

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



PENGARUH KONDISI PENYIMPANAN TERHADAP KETAHANAN KOROSI DRUM BAJA KARBON WADAH LIMBAH RADIOAKTIF

Dwi Luhur Ibnu Saputra¹, Aisyah¹, Risdiyana Setiawan¹, Pungky Ayu Artiani¹,
Kuat Heriyanto¹, Jaka Rachmadetin¹

¹Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif – BRIN
K.S.T. B.J. Habibie Gedung 720, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: pungky.ayu.artiani@brin.go.id

(Naskah diterima: 31–12–2022, Naskah direvisi: 10–01–2023, Naskah disetujui: 03–02–2023)

ABSTRAK

PENGARUH KONDISI PENYIMPANAN TERHADAP KETAHANAN KOROSI DRUM BAJA KARBON WADAH LIMBAH RADIOAKTIF. Instalasi pengelolaan Limbah Radioaktif (IPLR) yang berlokasi di Kawasan Nuklir Serpong merupakan satu satunya fasilitas pengelolaan limbah radioaktif yang telah mengelola limbah radioaktif dari seluruh wilayah Indonesia. Berbagai jenis limbah telah diolah di fasilitas ini antara lain limbah padat material terkontaminasi tingkat rendah maupun sedang yang menggunakan wadah drum baja karbon. Sebagai wadah limbah radioaktif drum wadah limbah ini harus memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga drum wadah limbah mampu bertahan dalam jangka penyimpanan yang panjang. Telah dilakukan penelitian tentang korosi baja karbon wadah limbah radioaktif dengan tujuan mendapatkan data laju korosi bahan yang mengalami pengelasan maupun logam induknya pada kondisi penyimpanan lestari. Pada penyimpanan lestari dimungkinkan adanya genangan air yang masuk ke dalam fasilitas penyimpanan sehingga akan berinteraksi dengan drum dan dapat meningkatkan laju korosinya. Pada penelitian ini diukur laju korosi dalam berbagai media pengkorosi yaitu air SP4, air demin, air semen dan air *bentonite*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi drum wadah limbah yang mengalami pengelasan lebih tinggi dari laju korosi logam induknya pada berbagai media pengkorosi. Laju korosi tertinggi didapat pada media air SP4 yaitu 7,86 dan 6,78 kalinya dibandingkan dengan air demin. Sedangkan laju korosi pada media air demin, air *bentonite* dan air semen pada kisaran yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Laju korosi merupakan parameter wadah limbah radioaktif yang penting untuk diperhatikan, karena drum wadah limbah dengan ketahanan korosi yang tinggi akan mampu menahan radionuklida yang tersimpan didalamnya dalam jangka waktu yang panjang.

Kata kunci: Limbah radioaktif, baja karbon, pengelasan, korosi.

Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Ketahanan Korosi
Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif
(Dwi Luhur Ibnu Saputra, Aisyah, Risdiyana Setiawan, Pungky Ayu Artiani,
Kuat Heriyanto, Jaka Rachmadetin)

ABSTRACT

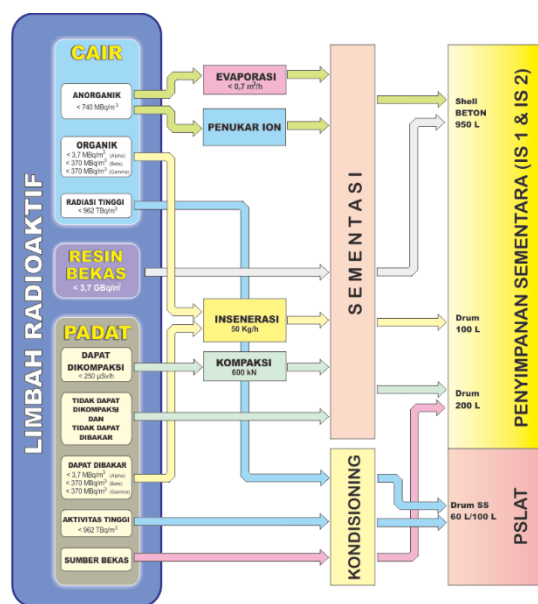
EFFECT OF REPOSITORY CONDITIONS ON CORROSION RESISTANCE OF CARBON STEEL RADIOACTIVE WASTE CONTAINERS. *The Radioactive Waste Management Installation (IPLR) in the Serpong Nuclear Area is Indonesia's only radioactive waste management facility. This facility has treated various types of waste using carbon steel containers, including low and medium-contamination solid waste. Radioactive waste containers must have good corrosion resistance so that the waste container can survive a long storage period. Research on the corrosion of carbon steel radioactive waste containers has been carried out. This study aims to obtain data on the corrosion rate of welded materials radioactive waste container and their parent metals under disposal conditions. In the disposal facility, there is a potential for water seeps in so that the interaction with the waste container may occurred. This condition will increase the corrosion rate. In this study measured the corrosion rate in various corrosion media, namely SP4 water, demineralization water, cemented solution, and bentonite solution. The results showed that the corrosion rate of the welded container was higher than the corrosion rate of its parent metal in various corrosion media. The highest corrosion rate is SP4 water media, which is 7.86 and 6.78 times compared to demineralization water. Meanwhile, the corrosion rate in demineralization water media, bentonite water, and cement water is not significantly different. The corrosion rate is an essential parameter of radioactive waste containers because waste containers with high corrosion resistance will be able to confine radionuclides for a long period time.*

Keywords: *Radioactive waste, carbon steel, welded materials, corrosion.*

Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Ketahanan Korosi Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif
(Dwi Luhur Ibnu Saputra, Aisyah, Risdiyana Setiawan, Pungky Ayu Artiani, Kuat Heriyanto, Jaka Rachmadetin)

PENDAHULUAN

Instalasi pengolahan limbah radioaktif (IPLR) merupakan satu-satunya fasilitas yang memiliki kewajiban mengelola limbah radioaktif dari seluruh wilayah Indonesia. Fasilitas ini berada di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) dan dikelola oleh Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Sampai saat ini fasilitas IPLR telah mengelola berbagai jenis limbah radioaktif baik padat, semi padat, maupun cair [1]. Selain itu terdapat juga pengelolaan limbah bahan bakar nuklir bekas [2]–[4] dan limbah sumber bekas radioaktif dengan tingkat aktivitas rendah dan sedang [3]. Skema pengelolaan limbah yang dilakukan di fasilitas IPLR ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengelolaan limbah di fasilitas IPLR.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa limbah radioaktif cair dapat diolah secara evaporasi ataupun menggunakan resin penukar ion, kemudian limbah tersebut disementasi dan dimasukkan ke dalam shell beton 950 lt. Limbah radioaktif semi padat yang berupa resin bekas diolah secara sementasi langsung di dalam shell beton 950 lt. Limbah radioaktif terbakar diolah secara insenerasi kemudian disementasi di dalam drum 100 lt [1]. Limbah radioaktif padat tidak terbakar dimasukkan ke dalam drum baja karbon 100 liter kemudian dilakukan reduksi volume dengan kompaksi. Selanjutnya limbah ini disementasi di dalam

drum baja karbon 200 lt. Pada drum ini terdapat 5-6 drum baja karbon 100 lt yang terkompaksi seperti yang disajikan pada Gambar 2 [1]. Limbah sumber bekas dikondisioning dalam shell drum baja karbon 200 lt maupun shell beton 350 lt [3]. Seluruh wadah limbah hasil imobilisasi dengan semen kemudian disimpan ke dalam penyimpanan sementara dan nantinya akan disimpan pada penyimpanan lestari [3].



Gambar 2. Drum baja karbon 200 Lt wadah limbah radioaktif

Dalam proses fabrikasinya drum baja karbon wadah limbah mengalami proses pengelasan akibatnya terjadi penurunan kekuatan mekanik karena adanya perubahan struktur mikro. Salah satu perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah las yaitu daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) [5], [6]. Perubahan struktur mikro ini disebabkan oleh siklus termal karena adanya pemanasan dan pendinginan pada pengelasan sehingga mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik pada sambungan las seperti kuat tarik, kekerasan dan laju korosi bahan [5], [6].

Pada penyimpanan sementara, drum yang telah berisi limbah disimpan di Gudang penyimpanan sementara (*Interim Storage*), yang selanjutnya pada saatnya nanti akan disimpan secara lestari dalam penyimpanan tanah dangkal (*shallow land disposal*) [3]. Untuk menjamin keselamatan manusia dan lingkungan, fasilitas disposal dilengkapi dengan penahan ganda rekayasa (*engineer barrier*) yang terdiri dari limbah yang telah diimobilisasi sehingga menjadi bentuk yang

monolith, *backfill* dan *host rock* [7]. Pada bagian *backfill* material, tumpukan drum limbah akan dikelilingi oleh timbunan *bentonite* dan beton (semen) [7]. *Backfill* material berfungsi sebagai penahan air tanah yang masuk ke dalam drum dan sebagai penyerap jika terdapat radionuklida terlepas ke lingkungan. Untuk itu dipilih material penyusun *backfill* yang mempunyai daya serap dan koefisien distribusi yang tinggi yaitu *bentonite* [8], [9]. Suatu saat jika air masuk ke dalam fasilitas disposal, maka akan terjadi korosi drum wadah limbah.

Beberapa peneliti telah melakukan riset terkait dengan baja karbon seperti Jina Feng melakukan penelitian laju korosi pada baja karbon di larutan karbonat semen pada lingkungan geothermal [10]. Olivier X. Leupin melakukan penelitian mengenai laju korosi akibat bakteri anaerob pada baja karbon pada larutan bentonit, namun logam yang digunakan hanya logam baja karbon tanpa pengelasan [11]. Penelitian mengenai ketahanan korosi drum baja karbon pada lingkungan calon tapak disposal di Indonesia ataupun calon tapak disposal di Kawasan Nuklir Serpong (SP4) belum pernah dilakukan. Lingkungan sangat mempengaruhi ketahanan korosi drum wadah limbah, sehingga perlu untuk diketahui agar drum penyimpan limbah radioaktif aman dan selamat selama proses penyimpanan lestari berlangsung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengelasan terhadap ketahanan korosi drum baja karbon wadah limbah radioaktif pada kondisi air tanah SP4, air yang bercampur *bentonite*, dan air semen. Pada penelitian ini juga dilengkapi dengan data struktur mikro dan kekuatan mekanik dari baja karbon wadah limbah radioaktif akibat pengelasan yang berasal dari penelitian sebelumnya [12]. Adanya air yang kontak dengan drum wadah limbah diasumsikan karena terdapat air yang menembus semen dan *bentonite* karena terdapat kerusakan pada fasilitas disposal.

METODOLOGI

a. Bahan

Pengukuran laju korosi menggunakan bahan baja karbon DIN St 37-2 yaitu bahan drum wadah limbah dengan komposisi material seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Media yang digunakan dalam pengukuran laju korosi adalah air semen 20%, air bentonit 2,5%, air demin, serta air tanah SP4. Karakteristik air tanah SP4 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon rendah [12]

Unsur	% Berat
C	0,112
Si	< 0,117
Mn	0,443
P	< 0,0008
S	< 0,0002
Cr	0,0085
Ni	0,0143
Mo	0,0065
Cu	0,0176
Al	0,0381
Fe	99,350

Tabel 2. Karakteristik air tanah SP4 [13]

Parameter	Nilai
pH	4,5 – 6,0
Cu(mg/L)	0
Zinc (mg/L)	0
Ca (mg/L)	0
Fe (mg/L)	0,1 – 0,4
Cr (mg/L)	0
K ₂ O (mg/L)	20,0 – 25,0
Mg (mg/L)	6,7 – 150,0
Mn (mg/L)	0,8 – 1,1
Al (g/L)	0
Cl (ppm)	1
TDS (ppm)	33,2 – 74,0
Conductivity	46,1 – 104,0
Warna (Pt-co)	5 – 418,7
Bau	-
Rasa	-

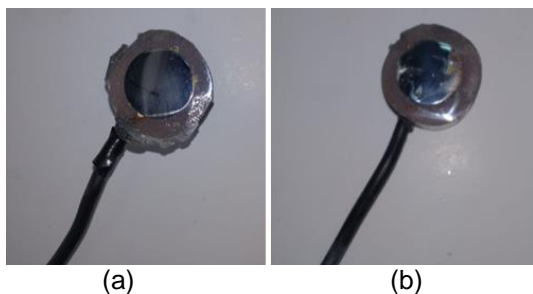
b. Preparasi Sampel Uji Korosi

Sampel logam baja karbon dibuat dari drum wadah limbah radioaktif dengan parameter baja karbon yang mengalami pengelasan dan yang tidak mengalami pengelasan. Pengelasan sampel menggunakan mesin las busur listrik tipe BX 6-160-2 dengan arus las 60–110 ampere, tegangan busur 24 volt, jenis elektrode E6013, panjang elektrode 350 mm, diameter kawat 2,6 mm, polaritas AC/DC dan laju las 20 mm/detik.

Proses pembuatan sampel uji korosi, logam baja karbon baik yang dilas maupun yang tidak dilas dipotong membentuk silinder

Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Ketahanan Korosi Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif (Dwi Luhur Ibnu Saputra, Aisyah, Risdiyana Setiawan, Pungky Ayu Artiani, Kuat Heriyanto, Jaka Rachmadetin)

dengan diameter 11,91 mm dan ketebalan 1,11 mm. Sampel kemudian dibingkai dengan resin yang terlebih dahulu dipasang kabel untuk menghubungkan logam ke alat ukur, selanjutnya sampel dihaluskan dengan menggunakan alat *polishing* dan amplas. Sampel uji korosi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sampel Uji Korosi Logam Baja karbon, (a) tidak dilas (b) dilas

c. Uji Korosi

Alat ukur yang digunakan dalam penentuan laju korosi adalah potensiostat Reference 600. Terdapat 2 metode pengukuran laju korosi yaitu metode *polarization resistance* dan metode Tafel Fit [14]–[16]. Pada penelitian ini menggunakan metode Tafel Fit untuk pengukuran laju korosi. Nilai arus korosi (*icorr*) akan dihasilkan pada pengukuran dengan menggunakan alat potensiostat. Laju korosi biasanya dinyatakan dengan laju penetrasi logam (*mpy*: mils per year) atau laju pengurangan berat (*mdd*: $mg/dm^2/hari$) yang dinyatakan dengan persamaan (Lian - Fulia, and Jean-Pierre Celisa, 2004; Kojima, Y., et.al, 1996; Pandey, J.L, et.al., 1997).

$$\text{Laju korosi} = 0,129 \text{ icorr} \frac{W}{\rho} \tag{1}$$

dengan,

- icorr* : rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)
- W* : berat ekuivalen (g.ekivalen)
- ρ : rapat massa logam (g/cm^3)
- 0,129 : faktor konversi

HASIL DAN PEMBAHASAN

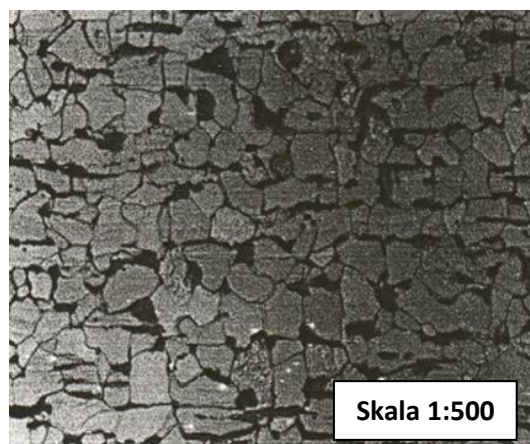
Hasil pengukuran laju korosi baja karbon wadah limbah radioaktif pada berbagai media korosi ditunjukkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat bahwa nilai laju korosi di semua media pada logam yang dilas lebih besar dibanding dengan logam induk (tidak dilas). Hal ini terjadi karena proses pengelasan dapat merubah struktur mikro

logam sehingga berpengaruh pada sifat mekanik maupun laju korosinya. Adanya pengelasan terutama pada daerah HAZ akan meningkatkan laju korosinya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat bahwa untuk logam yang mengalami pengelasan pada berbagai media pengkorosi memiliki laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam induknya. Hal ini karena adanya pengelasan mengakibatkan logam mengalami pemanasan dan pendinginan yang bervariasi dan hal ini akan berakibat pada perubahan struktur mikronya. Perubahan struktur mikro bahan akan berakibat pada perubahan laju korosinya [6], [17], [18].

Tabel 3. Laju Korosi Logam Baja Karbon pada Berbagai Media

Media	Perlakuan	Laju Korosi (mpy)
Air SP4	Tidak di las	6,943
	Las	7,349
Air Demineralisasi	Tidak di las	0,884
	Las	1,084
Air Bentonit	Tidak di las	1,289
	Las	1,653
Air Semen	Tidak di las	0,949
	Las	1,094

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik terhadap drum baja karbon wadah limbah baik yang dilas maupun logam induknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 [12].



Gambar 4. Struktur mikro logam induk, hasil pengamatan dengan mikroskop optik [12]

Pada Gambar 4 tampak butir-butir *ferrite* (berwarna terang), dan fasa *pearlite* (berwarna gelap). Butir *ferrite* cenderung lebih halus dan lunak sedangkan butir *pearlite* lebih kasar dan keras karena mengandung karbon. Logam induk mengandung karbon 0,112% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 sehingga bisa dikatakan bahwa baja karbon ini termasuk baja karbon rendah.



Gambar 5. Struktur mikro daerah HAZ, hasil pengamatan dengan mikroskop optik [12]

Perubahan struktur mikro yang terjadi pada HAZ ditunjukkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut tampak bahwa struktur mikro pada HAZ yang diamati dengan mikroskop optik terdiri dari *ferrite* halus, *ferrite* kasar dan *bainite*. *Heat Affected Zone* adalah daerah pada logam induk yang berdekatan dengan logam las. Selama proses pengelasan daerah ini mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan sedang, sehingga daerah ini merupakan daerah yang paling kritis pada sambungan las dan terbentuk struktur mikro *bainite* di samping *pearlite* [5], [19].

Pada struktur mikro HAZ karena adanya pengaruh pemanasan, maka butir akan membesar dibandingkan dengan logam induk. Material dengan butir yang membesar akan lebih lemah, lunak serta disertai dengan peningkatan laju korosi [6], [17], [18]. Itulah sebabnya laju korosi pada sampel yang dilas pada berbagai media menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, nilai laju korosi tertinggi yaitu 7,349 mpy dan 6,943 mpy masing-masing untuk bahan yang dilas dan logam induknya pada media air SP4. Jika dikaitkan dengan ketebalan drum wadah limbah 6 mm maka kemampuan drum bertahan dalam media tersebut menjadi rendah. Namun demikian dalam sistem penyimpanan lestari diterapkan

sistem penahan ganda rekayasa (*engineer barrier system*) yang akan melindungi limbah terhadap intrusi air kontak dengan limbah. Sistem penahan ganda tersebut diantaranya terdapat *backfill material* (*bentonite*) yang *impermeable* yang melingkupi seluruh drum limbah dan juga fasilitas penyimpanan lestari dibuat dengan semen yang mengelilinginya. Jika air tanah mencapai drum maka sebelumnya akan menembus semen, *bentonite* dan baru mencapai drum dengan kondisi air tanah yang sudah berubah karakteristiknya. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 laju korosi dalam air semen 0,949 dan 1,094 mpy masing-masing untuk drum yang tidak dilas dan drum yang mengalami pengelasan, maka dengan ketebalan drum 6 mm maka drum mulai terkorosi setelah lama penyimpanan sekitar 260 tahun. Hal ini pun belum dipertimbangkan dengan adanya pertahanan dari *bentonite* yang *impermeable* sehingga air sulit menjangkau drum limbah. Dengan kondisi penahan ganda maka diperkirakan drum mampu bertahan lebih lama dari 260 tahun. Oleh karena itu drum dikhususkan untuk menyimpan limbah radioaktif aktivitas rendah sedang yang tidak mengandung radionuklida umur paro panjang.

Air SP4 memiliki karakteristik bersifat asam dengan pH yang rendah sekitar 5 dan juga TDS yang relatif tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Selain itu adanya kandungan klor (Cl) dalam air SP4 dapat meningkatkan laju korosi karena adanya interaksi antara Fe dalam baja karbon dengan Cl membentuk produk korosi ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) dengan reaksi yang dituliskan pada persamaan (2) dan (3). Keberadaan beberapa faktor tersebut menjadi penyebab peningkatan nilai laju korosi.



Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai laju korosi pada media air demin, air *bentonite* dan air semen pada kisaran yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Berdasarkan hasil pengukuran, ketiga media tersebut memiliki pH 6,16; 10,24 dan 8,66 masing-masing untuk air demin KH-IPSB3, air semen dan air *bentonite*, artinya media tidak bersifat asam sehingga mengurangi efek pengikisan bahan. Namun demikian nilai laju korosi dalam media *bentonite* tertinggi di antara ketiganya baik

Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Ketahanan Korosi Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif
(Dwi Luhur Ibnu Saputra, Aisyah, Risdiyana Setiawan, Pungky Ayu Artiani, Kuat Heriyanto, Jaka Rachmadetin)

untuk bahan yang mengalami pengelasan maupun logam induknya. Pada media larutan *bentonite* terlihat laju korosi lebih besar sekitar 31,4% untuk logam induk dan 34,4% untuk logam yang dilas dibandingkan dengan pada media air semen. Butiran bentonit pada media larutan *bentonite* lebih kasar dibanding dengan butiran semen. Butiran-butiran *bentonite* yang lebih kasar akan lebih kuat mengikis lapisan permukaan pada logam sehingga dapat memperbesar laju korosi.

Nilai laju korosi bahan yang mengalami pengelasan maupun logam induk dalam media air demin paling rendah dibandingkan dengan media larutan *bentonite* maupun media larutan semen. Hal ini karena air demin memiliki pH netral dan TDS paling rendah serta bebas dari kation sehingga menurunkan efek lingkungan korosif bahan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Dibandingkan dengan air SP4 yang memiliki laju korosi 7,86 dan 6,78 kalinya dibandingkan dengan air demin, sehingga perlu kajian yang lebih mendalam tentang karakteristik lokasi SP4 jika akan digunakan sebagai tempat penyimpanan limbah.

Tabel 4. Karakteristik Air Demineralisasi KH-IPSB3, Air Semen dan Air Bentonit.

Parameter	pH	TDS (ppm)
Air Demineralisasi KH-IPSB3	6,16	0,56
Air Semen	10,24	1055
Air Bentonit	8,66	15

Selain data laju korosi, kekuatan drum wadah limbah perlu diperhatikan kekuatan mekaniknya yaitu kekuatan tarik dan kekerasan bahan mengingat drum wadah limbah menerima beban tumpuk pada saat penyimpanan sementara dan juga beban tarik waktu *handling* dan transportasi. Sementara adanya pengelasan akan memperlemah kekuatan mekanik bahan. Oleh karena itu berdasarkan pada penelitian sebelumnya [12] menunjukkan bahwa drum wadah limbah memiliki kekuatan tarik masing masing sebesar 48 dan 39 kg.mm⁻² untuk logam induk dan bahan yang mengalami pengelasan. Nilai Kekerasan Vickers (HVN) adalah 152 dan 97 masing masing untuk logam induk dan bahan yang mengalami pengelasan. Penurunan sifat mekanik ini karena adanya perubahan struktur mikro. Pada logam yang mengalami pengelasan yaitu HAZ akan terjadi

perbesaran butir yang mengakibatkan melemahnya sifat mekanik bahan yaitu kuat tarik dan kekerasan bahan menjadi menurun [5], [19]. Namun demikian kekuatan mekanik ini masih cukup baik untuk bahan drum wadah limbah radioaktif mengingat kekuatan drum ini juga diperkuat dengan kekuatan semen yang ada di dalam drum sebagai bahan matriks untuk solidifikasi limbah radioaktif. Untuk mengurangi penurunan sifat mekanik bahan maupun laju korosinya maka diupayakan seminimal mungkin efek dari pengelasan. Meminimalisir efek pengelasan antara lain dapat dilakukan dengan penggunaan arus las yang minimal maupun menerapkan metode *annealing* bahan setelah pengelasan. *Annealing* atau perlakuan panas pasca pengelasan adalah proses pemanasan kembali bahan yang telah mengalami pengelasan, ditahan pada suhu tersebut dalam waktu tertentu. Perlakuan panas ini disebut *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*. Proses PWHT dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi tegangan sisa setelah proses pengelasan, sehingga material akan mengalami perubahan struktur yang lebih baik [20], [21].

SIMPULAN

Data laju korosi merupakan parameter penting untuk pemilihan wadah limbah radioaktif. Bahan dengan ketahanan korosi yang tinggi akan mampu bertahan sebagai wadah limbah radioaktif dalam jangka Panjang. Adanya pengelasan drum wadah limbah mempengaruhi laju korosi dan sifat mekanik bahan. Bahan yang dilas memiliki laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan logam induknya masing-masing 7,86 dan 6,78 kali dibandingkan dengan dalam air demineralisasi. Hal ini karena air SP4 memiliki karakteristik bersifat asam dengan pH yang rendah sekitar 5, TDS yang relatif tinggi dan juga mengandung klor (Cl) yang dapat berinteraksi dengan Fe yang dapat meningkatkan laju korosi. Nilai laju korosi terbesar adalah pada pengukuran dengan media air SP4 baik untuk bahan yang dilas maupun logam induknya. Laju korosi pada media air demin, air semen dan air *bentonite* menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda satu dengan yang lainnya. Sebagai bahan wadah limbah radioaktif harus memiliki karakteristik kekuatan mekanik yang tinggi dan laju korosi yang rendah karena wadah akan disimpan dalam jangka waktu yang lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pendanaan penelitian ini didukung oleh Program Pendanaan Riset dan Inovasi Indonesia Maju (RIIM) dan Rumah Program Hasil Inovasi Teknologi Nuklir (HITN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) [No:B1746/II.7.5/FR/11/2022;B4849/III.2/HK.04.03/11/2022]. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Ibu Titik Sundari dan Mohammad Nur Chabibi yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. A. Artiani and Aisyah, "Storage of radioactive waste generated from Molybdenum-99 radioisotope production: Strategy and criticality analysis," in *Proceedings of the 17th Annual Nuclear Safety Seminar (ANSS), AIP Conference Proceedings*, 2022, p. 080001. doi: 10.1063/5.0127290.
- [2] P. A. Artiani, Cahyana, D. Haryanto, J. Rachmadetin, and Aisyah, "Spent fuel inventories calculation of G.A. Siwabessy Research Reactor 15 MW," in *GREENVC 2021, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, p. 1017. doi: 10.1088/1755-1315/1017/1/012015.
- [3] D. S. Wisnubroto, H. Zamroni, R. Sumarbagiono, and G. Nurliati, "Challenges of implementing the policy and strategy for management of radioactive waste and nuclear spent fuel in Indonesia," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 53, no. 2, pp. 549–561, 2021. doi: 10.1016/j.net.2020.07.005.
- [4] R. Ratiko, D. S. Wisnubroto, N. Nasruddin, and T. M. I. Mahlia, "Current and future strategies for spent nuclear fuel management in Indonesia," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 32, p. 100575, 2020. doi: 10.1016/j.esr.2020.100575.
- [5] Z. Xiong, S. Liu, X. Wang, C. Shang, X. Li, and R. D. K. Misra, "Contribution of intragranular acicular ferrite microstructural constituent on impact toughness and impeding crack initiation and propagation in the Heat-Affected Zone (HAZ) of low-carbon steels," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 636, pp. 117–123, 2015. doi: 10.1016/j.msea.2015.03.090.
- [6] M. Sailender, *et al*, "Prediction and comparison of the dilution and Heat Affected Zone in Submerged ARC Welding (SAW) of low carbon alloy steel joints," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 150, p. 107084, 2020. doi:10.1016/j.measurement.2019.107084
- [7] S. J. Benbow *et al.*, "Potential migration of buoyant LNAPL from Intermediate Level Waste (ILW) emplaced in a Geological Disposal Facility (GDF) for UK radioactive waste," *J. Contam. Hydrol.*, vol. 167, pp. 1–22, 2014. doi: 10.1016/j.jconhyd.2014.07.011.
- [8] H. Komine, "Predicting hydraulic conductivity of sand-bentonite mixture backfill before and after swelling deformation for underground disposal of radioactive wastes," *Eng. Geol.*, vol. 114, no. 3–4, pp. 123–134, 2010. doi: 10.1016/j.enggeo.2010.04.009.
- [9] T. Sasagawa, T. Chida, and Y. Niibori, "Deposition rate of supersaturated silicic acid on Na-type bentonite as a backfilled material in the geological disposal," *Appl. Geochemistry*, vol. 98, pp. 377–382, 2018. doi: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.007.
- [10] J. Feng, Z. M. Wang, D. Zheng, and G. Song, "The localized corrosion of mild steel in carbonated cement pore solution under supercritical carbon-dioxide in a simulated geothermal environment," *Constr. Build. Mater.*, vol. 274, p. 122035, 2021. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122035.
- [11] O. X. Leupin *et al.*, "Anaerobic corrosion of carbon steel in bentonite : An evolving interface," *Corros. Sci.*, vol. 187, no. December 2020, p. 109523, 2021. doi: 10.1016/j.corsci.2021.109523.
- [12] Aisyah and H. Martono, "Pengaruh pengelasan terhadap kekuatan mekanik drum wadah limbah aktivitas rendah," *Pros. PPI-PDIPTN*, vol. dil, pp. 333–339, 2007.
- [13] D. L. I. Saputra and Y. Purwanto, "Pemantauan kualitas air tanah pada calon tapak disposal di Kawasan Nuklir Serpong," in *Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, 2018, pp. 47–51.
- [14] L. Chen, R. Kai, and L. Su, "Corrosion rate measurement by using polarization resistance method for microcell and macrocell corrosion : Theoretical analysis and experimental work with simulated concrete pore solution," *Constr. Build. Mater.*, p. 121003, 2020. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121003.

Pengaruh Kondisi Penyimpanan Terhadap Ketahanan Korosi
Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif
(Dwi Luhur Ibnu Saputra, Aisyah, Risdiyana Setiawan, Pungky Ayu Artiani,
Kuat Heriyanto, Jaka Rachmadetin)

- [15] H. Zheng, B. Zhang, X. Wang, Y. Lu, F. Li, and C. Li, "Improved corrosion resistance of carbon steel in soft water with dendritic-polymer corrosion inhibitors," *Chem. Eng. J.*, vol. 452, p. 139043, 2023.
doi: 10.1016/j.cej.2022.139043.
- [16] G. Zehethofer, G. Mori, E. Magdalena, M. Moshtaghi, and H. Stefan, "Results in materials investigation of the effects of temperature and exposure time on the corrosion behavior of a ferritic steel in CO₂ environment using the optimized linear polarization resistance method," vol. 14, pp. 1–7, 2022.
doi: 10.1016/j.rinma.2022.100282.
- [17] K. Chen *et al.*, "Corrosion characteristics of simulated reheated Heat-Affected-Zone of X80 pipeline steel in carbonate/bicarbonate Solution," *Corros. Sci.*, vol. 210, p. 110856, 2023.
doi: 10.1016/j.corsci.2022.110856.
- [18] Y. Huang *et al.*, "Microstructure and corrosion characterization of weld metal in stainless steel and low carbon steel joint under different heat input," *Mater. Today Commun.*, vol. 29, p. 102948, 2021.
doi: 10.1016/j.mtcomm.2021.102948.
- [19] A. Guo, R. D. K. Misra, J. Liu, L. Chen, X. He, and S. J. Jansto, "An analysis of the microstructure of the heat-affected zone of an ultra-low carbon and niobium-bearing acicular ferrite steel using EBSD and its relationship to mechanical properties," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 23, pp. 6440–6448, 2010.
doi: 10.1016/j.msea.2010.06.092.
- [20] M. Soleimani, H. Mirzadeh, and C. Dehghanian, "Effects of spheroidization heat treatment and intercritical annealing on mechanical properties and corrosion resistance of medium carbon dual phase steel," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 257, no. September 2020, p. 123721, 2021, doi: 10.1016/j.matchemphys.2020.123721.
- [21] L. Souza, E. Pereira, L. Matlakhova, V. A. F. Nicolin, S. N. Monteiro, and A. R. G. De Azevedo, "Ionic liquids as corrosion inhibitors for carbon steel protection in hydrochloric acid solution: A first review," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 22, pp. 2186–2205, 2023.
doi: 10.1016/j.jmrt.2022.12.066.

HALAMAN INI DIBIARKAN KOSONG