Primer Logam Induk dan Logam Las-Lasan SA516 Gr.70", Laporan Teknis Hasil Penelitian Tahun 2015, PTKRN (2015).
3. HOWARD E. BOYER, "Atlas of Creep and Stress-Rupture Curves", ASM International, Metals Park, Ohio 44073.
4. JASON, "Basic Explanation of Creep Processes", NE-161 Report.
5. ANONIM, "MAYES Model Mark II TC Creep Testing Machine-Instruction Manual", MAYES Company, 1989.
6. ANONIM, "Inspection Certificate", Aichi Steel Corporation, Certificate No. 6-08-1457.
7. MUDI H, "Analisis Kualitas Sampel Las GTAW Dengan Metoda NDT", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016, hal. 1-8 (2016)
8. ANONIM, "Welding Procedure Specification (WPS)", XCA.1.1N-198, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, 2008
9. NITISWATI S., "Foto Mesin Uji Creep", Dokumentasi pribadi, 2013.
10. AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS, "Metals-Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography, Vol. 03.01, E.139-08-Standard Test Method for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials, pp.162-163 (2008).
11. XU YUANHUI, The HTR-10 Project And Its Further Development, Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing, China, Repot, pp.1-2.