

PENGARUH PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SA533-B1 SEBAGAI MATERIAL BEJANA TEKAN PWR

S. Nitiswati, Andryansyah, Mudi Haryanto, Darlis, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Puspiptek Gedung No. 80, Tangerang Selatan 15313,

Banten-Indonesia

Email: nitis@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SA533-B1 SEBAGAI MATERIAL BEJANA TEKAN PWR. Bejana tekan reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*) adalah komponen utama paling kritis di PLTN yang dikonstruksi dengan cara di las *circumferential* dan *longitudinal*. Dalam proses pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa yang merupakan tegangan internal material dan mempunyai potensi menurunkan sifat mekanik material. Ada cara untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan yaitu dengan memberikan perlakuan panas. Penelitian ini mendiskusikan pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan terhadap sifat mekanik SA 533-B1 sebagai material bejana tekan PWR. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi sifat mekanik SA533-B1 yang telah diberikan perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan variasi *holding time* dari 3 jam, 50 jam, 75 jam dan 100 jam. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian mekanik terdiri dari pengukuran kekerasan dan pengujian tarik logam las-lasan SA533-B1 pada posisi *cross weld*. Model bidang patahan dari hasil pengujian tarik juga dipelajari. Disimpulkan bahwa material SA533-B1 yang mengalami perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam menunjukkan nilai kekerasan dan sifat mekanik pada kondisi yang hampir sama dengan material segar atau terjadi *recovery* mendekati ke keadaan semula.

Kata kunci: Perlakuan panas, SA533-B1, sifat mekanik, bejana tekan PWR.

ABSTRACT

INFLUENCE OF POST-WELD HEAT TREATMENT ON SA533-B1 MECHANICAL PROPERTIES AS PWR PRESSURE VESSEL MATERIAL. PWR pressure vessel is the most critical component in nuclear power plant, was constructed through *circumferential* and *longitudinal* welds. In the welding process can generated residual stress as internal stress and has potential decreased in mechanical property of the material. Post weld heat treatment is the most widely used form of stress relieving of welded structures. This research discussed on influence of post-weld heat treatment on SA533-B1 mechanical properties as PWR pressure vessel material. Objective of this research is to investigate SA533-B1 mechanical properties that has been heat treated in temperature of 400°C and holding time variation of 3 hours, 50 hours, 75 hours, and 100 hours. The method used by conducted mechanical testing consist of hardness measurement and tensile testing of SA533-B1 weld metal in *cross weld* position. Fracture facet model of tensile testing results are also discussed. As conclusion that SA533-B1 material has been heat treated in temperature of 400°C and holding time of 75 hours, shows hardness value and mechanical properties have similar condition to the fresh material or recovery has been occurred closed to the previous condition.

Keywords: Heat treatment, SA533-B1, mechanical property, PWR pressure vessel

PENDAHULUAN

Bejana tekan reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*) adalah salah satu komponen utama paling kritis di PLTN yang dikonstruksi dengan cara di las *circumferential* dan *longitudinal* [1]. Pengelasan adalah metode yang paling umum digunakan untuk menyatukan bagian-bagian menjadi satu kesatuan komponen pada proses pabrikasi atau konstruksi komponen PLTN. Prinsip dasar proses pengelasan terdiri dari pelelehan dan pendinginan.

Hasil dari siklus panas proses pengelasan menimbulkan tegangan sisa yang merupakan tegangan internal material dan mempunyai potensi dapat menurunkan sifat

mekanik material dan dapat menimbulkan retak. Ada cara untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan yaitu dengan memberikan perlakuan panas [2-4]. Penelitian tentang pengaruh perlakuan panas konvensional pasca pengelasan untuk material bejana tekan PWR dengan variasi temperatur dari 600°C sampai 880°C dengan *holding time* maksimum 10 jam sudah dilakukan oleh peneliti lainnya. Namun penelitian pada temperatur $\leq 600^\circ\text{C}$ dengan variasi *holding time* ≥ 10 jam belum dilakukan.

Penelitian ini akan mendiskusikan pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan terhadap sifat mekanik SA 533-B1 sebagai material bejana tekan PWR. Tujuannya adalah untuk menginvestigasi sifat mekanik SA533-B1 yang telah diberikan perlakuan panas konvensional pada kondisi temperatur sama 400°C dengan variasi *holding time* 3 jam, 50 jam, 75 jam dan 100 jam. Sifat mekaniknya meliputi: kuat luluh, *ultimate tensile strength* (UTS), kuat tarik, dan perpanjangannya. Nilai kekerasan dan model bidang patahan dari hasil pengujian tarik juga dipelajari untuk mendapatkan model patahannya (*fracture mode*).

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Weld*) pelat SA533-B1 dan pengujian mekanik terdiri dari pengukuran kekerasan dan pengujian tarik logam las-lasan SA533-B1 pada posisi *cross weld* yang telah diberikan perlakuan panas konvensional. Pengelasan SMAW yang dipilih karena jenis pengelasan ini yang paling sering digunakan untuk fabrikasi komponen PLTN dibandingkan dengan pengelasan GTAW.

TEORI

Perlakuan panas pasca pengelasan adalah proses pemanasan ulang pada temperatur dan *holding time* tertentu (spesifik) dan dilanjutkan pendinginan dengan kecepatan yang terkendali dari suatu obyek yang telah dilakukan pengelasan [2]. Perlakuan panas perlu dilakukan karena akibat proses pabrikan suatu komponen PLTN yang menggunakan proses pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa dan kemungkinan menimbulkan cacat material misalnya porositas dan retak. Hal ini mengakibatkan degradasi material.

Tegangan sisa yang ditimbulkan akibat pengelasan dapat mendekati atau melebihi kuat luluh material khususnya apabila bagian material yang di las cukup tebal. Tegangan sisa yang timbul harus seminimal mungkin karena dapat memicu timbulnya *stress corrosion cracking* (SCC), fatik material (*material fatigue*), dan lain-lain. Oleh karena itu pemberian perlakuan panas pasca pengelasan pada kondisi tertentu akan mengembalikan keadaan semula atau terjadi *recovery* [2,5,6].

Akibat pengelasan juga akan merubah sifat mekanik material. Pemberiaan perlakuan panas pasca pengelasan pada kondisi tertentu akan menyebabkan kuat luluh dan kuat tarik menurun, keuletan material naik, nilai kekerasan material menurun, dan ketangguhan material meningkat [2,5,6].

Keuntungan lainnya dengan memberikan perlakuan panas adalah meningkatkan sifat *creep* (mulur) material yang beroperasi pada temperatur tinggi, melembutkan daerah HAZ sehingga meningkatkan ketangguhan dan keuletannya, meningkatkan kestabilan dimensi selama proses *machining*, menurunkan pengaruh pekerjaan dingin.

TATA KERJA

Pembuatan benda uji

Material segar baja feritik SA533-B1 berbentuk pelat yang digunakan sebagai material bejana tekan PWR mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia SA533-B1 (% berat) [7]

Material	Cu	Ni	P	S	C	Ti	Cr	Mo	Si	V
SA533-B1	0,07	0,60	0,007	0,014	0,21	0,02	0,23	0,51	0,22	0,02

Kandungan elemen fosfor (P) di dalam baja feritik SA533-B1 sangat rendah. Hal ini memenuhi persyaratan sebagai material bejana tekan dimana kandungan P nya harus serendah mungkin, karena semakin besar kandungan P semakin rentan terhadap penggetasan batas butir [8].

Selanjutnya dilakukan proses pengelasan pelat SA533-B1 dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Weld*), *single v-groove* menggunakan bahan filler dengan kekuatannya 110 ksi. Data pengelasan material pelat SA533-B1 adalah sebagai berikut:

- Variabel pengelasan : Tegangan 26-28 volt
- Arus : 135 amper
- Waktu pengelasan ujung ke ujung : 75 detik
- Pemanasan awal : 150°C -170° C

Setelah proses pengelasan pelat SA533-B1 selesai, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji tarik dimana bentuk dan ukurannya dibuat berdasarkan standar ASTM E-8M [9]. Pengambilan posisi benda uji tarik terhadap bagian pelat yang di las adalah *cross weld*.

Perlakuan panas

Sebagian dari benda uji tarik diberi perlakuan panas konvensional di dalam tungku pemanas pada temperatur 400°C dengan variasi *holding time* 3 jam, 50 jam, 75 jam, dan 100 jam. Setelah *holding time* dicapai, tungku pemanas dimatikan dan benda uji tarik dibiarkan mendingin secara alamiah di dalam tungku pemanas.

Pengujian mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk benda uji tarik material segar yaitu benda uji tarik yang tidak diberi perlakuan panas dan benda uji tarik yang diberi perlakuan panas. Pengujian mekanik yang diterapkan ada 3 (tiga) jenis terdiri dari pengukuran kekerasan, pengujian tarik dan pengujian metalografi untuk mendapatkan model bidang patahan dari hasil pengujian tarik.

Pengukuran kekerasan menggunakan mesin kekerasan makro "galbadini" dengan beban 30 Kg dilakukan untuk 1 buah benda uji tarik material segar dan 4 buah benda uji tarik yang telah diberi perlakuan panas, masing-masing dilakukan pengukuran 3 (tiga) kali dan hasilnya diambil nilai rata-rata pada 3 lokasi yang berbeda yaitu logam induk (BM), bagian las-lasan (WM), dan bagian yang terpengaruh panas (*heat affected zone* = HAZ).

Pengujian tarik pada temperatur ruang menggunakan mesin uji tarik universal AG-10TE dilakukan untuk 1 buah benda uji tarik material segar dan 4 buah benda uji tarik yang telah diberikan perlakuan panas. Tujuannya untuk mendapatkan sifat mekanik material SA533-B1 terdiri dari: kuat luluh (σ_s), UTS, kuat tarik pada saat benda uji putus (σ_y) dan perpanjangannya

Pengujian metalografi menggunakan makroskop optik "wild" dengan perbesaran 100x dilakukan pada permukaan bidang patahan benda uji tarik dengan tujuan untuk mendapatkan *fracture mode* (model bidang patahan) dari hasil pengujian tarik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kekerasan

Hasil pengukuran kekerasan untuk 3 lokasi dari 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik material yang telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran kekerasan (rata-rata)

Material	Kode	Temperatur Perlakuan Panas (°C)	Holding Time (Jam)	Nilai Kekerasan (Vickers)		
				BM	WM	HAZ
Segar	A	--	--	184	252	287
Dengan Perlakuan Panas	B	400	3	203	267	235
	C	400	50	198	252	247
	D	400	75	196	271	312
	E	400	100	198	283	254

Benda uji tarik material segar (kode A) maupun benda uji tarik material yang telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E), nilai kekerasan pada daerah logam lasan (WM) dan bagian terpengaruh panas (HAZ) lebih tinggi dari pada bagian logam induk (BM), seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa akibat pengelasan akan menaikkan kekerasan material. Pada prinsipnya proses pengelasan adalah proses pemanasan

sehingga material menjadi lebih keras dan menurunkan keuletannya. Untuk meminimalkan kenaikan kekerasannya dan mengembalikan ke keadaan semula maka diberikan perlakuan panas. Perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E) nilai kekerasan pada bagian logam induk (BM) jauh di atas nilai kekerasan pada bagian logam induk material segar. Tetapi perlakuan panas pada kondisi temperatur yang sama dengan *holding time* 75 jam (kode D), hasilnya nilai kekerasan pada bagian logam induk (BM) mendekati dengan kondisi material segar (kode A) atau dengan kata lain telah terjadi *recovery* pada material SA533-B1 yang diberikan perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam. Sehingga dikatakan bahwa pemberian perlakuan panas dengan kondisi tertentu pasca pengelasan dapat mengembalikan kekerasan material SA533-B1 mendekati kekerasan material segar.

Pengujian tarik

Hasil pengujian tarik 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik material yang telah diberikan perlakuan panas (kode B s.d. E) ditunjukkan pada Tabel 3.

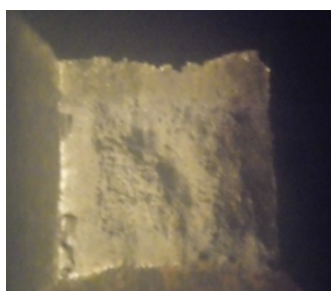
Tabel 3. Hasil pengujian tarik

Material	Kode	Temperatur Perlakuan Panas (°C)	Holding Time (Jam)	Sifat Mekanik			Perpanjangan (%)
				Ys (N/mm ²)	UTS (N/mm ²)	σy (N/mm ²)	
Segar	A	--	--	408,969	582,123	365,541	57,136
Dengan Perlakuan Panas	B	400	3	418,396	589,729	373,574	13,700
	C	400	50	407,868	580,156	425,752	15,400
	D	400	75	408,000	601,934	357,000	19,480
	E	400	100	443,340	616,585	204,893	10,700

Hasil uji tarik untuk benda uji tarik yang materialnya telah diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam (kode D), mempunyai sifat mekanik terdiri dari kuat luluh (Ys), *ultimate tensile strength* (UTS), dan kuat tarik pada saat patah (σy) yang paling mendekati dengan benda uji tarik material segar (kode A) dibandingkan dengan hasil uji tarik dimana materialnya telah diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E). Untuk sifat mekanik yang paling penting diperhatikan adalah nilai kuat luluhnya karena pada titik luluh (*yielding point*) tersebut yaitu titik dimana terjadi perubahan sifat material dari elastis ke plastis. Dalam hal ini material (kode D) mempunyai nilai kuat luluh yang paling mendekati dengan nilai kuat luluh material segar (kode A). Demikian pula prosentase (%) perpanjangan yang diperoleh yaitu 19,48% adalah lebih besar dari pada material dengan perlakuan panas 400°C dan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam yaitu berturut-turut 13,7%, 15,4 %, dan 10,7%, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dengan kata lain bahwa pemberian perlakuan panas dengan kondisi tertentu pasca pengelasan dapat mengembalikan sifat mekanik material SA533-B1 mendekati sifat mekanik material segar.

Pengujian metalografi

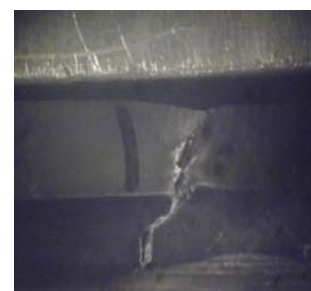
Pengujian metalografi bidang patahan benda uji tarik terdiri dari 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik dimana materialnya telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E) semuanya menunjukkan model patahan yang sama yaitu bersifat ulet, ditunjukkan pada Gambar 1 (A) sampai dengan Gambar 1 (E).



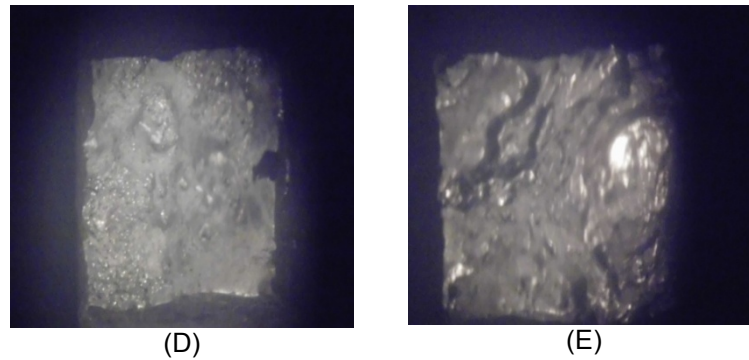
(A)



(B)



(C)



Gambar 1. Foto permukaan bidang patahan hasil uji tarik (A) material segar, (B) *holding time* 3 jam, (C) *holding time* 50 jam, (D) *holding time* 75 jam, dan (E) *holding time* 100 jam

KESIMPULAN

Sifat mekanik material SA533-B1 pasca pengelasan yang telah diberikan perlakuan panas telah diperoleh. Sifat mekaniknya meliputi nilai kekerasan, kuat luluh, UTS dan kuat tarik. Disimpulkan bahwa material SA533-B1 yang diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam (kode D) pasca pengelasan, nilai kekerasan dan sifat mekanik yang diperoleh dari hasil pengujian tarik menunjukkan kepada suatu kondisi yang hampir sama dengan material segar (kode A) bila dibandingkan dengan material yang mengalami perlakuan panas dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E), atau dengan *holding time* 75 jam telah terjadi *recovery* dan kembali mendekati ke keadaan semula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung sehingga penelitian ini dapat selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

1. SHAH V.N., MAC.DONALD P.E., "Aging And Life Extension of Major Light Water Reactor Components", Elsevier, 1998.
2. WTIA, "Post Weld Heat Treatment of Welded Structures", Guidance Note 6, 2006
3. WILLIAM F. SMITH, "Principles of Materials Science and Engineering", Second Edition, Mc.Graw-Hill International Edition.
4. CANONICO, D.A., "The Effect of Stress Relief Parameters on The Mechanical Properties of Pressure Vessel Steels and Weldments", OR Laboratory, Tennessee, 37830
5. WILLIAM SERVER, et.all., "Thermal Annealing of Reactor Pressure Vessels Is a Needed Mitigation Option", IAEA-2013, Vienna, Austria.
6. M.A. MALEAGUE, et.all., "The Effect of Intercritical Heat Treatment on The Mechanical Properties of AISI 3115 Steels", Journal of Materials Processing Technology, Volume 153-154, 2004.
7. ANL, "Chemical Composition SA533-B1 Certificate", Chicago, 2003
8. SRI NITISWATI, dkk., "Analisis Pengaruh Karbon Terhadap Segregasi Fosfor Pada Batas Butir Paduan Feritik Dengan AES", Prosiding Seminar Keselamatan PLTN, Surabaya, Oktober, 2009.
9. ASTM, "Metals-Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Test; Metallography", Section 3, Volume 03.01, E-8M, 2008

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN