

**Analisis Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan
Las Aluminium pada Teknologi *Paraffin Shielding* untuk
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai

derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Dewi Suci Puspitaningtyas

16620005

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2021



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-681/Un.02/DST/PP.00.9/04/2021

Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM PADA TEKNOLOGI PARAFFIN SHIELDING UNTUK BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DEWI SUCI PUSPITANINGTYAS
Nomor Induk Mahasiswa : 16620005
Telah diujikan pada : Kamis, 01 April 2021
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

Valid ID: 6073f1766dbd4



Penguji I

Prof. Ir. Yohannes Sardjono, APU
SIGNED

Valid ID: 607e6260ae04



Penguji II

Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 607e66e62d548



Yogyakarta, 01 April 2021
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 607cf71eb3f9



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

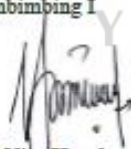
Nama : Dewi Suci Puspitaningtyas
NIM : 16620005
Judul Skripsi : Analisis Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las Aluminium pada Teknologi Paraffin Shielding untuk Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamua'alaikum wr. wb.

Pembimbing I


Dr. Nita Handayani, S. Si., M. Si.
NIP. 19820126 200801 2 008

Yogyakarta, 19 Maret 2021

Pembimbing II


Prof. Ir. Yohanes Sardjono, APU
NIP. 19590610 000000 1 301

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Suci Puspitaningtyas
NIM : 16620005
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Nilai Kekerasan dan Sturktur Mikro Sambungan Las Aluminium pada Teknologi *Paraffin Shielding* untuk *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT)” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar psutaka.

Yogyakarta, 19 Maret 2021
Penulis



Dewi Suci Puspitaningtyas
NIM. 16620005

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“The best way to predict the future is to create it”

Dr. Forrest C Shaklee



Tulisan ini penulis persembahkan untuk:

Allah SWT

Nabi Muhammad SAW

Bapak Onward santosa dan Ibu Endang Santosa

Ibu Dr. Nita Handayani, M. Si dan Bapak Prof. Ir. Yohannes Sardjono, APU.

Serta semua pihak yang telah memberikan doa serta dukungan kepada penulis.

KATA PENGANTAR

Bismillah

Assalamu'alaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT., yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Nilai Kekerasan dan Sturktur Mikro Sambungan Las Aluminium pada Teknologi Paraffin Shielding untuk Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)**” . Shalawat serta salam kita hadiahkan kepada Nabi Muhammad SAW., semoga kita mendapatkan syafaatnya di *yaumalqiyamah* kelak. *Amiin*.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Dalam proses penyusunannya, ada banyak sekali pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, doa serta nasihat sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang terdalam kepada:

1. Bapak Onward Santosa dan Ibu Endang Sri Gunarti selaku orang tua penulis serta Abib, Abang Satria, Mba Nanda dan Arsakha selaku keluarga yang setia memberikan semangat dan doa kepada penulis,
2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, M. A. selaku rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,
4. Ibu Anis Yuniati, S. Si., M. Si., Ph. D. Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,

5. Ibu Dr. Nita Handayani. S. Si., M. Si. Dan Bapak Prof. Ir. Yohannes Sardjono, APU. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan arahan serta nasihat sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan,
6. Seluruh Dosen Fisika beserta jajarannya yang telah memberikan ilmunya selama masa perkuliahan kepada penulis,
7. Teman-temanku tercinta, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu,
8. Para Bapak dan Bunda Fisika 2016 yang telah menemani proses perkuliahan,
9. Semua pihak yang terlibat, namun tidak tertulis akibat keterbatasan penulis.

Terima kasih kepada pihak-pihak tersebut atas doa, dukungan dan jasa yang telah diberikan kepada penulis. Semoga seluruh amal kebaikan akan dibalas oleh Allah SWT sehingga dapat memperoleh ridha-Nya. Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat konstruktif dari pembaca demi penyempurnaan laporan ini.

Yogyakarta, 25 Februari 2021

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Penulis

**ANALISIS NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN
LAS ALUMINIUM PADA TEKNOLOGI *PARAFFIN SHIELDING* UNTUK
*BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT)***

DEWI SUCI PUSPITANINGTYAS

16620005

INTISARI

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) merupakan salah satu metode pengobatan kanker yang telah lama diharapkan menjadi radioterapi inovatif yang berpotensi untuk menangani berbagai macam penyakit kanker. Dalam prosesnya, BNCT memanfaatkan tangkapan neutron thermal oleh *boron compounds* yang telah diinjeksikan ke tubuh pasien. Di Indonesia, penelitian mengenai BNCT telah dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) dengan menggunakan reaktor Kartini sebagai sumber neutron. Salah satu fasilitas pendukung reaktor Kartini adalah kolimator untuk menghasilkan fluks neutron yang sesuai standar IAEA (*International Atomic Energy Agency*) untuk BNCT, yaitu 1×10^9 n/cm²s. Fasilitas nuklir yang digunakan tentu saja memerlukan proteksi agar radiasi yang ditimbulkan tidak membahayakan pekerja radiasi, sehingga BATAN juga turut mendesain perisai radiasi berupa *paraffin shielding*. *Paraffin shielding* merupakan perisai radiasi berbahan utama parafin yang dilapisi dengan aluminium AA 1100 sebagai pelindung. Untuk menciptakan *casing* aluminium yang sesuai dengan desain perisai, digunakan teknologi pengelasan untuk menciptakan sambungan. Metode pengelasan yang digunakan adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan argon sebagai *inert gas*. Untuk mengetahui perubahan sifat mekanik aluminium setelah melewati proses pengelasan, dilakukan pengujian nilai kekerasan dengan metode Brinell dan pengamatan struktur mikro. Hasilnya, pada daerah lasan aluminium terjadi penurunan nilai kekerasan menjadi 90,235 HBW serta pada daerah pengelasan yang diberikan proses *annealing* menjadi 77,325 HBW. Serta pengamatan struktur mikro yang dilakukan menunjukkan adanya persebaran fasa FeAl₃ yang dapat menurunkan nilai kekerasan aluminium.

Kata Kunci: BNCT, *Paraffin Shielding*, Aluminium AA 1100, Nilai Kekerasan Brinell, Struktur Mikro.

**ANALYSIS OF HARDNESS VALUE AND MICRO STRUCTURE OF
ALUMINUM WELDING JOINTS IN PARAFFIN SHIELDING TECHNOLOGY
FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT)**

DEWI SUCI PUSPITANINGTYAS

16620005

ABSTRACT

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) is a cancer treatment method that is expected to be an innovative radiotherapy and has the potential to treat various types of cancer. BNCT utilizes thermal neutron capture by boron compounds that have been injected into the patient's body. In Indonesia, BNCT research has been carried out by the National Atomic Energy Agency (BATAN) using the Kartini reactor as a neutron source. The collimator is a supporting facility to produce neutron fluxes that comply with IAEA (International Atomic Energy Agency) standards for BNCT, namely 1×10^9 n / cm²s. The nuclear facilities used will require protection, so BATAN has also designed paraffin shielding. Paraffin shielding is a radiation shield made of paraffin which is coated with aluminum AA 1100 as a protection. To create the aluminum casing, the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) technology is used with argon as an inert gas. Testing of Brinell hardness and metallography values were carried out to determine changes in mechanical properties. As a result, in the aluminum weld area, the hardness value decreased to 90.235 HBW. The welding area which was given annealing process also decreased to 77.325 HBW. The metallography that has been carried out shows that the FeAl₃ phase distribution can reduce the hardness value of aluminum.

Key Word: BNCT, Paraffin Shielding, Aluminium AA 1100, Brinell Hardness Value, Micro Structure

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Studi Pustaka	9
2.2 Landasan Teori	16
2.2.1 BNCT (<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>).....	16
2.2.2 <i>Paraffin Shielding</i>	17
2.2.3 Aluminium	21
2.2.4 Pengelasan.....	26
2.2.5 GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>).....	28
2.2.6 <i>Heat Treatment</i>	32

2.2.7	Pengujian Kekerasan Aluminium	34
2.2.8	Metalografi Mikro.....	40
2.2.9	Perspektif Islam Tentang Pemanfaatan Logam.....	42
BAB III METODE PENELITIAN		45
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	45
3.2	Alat dan Bahan	45
3.2.1	Alat.....	45
3.2.2	Bahan	46
3.3	Prosedur Penelitian.....	46
3.3.1	Preparasi Spesimen	47
3.3.2	Karakterikasi Aluminium.....	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1	Hasil Penelitian.....	60
4.1.1	Hasil Pengujian Komposisi.....	60
4.1.2	Hasil Pengujian Kekerasan Brinell	61
4.1.3	Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	63
4.2	Pembahasan	65
4.2.1	Analisis Komposisi	65
4.2.2	Analisis Nilai Kekerasan Brinell.....	66
4.2.3	Analisis Struktur Mikro	70
4.2.4	Integrasi-Interkoneksi	72
BAB V PENUTUP.....		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN.....		81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman penelitian yang relevan	14
Tabel 2.2 Karakteristik aluminium.....	21
Tabel 2.3 Klasifikasi Aluminium <i>Cast Compositions</i>	24
Tabel 2.4 Klasifikasi Aluminium <i>Wrought Compositions</i>	24
Tabel 2.5 Komposisi kimia aluminium AA 1100	25
Tabel 2.6 Konstanta bahan uji pada pengujian Brinell.....	37
Tabel 3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian <i>shielding paraffin</i>	46
Tabel 3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian <i>shielding paraffin</i>	47
Tabel 3.3 Tabel penyajian data untuk pengukuran nilai kekerasan Brinell	58
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komposisi Raw Material Aluminium.....	61
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi Welded+Annealed Aluminium.....	61
Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Brinell pada <i>Raw Material</i> Aluminium	62
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Brinell pada <i>Welded</i> Aluminium	62
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan Brinell pada <i>Welded+Annealed</i> Aluminium.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain balok <i>paraffin shielding</i>	19
Gambar 2.2 Desain <i>paraffin shielding</i> BATAN.....	20
Gambar 2.3 Klasifikasi pengelasan	27
Gambar 2.4 Skema pengelasan metode GTAW	29
Gambar 2.5 Grafik proses <i>heat treatment</i>	33
Gambar 2.6 Skema prinsip kerja metode Brinell	38
Gambar 2.7 Diameter pada jejak indensitas	38
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian	47
Gambar 3.2 Diagram alir preparasi spesimen.	48
Gambar 3.3 NEYO-525 <i>Burn Off Furnace</i>	49
Gambar 3.4 BOSCH GWS 060 <i>Angle Grinding Machine</i>	50
Gambar 3.5 Spesimen uji komposisi <i>raw material</i>	51
Gambar 3.6 Spesimen uji komposisi <i>welded</i> dan <i>welded+annealed material</i>	51
Gambar 3.6 Diagram alir proses preparasi spesimen uji kekerasan	52
Gambar 3.8 Taiwan Nakazawa <i>grinding machine</i>	53
Gambar 3.9 Diagram alir proses preparasi spesimen metalografi mikro	54
Gambar 3.10 <i>Brinell hardness tester MOD 100 MR</i>	56
Gambar 3.11 Titik uji pada spesimen <i>raw material</i>	56
Gambar 3.12 Titik uji pada spesimen <i>welded</i> dan <i>welded+annealed material</i>	57
Gambar 3.13 <i>Brinell measuring microscope</i>	58
Gambar 3.14 Komputer dan mikroskop optik	59
Gambar 4.1 Struktur mikro pada spesimen <i>raw material</i>	64
Gambar 4.2 Struktur mikro pada spesimen <i>welded material</i>	64
Gambar 4.3 Struktur mikro pada spesimen <i>welded+annealed material</i>	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi nuklir sangat bermanfaat bagi umat manusia termasuk dalam bidang medis atau kesehatan. Salah satu contoh pemanfaatan teknologi nuklir pada bidang kesehatan adalah *Boron neutron capture therapy* (BNCT) yang merupakan bentuk pengobatan kanker dengan radioterapi. Dalam prinsip kerjanya, BNCT memanfaatkan nuklida non-radioaktif, boron-10 untuk menangkap neutron termal dan menghasilkan reaksi nuklir cepat $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$. Untuk menghantarkan neutron termal ke sel target berupa sel kanker, tubuh pasien yang telah diinjeksikan *boron compounds* kemudian diiradiasi dengan neutron epithermal dan kemudian termoderasi oleh jaringan sehat sehingga menjadi neutron termal di area sel kanker.

Produk-produk hasil reaksi ini memiliki sifat karakteristik *Linear Energy Transfer* (LET) yang tinggi dan dapat merusak sel kanker (Saurwein, 2012). LET merupakan energi rerata yang didistribusikan oleh suatu radiasi pengion ke dalam jaringannya. LET yang tinggi dapat mengakibatkan DNA mengalami *double strands break* (DSB) sehingga tidak dapat memperbaiki diri dan tidak dapat melanjutkan proses tumbuh serta membelah (Beyzadeoglu, 2010). Partikel- α yang terdeposisi memiliki nilai LET sebesar 150 keV/ μm , sementara inti ^7Li memiliki LET sebesar 175 keV/ μm . Radiasi yang

ditimbulkan oleh partikel alpha dan inti lithium dapat mengakibatkan kerusakan di dalam inti sel kanker. Kerusakan hanya terdapat pada sel kanker karena kedua partikel tersebut memiliki panjang lintasan 4 μm sampai dengan 10 μm , sementara ukuran sel berada pada rentang $\pm 18 \mu\text{m}$.

BNCT dapat dioperasikan di reaktor nuklir maupun di rumah sakit yang telah dibangun sumber neutron alternatif. Selain reaktor nuklir, BNCT juga dapat dioperasikan dengan siklotron maupun generator neutron sebagai sumber neutron (Masoudi dkk, 2017). Penelitian BNCT di Indonesia dilakukan di reaktor Kartini yang terletak di PSTA BATAN Yogyakarta, dengan metode uji *in vitro* dan *in vivo*. Reaktor Kartini merupakan reaktor jenis TRIGA MARK-II dengan daya termal sebesar 100 kW yang dilengkapi berbagai fasilitas untuk penelitian BNCT metode *in vivo* dan *in vitro* (Warfi dkk, 2015). Salah satu fasilitas pendukung reaktor Kartini adalah kolimator untuk menghasilkan fluks neutron yang sesuai standar IAEA (*International Atomic Energy Agency*) untuk BNCT, yaitu $1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$ (Sauerwein dkk, 2009).

Fasilitas yang memanfaatkan teknologi nuklir harus memperhatikan karakteristik radiasi yang ditimbulkan sehingga perlu dilakukan pemantauan rutin. Hal ini terkait dengan proteksi radiasi terhadap para pekerja nuklir dan makhluk hidup di sekitarnya. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) Nomor 4 Tahun 2013 menyebutkan bahwa nilai batas dosis efektif rata-rata pekerja radiasi, termasuk kulit sebesar 20 mSv

pertahun dalam periode lima tahun, sehingga dosis yang terakumulasi selama lima tahun tidak boleh melebihi 100 mSv (BAPETEN, 2013). BNCT sebagai salah satu fasilitas yang memanfaatkan teknologi nuklir, sehingga memerlukan fasilitas proteksi agar paparan radiasi yang ditimbulkan tidak melebihi ketentuan BAPETEN, bahkan dapat diminimalkan.

Perancangan fasilitas proteksi radiasi sangat penting untuk dimaksimalkan mengingat akibat buruk yang ditimbulkan oleh paparan radiasi jika terpapar ke manusia maupun lingkungan. Bagi manusia, paparan radiasi dengan dosis tinggi akan berakibat buruk untuk kesehatan organ tubuh. Ada banyak kerusakan organ tubuh yang ditimbulkan, tergantung pada besar dosis yang diserap oleh tubuh. Pada lingkungan yang tercemar radiasi akan mengakibatkan banyak kepunahan vegetasi dan fauna. Berdasarkan pemaparan dampak yang diakibatkan oleh radiasi tersebut, maka perancangan fasilitas proteksi radiasi akan menolong manusia dan lingkungan agar terhindar dari akibat buruk yang ditimbulkan oleh radiasi.

Prinsip tolong menolong telah diperintahkan oleh Allah SWT yang terdapat dalam penggalan Q. S. al-Maidah (5) ayat 2 yang berbunyi:

وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ

إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ ﴿١٠٧﴾

Artinya: “Dan tolong-menolonglah kamu dalam mengerjakan kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam perbuatan dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah sangat berat siksaan-Nya”

Ayat tersebut menjelaskan bahwa tolong menolong dalam kebaikan dan ketakwaan adalah salah satu kewajiban umat Muslim. Artinya, seandainya kita harus menolong orang lain, maka harus dipastikan bahwa pertolongan itu menyangkut dengan ketakwaan. Dengan saling tolong menolong akan memudahkan pekerjaan, mempercepat terealisasinya kebaikan, menampilkan persatuan dan kesatuan (Shihab, 1996).

BATAN telah merancang *shielding* berbahan parafin sebagai proteksi radiasi neutron dan gamma agar lingkungan di luar tempat irradiasi tidak terpapar. Penelitian mengenai optimasi desain *paraffin shielding* telah dilakukan pada tahun 2017 oleh Afifah Hana Tsurayya dengan menggunakan simulator *Monte Carlo n-Particle I* (MCNP) untuk menghitung laju dosis radiasi setelah melewati *shielding*. Dalam penelitian tersebut diketahui parafin merupakan bahan yang paling baik dalam menurunkan laju dosis sehingga dipilih menjadi bahan utama *shielding*. Untuk menjaga struktur parafin, aluminium dipilih menjadi bahan yang digunakan sebagai pelindung karena memiliki karakteristik yang ringan, kuat dan tahan terhadap korosi (Mazzolani,

2012). Selain dikarenakan faktor karakteristik fisisnya, aluminium dipilih menjadi pelindung parafin sebab ketika berinteraksi dengan radiasi, maka reaksi antara neutron dengan aluminium akan menghasilkan radiasi sekunder akibat terjadinya hamburan inelastik (Tsurayya, 2017). Maka dari itu *shielding* akan ditambahkan lapisan tambahan berupa timbal dengan ketebalan tertentu untuk menurunkan laju radiasi gamma. Timbal memiliki nomor atom bernilai 82 dan densitas yang tinggi, yaitu $11,43 \text{ g/cm}^3$ sehingga efektif untuk menurunkan laju radiasi gamma (Zeb dkk, 2010).

Konstruksi *paraffin shielding* dibuat dalam bentuk balok dan akan disusun menumpuk. Proses las atau *welding* digunakan dalam proses pembuatan *shielding* untuk menyambung plat aluminium paduan AA 1100 setebal 3 mm yang digunakan untuk melindungi parafin. Pengelasan dilakukan menggunakan metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) yang merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) dengan *inert gas* sebagai pelindung dan *tungsten* atau *wolfram* sebagai elektroda (Wiryo Sumarto dkk, 2000). Hasil las pada sambungan aluminium *shielding* harus sempurna agar tidak menimbulkan kebocoran radiasi. Selain dapat menimbulkan kebocoran radiasi, kualitas las yang buruk juga dapat menyebabkan konstruksi *shielding* rusak dan parafin mengalami perubahan struktur. Untuk menghindari hal-hal tersebut terjadi, maka perlu dilakukan pengujian kualitas daerah lasan aluminium. Pengujian dilakukan untuk memastikan *paraffin shielding* memiliki

karakteristik dan sifat yang baik sehingga mampu meredam laju dosis radiasi hasil reaksi nuklir pada teknologi BNCT agar tidak membahayakan pekerja radiasi.

Dalam penelitian ini, aluminium yang telah melewati proses pengelasan untuk membuat sambungan balok parafin akan dilakukan uji mekanik dan pengamatan struktur mikro. Pengujian mekanik yang akan dilakukan merupakan uji kekerasan dengan metode Brinell pada daerah sambungan pada balok aluminium *paraffin shielding*. Pengujian mekanik daerah sambungan aluminium penting untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan sifat mekanik berupa kekerasan dapat menggambarkan bagaimana kerja bahan ketika diberikan beban, sehingga dapat diketahui besarnya beban yang dapat diterima hingga daerah sambungan aluminium mengalami defek atau kerusakan (Afif, 2014). Selain melakukan pengujian mekanik aluminium, struktur mikro pada aluminium juga perlu untuk dilakukan untuk mengetahui perubahan butir fasa yang terjadi pada aluminium setelah melalui proses pengelasan dan *heat treatment* berupa proses *annealing*.

Dalam melakukan pengujian daerah sambungan las aluminium, proses pengujian harus mengacu pada suatu standar pengujian bahan yang telah ditetapkan. Beberapa standar yang umum digunakan, yaitu ASTM (*American Standart Testing Materials*), DIN (*Deutch Industrial Normung*) JIS (*Japan Industrial Standart*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia), namun pada

penelitian ini standar yang digunakan adalah ASTM. Pada pengujian nilai kekerasan metode Brinell, standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E10 dan untuk pengujian struktur mikro adalah ASTM E407. Standar pengujian ASTM merupakan asosiasi standar pengujian internasional yang dibentuk di Amerika Serikat (Purnomo, 2020). Penggunaan standar ASTM dalam melakukan pengujian disebabkan ASTM merupakan standar yang paling umum diterapkan pada Laboratorium di Indonesia, selain itu standar ASTM juga mengatur atas berbagai jenis bahan pengujian sehingga lebih relevan untuk dijadikan standar pengujian daerah lasan aluminium AA 1100.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijabarkan pada latar belakang di atas maka diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai kekerasan pada daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*?
2. Bagaimana struktur mikro pada permukaan daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa nilai kekerasan pada daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*.

2. Menganalisa struktur mikro pada permukaan daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Jenis material yang digunakan berupa aluminium AA 1100 dengan ketebalan 3mm.
2. Pengujian yang dilakukan berupa uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.
3. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E10 untuk uji kekerasan dan ASTM E407 untuk pengamatan struktur mikro.
4. Suhu pengelasan dan pemanasan pada proses *annealing* dianggap konstan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Bagi keilmuan:
 - a. Memberikan informasi mengenai sifat-sifat mekanik daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*.
 - b. Memberikan informasi mengenai perubahan visual struktur mikro pada daerah sambungan las aluminium material *paraffin shielding*.

- c. Memberikan informasi mengenai beban/tumpukan balok maksimal *paraffin shielding* sehingga *shielding* tidak mengalami kerusakan yang berakibat bocornya radiasi.

2. Bagi Masyarakat

- a. Melengkapi penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan BNCT
- b. Menjadi referensi khususnya tentang *paraffin shielding* selanjutnya untuk penelitian lebih lanjut mengenai BNCT.
- c. Ketika nanti BNCT berhasil diaplikasikan di Indonesia, masyarakat khususnya yang mengidap penyakit kanker akan sangat terbantu dengan adanya metode pengobatan kanker yang efektif dan efisien dalam membunuh sel-sel kanker sehingga harapan hidup dapat meningkat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian kekerasan serta uji metalografi yang dilakukan pada daerah sambungan las aluminium AA 1100, menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daerah sambungan las aluminium AA 1100 yang diproses dengan metode pengelasan GTAW mengalami penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan *raw material*. Sebelum dilas atau *welded material*, aluminium memiliki nilai kekerasan sebesar 94,927 HBW dan menurun menjadi 90,235 HBW. *Welded material* memiliki nilai kekerasan yang ideal untuk teknologi *paraffin shielding* karena nilai kekerasan yang dimiliki mampu menahan massa balok *paraffin shielding* yang mencapai 40,521 kg.
2. Struktur mikro pada daerah sambungan las aluminium AA 1100 mengalami transformasi fasa menuju fasa α -Al yang memiliki struktur butir dendrit. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur mikro dari bahan tersebut memiliki kerapatan dislokasi yang baik jika dibandingkan dengan struktur mikro pada bahan yang melewati proses *annealing*. Fasa FeAl_3 juga teramati pada daerah las karena adanya interaksi difusi unsur Fe dengan Al.

5.2 Saran

Terdapat banyak kekurangan dalam penelitian yang dilakukan untuk menganalisa nilai kekerasan dan struktur mikro daerah sambungan las aluminium AA 1100, sehingga peneliti menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya agar menghasilkan data pengujian yang lebih variatif. Berikut saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya:

1. Bentuk spesimen pengelasan yang tidak rata menyebabkan terbatasnya pengujian mekanik yang dapat dilakukan, sehingga diperlukan spesimen dengan dimensi berbeda namun tetap dengan parameter pengelasan yang sama. Dengan begitu, ada banyak sifat mekanik aluminium yang dapat dianalisa.
2. Aluminium tergolong logam dengan tingkat kekerasan rendah, jika pada proses *polishing* permukaan kain poles tidak benar-benar halus maka sulit untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap dan bebas goresan. Untuk itu, diperlukan kain poles yang benar-benar halus agar bentuk permukaan spesimen bebas goresan seperti kertas beludru.
3. Perbanyak variasi proses *heat treatment* agar dapat diketahui pengaruh pemanasan terhadap nilai mekanis aluminium.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljufri. 2008. *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal Dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Dan Aluminium – Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG*. Tesis. Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Atabaki, M. M., Nikodinovski, M., Chenier, P., Ma J., Harooni, M., dan Kovacevic, R. 2014. Welding of Aluminum Alloys to Steels: An Overview, *Journal for Manufacturing Science and Production*, **Vol.14 No.02** : 59-78.
- Bancroft, J. D., & Gamble, M. 2008. *Theory and Practice of Histological Techniques*. Elsevier health sciences.
- Bapeten, P. 2013. Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir*.
- Bhavar, V., Kattire, p., Thakare, S., Mane, S., Patil, S., Pawar, V., dan Singh, R. 2017. Effect of different post weld heat treatments (PWHT) on Electron beam welded AISI 5137 steels. *Proceedings of the 29th ASM Heat Treating Society Conference*.
- Bin Miskon, M. I. F. 2017. *Kajian tentang besi dan manfaatnya bagi kehidupan manusia dalam perspektif sains dan qs. Al-Hadid/57: 25* (Disertasi), Jurusan Ilmu Qur'an dan Tafsir, Fakultas Ushuluddin dan Studi Islam, UIN-SU, Medan.
- Brama, Y. L., Sun, Y., Dangeti, S. R. K., & Mujahid, M. (2005). Response of sputtered titanium films on silicon to thermal oxidation. *Surface and coatings technology*, 195(2-3), 189-197.
- Davison, N. C., Austine, O., dan Ibrahim, A. O. 2018. Comparison of Mechanical Properties of Austempered, Normalized and As-Weld Carbon Steel Weldment. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, **Vol.04 No.10** : 744-748.
- Departemen Agama Republik Indonesia. (2010). *Al-Qur'an dan Tafsirnya*. Lentera Abadi: Jakarta.
- Fp, Angger Sudrajat., Sumarji., Darsin, M., Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium Aa 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW).
- Gandara, Maria Josefa Freiria. 2013. Aluminium: The Metal of Choice, *Mater Tehnol*, **Vol. 47 No.03** : 261–265.

- Horn, K. R. V. 1967. Aluminium: Properties, physical metallurgy and phase diagrams, *American Society for Metals*.
- Johan, A. (2009). Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Bahan Refraktori α -Al₂O₃ Pengaruh Penambahan TiO₂. *Jurnal Penelitian Sains*, **Vol.12 No.02**.
- Kumar, P., Kohle, K. P., Morey, S. J., dan Datta, C. K. 2011. Process parameters optimization of an aluminium alloy with pulsed gas tungsten arc welding (GTAW) using gas mixtures. *Materials Sciences and Applications*, **Vol.2 No.04** : 251-257.
- Kumar, V., Joshi, P., dan Dhakar, S. 2015. Analysis of the Effect of Sensitization on Austenitic Stainless Steel 304L Welded By GTAW Process. *HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR)*, **Vol.14** : 2321-1814.
- Lasa, L., & Rodriguez-Ibabe, J. M. (2004). Evolution of the main intermetallic phases in Al-Si-Cu-Mg casting alloys during solution treatment. *Journal of materials science*, 39(4), 1343-1355.
- Masoudi, S. F., Rasouli, F. S., & Ghasemi, M. 2017. BNCT of skin tumors using the high-energy DT neutrons. *Applied Radiation and Isotopes*, **Vol.122** : 158-163.
- Mazzolani, F. M. (2012). 3D aluminium structures. Thin-walled structures, **Vol.61** : 258-266.
- Mensah, W., Fletcher, J. J., dan Danso, K. A. 2012. Assessment of radiation shielding properties of polyester steel composite using MCNP5. *International Journal of Science and Technology*, **Vol.02 No.07** : 455-461.
- Mondolfo, L. F. (1971). Structure of the aluminium: magnesium: zinc alloys. *Metallurgical reviews*, 16(1), 95-124.
- Nanda, I. P. (2010). Pengaruh penambahan Fe dan Sr terhadap pembentukan fasa intermetalik dan nilai fluiditas metode vakum pada paduan Al-7% Si dan Al-11% Si. Skripsi. Universitas Indonesia, Depok.
- Ramadani, A. I. W. S., Haris, A., & Subaer, S. (2013). Pengaruh Penambahan γ -Al₂O₃ pada Homogenitas Matriks Geopolimer. *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, **Vol.9 No.3**, 105-110.

- Sauerwein, W.A.G., Moss, R. L. 2009. *Requirements for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor*. European Communities. Netherlands.
- Setiawan, H., Khairani, R., Rahman, M. A., Septawendar, R., Mukti, R. R., Dipojono, H. K., & Purwasasmita, B. S. (2017). Synthesis of zeolite and γ -alumina nanoparticles as ceramic membranes for desalination applications. *Journal of the Australian Ceramic Society*, **Vol.53 No.2**, 531-538.
- Shihab, M. Q. (1996). *Wawasan Al-Quran*. Bandung: Mizan.
- Starke Jr, E. A., & Staley, J. T. (1996). Application of modern aluminum alloys to aircraft. *Progress in aerospace sciences*, **Vol. 03 No. 02**: 131-172.
- Tokuyasu, T., Sauls, J. A., & Rainer, D. (1988). Proximity effect of a ferromagnetic insulator in contact with a superconductor. *Physical Review B*, 38(13), 8823.
- Topuz, Polat. 2019. Effect of PWHT on Mechanical Properties of High Temperature and Pressure Resistant Nuclear Power Plant Steel Welded with SMAW and GTAW Methods. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **Vol.07 No.03** : 436-441.
- Tsurayya, Afifah Hana. 2017. *Pemodelan Shielding Berbahan Parafin Dan Aluminium Untuk Fasilitas Bnct Menggunakan Simulator MCNP*. (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, FMIPA, UNY, Yogyakarta.
- Warfi, R., Harto, A. W., Sardjono, Y., & Widarto, W. 2016. Optimization of neutron collimator in the thermal column of Kartini research reactor for in vitro and in vivo trials facility of boron neutron capture therapy using MCNP-X Simulator. *Indonesian Journal of Physics and Nuclear Applications*, **Vol.01 No.01** : 54-62.
- Widarto, dan Sardjono, Y. 2006. Analisis Karakteristik Faktor Atenuasi Grafit, Parafin, dan Boral untuk Bahan Perisai Radiasi Neutron Termal. *Seminar Nasional II SDM Teknologi Nuklir*.
- Widharto, S. (2013). *Welding Inspection*. Mitra Wacana Media: Jakarta.
- Wirjosumarto, H., dan Okumura, T. 2000. *Teknik pengelasan logam*. Erlangga. Jakarta.

Zeb, J., Arshed, W., Rashid,A., dan Akhter, P. 2010. Gamma Shielding by Aluminum (Al-Shielder Manual), *Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology*.

