
ANALISIS CACAT *BLISTER* PADA KELONGSONG BAHAN BAKAR U_3Si_2/Al MENGGUNAKAN *ULTRASONIC TEST*

Muhammad Fauzi¹, Roziq Himawan², Helmi Fauzi Rahmatullah¹,
Setia Permana¹, Antonio Gogo¹

¹Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong Gd.20, Tangerang Selatan, Banten 15314

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir – BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong Gd.80, Tangerang Selatan, Banten 15314

email: muhfauzi@batan.go.id

(Naskah diterima: 09-09-2017, Naskah direvisi: 12-10-2017, Naskah Disetujui: 27-10-2017)

ABSTRAK

ANALISIS CACAT *BLISTER* PADA KELONGSONG BAHAN BAKAR U_3Si_2/Al MENGGUNAKAN *ULTRASONIC TEST*. Integritas bahan bakar adalah salah satu aspek keselamatan yang harus dipertimbangkan selama reaktor nuklir beroperasi. Terbentuknya cacat pada bahan bakar setelah digunakan di dalam reaktor tidak diinginkan, karena dapat mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji pasca iradiasi untuk menjamin integritas bahan bakar. Uji tak merusak menggunakan *ultrasonic test* adalah salah satu metode alternatif untuk melakukan uji pasca iradiasi. Analisis ini bertujuan untuk mendeteksi adanya cacat *blister* pada kelongsong bahan bakar nuklir tipe pelat. Pada uji pasca iradiasi menggunakan *ultrasonic test* perlu ditentukan parameter operasi agar diperoleh hasil yang akurat. Penentuan optimasi parameter *ultrasonic test* dilakukan terhadap kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al yang terdapat cacat *blister*. Pengujian dilakukan menggunakan dua teknik, yaitu teknik *pulse-echo* dan *through transmission*. Dari hasil pengujian diperoleh *display A-scan* berupa sebuah sinyal yang menunjukkan adanya cacat atau tidak. Tingginya sinyal tersebut kemudian dievaluasi sehingga diperoleh parameter optimal untuk penentuan adanya cacat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa cepat rambat gelombang longitudinal di medium air diperoleh sebesar 1545 m/s. Jarak optimal antara *probe* terhadap benda uji dengan teknik *pulse-echo* adalah 20 mm. Jarak optimal antar kedua *probe* dengan teknik *through transmission* adalah 40 mm. Pengujian pada bagian *blister* dengan teknik *pulse-echo* terjadi penurunan sinyal luaran sebesar 19 %FSH, sedangkan dengan teknik *through transmission* terjadi penurunan sinyal luaran sebesar 80 %FSH. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa metode *ultrasonic test* dapat mendeteksi adanya *blister* pada pelat elemen bakar secara efektif. Dari kedua teknik yang digunakan untuk mendeteksi adanya cacat di dalam kelongsong bahan bakar diperoleh hasil bahwa teknik *through transmission* menunjukkan perbedaan sinyal luaran yang lebih jelas antara bagian normal dengan bagian *blister* pada kelongsong bahan bakar dibandingkan teknik *pulse-echo*. Parameter optimal dan teknik *through transmission* yang diperoleh selanjutnya akan digunakan untuk menentukan cacat pada pelat elemen bakar pasca iradiasi.

Kata kunci: *ultrasonic test*, kelongsong $AlMg_2$, *blister*, *pulse-echo*, *through transmission*.

ABSTRACT

BLISTER DEFECT ANALYSIS OF U_3Si_2/Al FUEL CLADDING BY ULTRASONIC TEST. Fuel integrity is one of safety considerations during nuclear reactor operation. Any defect resulted after reactor operation should be avoided. Thus, in nuclear fuel development, post-irradiation examination is necessary to be performed to ensure fuel integrity. Non-destructive test using ultrasonic method is one of alternative methods to perform post-irradiation examination. The objective of this analysis is to detect blister defect in cladding of plate type nuclear fuel. In post irradiation examination (PIE) using ultrasonic method, the operation parameters are necessary to determine. In this experiment, this analysis method was conducted on U_3Si_2/Al fuel element cladding consisting blister defect. Ultrasonic tests were done using two techniques, i. e. pulse-echo and through transmission techniques. The results were presented in A-scan display. The results show that the longitudinal wave speed in water used in the testing is 1545 m/s. The optimal distance between the probe and the specimen when using pulse-echo technique is 20 mm. The optimal distance between the two probes when using through transmission technique is 40 mm. Tests at blister area using pulse-echo technique caused output signal to decrease by 19 %FSH, while through transmission technique caused output signal to decrease by 80 %FSH. According to the results it can be concluded that ultrasonic test is effective to detect a blister defect in plate type nuclear fuel, and through transmission technique exhibited a clearer difference between normal area and blister area in fuel cladding when compared to pulse-echo technique.

Keywords: ultrasonic test, U_3Si_2/Al fuel cladding, blister, pulse-echo, through transmission

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi merupakan fasilitas yang berperan dalam kegiatan *Post-Irradiation Examination* (PIE). Kegiatan PIE diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja bahan bakar yang telah mengalami iradiasi dalam reaktor nuklir[1]. Elemen bakar nuklir diiradiasi di dalam reaktor dengan fluks neutron 10^{14} n/cm²s, sebagai akibatnya akan terjadi perubahan komposisi unsur dan sifat-sifat kimia di dalam bahan bakar dan material pelapis bahan bakar (kelongsong). Tingkat perubahan ini tergantung dengan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar dalam mengoperasikan reaktor nuklir[2]. Perubahan komposisi unsur dan sifat-sifat kimia di dalam bahan bakar dan bahan kelongsong akan menyebabkan perubahan sifat fisis, antara lain penurunan daya hantar panas dan perubahan mikrostruktur serta densitas bahan bakar[3]. Hal ini akan menyebabkan penurunan unjuk kerja bahan bakar. Data pengujian yang diperoleh dari kegiatan PIE digunakan oleh fabrikator bahan bakar dan operator reaktor dalam rangka perbaikan dan peningkatan design bahan bakar dari segi keselamatan dan ekonomi bahan bakar. Selain itu, data kegiatan PIE digunakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai penilaian keselamatan dan keberlanjutan perizinan pengoperasian instalasi nuklir[4].

Salah satu kegiatan PIE di Instalasi Radiometalurgi (IRM) – Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) adalah melakukan uji tak merusak (*Non-Destructive Test/NDT*) terhadap bahan bakar tipe pelat (pelat elemen bakar U_3Si_2/Al). Dalam bidang NDT, X-ray radiografi dan *ultrasonic test* (UT) merupakan teknik uji tak merusak yang paling sering digunakan untuk mengetahui cacat internal pada benda uji[5]. Uji tak merusak pada pelat elemen bakar pasca iradiasi menggunakan UT dalam kegiatan PIE di IRM bertujuan untuk mendeteksi

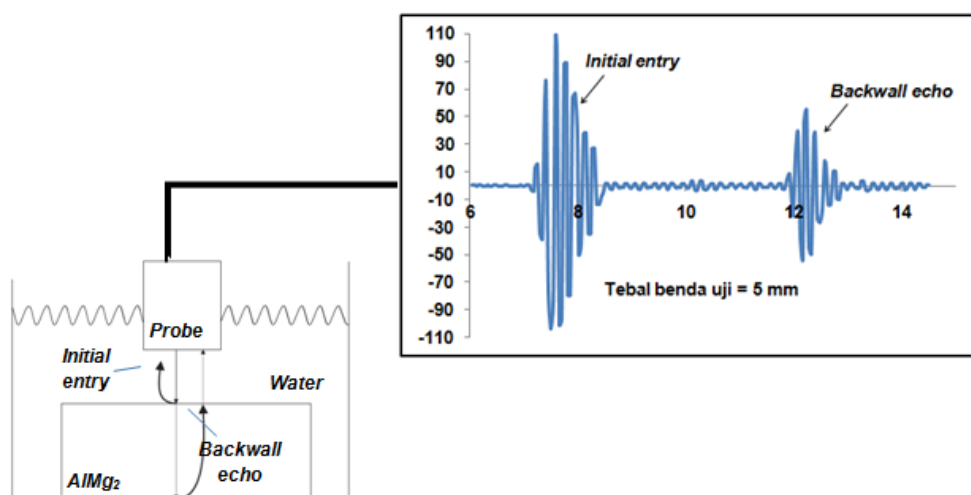
adanya anomali atau cacat. Pengaruh iradiasi pada pelat elemen bakar dapat menimbulkan terjadinya fenomena *swelling* (pembengkakan)[6] dan terbentuknya *blister* (lepuhan)[7] pada permukaan pelat elemen bakar. Uji tak merusak dilakukan di dalam *hot cell* IRM, sebelum alat UT dipasang di dalam *hot cell*, perlu dilakukan optimasi parameter pengoperasian yang tepat agar alat pengujian tersebut nantinya dapat dengan mudah dioperasikan oleh operator dari *operating area* menggunakan tangan manipulator serta mampu memperoleh data hasil pengujian yang akurat.

Pada saat ini, metode yang sering digunakan oleh beberapa negara dalam kegiatan PIE khususnya dalam bidang NDT antara lain metode visual, pengukuran dimensi, *gamma scanning*, X-ray radiografi dan *eddy current test*[8], seperti PIEF (*Post-Irradiation Examination Facility*) di Korea Selatan, RIAR (*Research Institute of Atomic Reactors-Russia*), dan INL (*Idaho National Laboratory*)-USA[9]. Fasilitas nuklir untuk analisis PIE di Perancis saat ini sedang dan telah mengembangkan sistem pengujian tak merusak menggunakan *ultrasonic test* untuk kegiatan PIE. *Institute of Electronic and Systems* bekerja sama dengan *Alternative Energies and Atomic Energy Commission* (CEA) Perancis sedang mengembangkan berupa sistem pengujian berbasis *ultrasonic test* untuk mengamati perilaku antarmuka pelet-kelongsong bahan bakar PWR (*Power Water Reactor*) tipe *rod* pasca iradiasi [10]. Sementara itu, fasilitas LECA-STAR di Perancis telah berhasil melakukan uji tak merusak berbasis *ultrasonic test* pada bahan bakar LWR (*Light Water Reactor*) tipe *rod* pasca iradiasi untuk mengetahui analisis komposisi dan kandungan gas fisi[11].

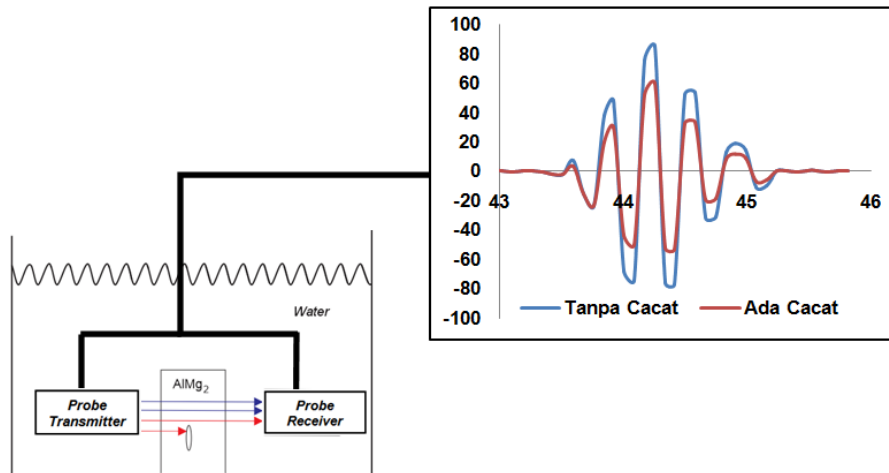
Dalam usaha untuk melakukan kegiatan PIE khususnya uji tak merusak, maka pada kegiatan ini dipersiapkan langkah langkah untuk pengoperasian alat UT di dalam *hot cell*. Langkah awal yang dilakukan adalah penentuan parameter operasi dan analisis cacat pada pelat

elemen bakar pra iradiasi di luar *hot cell*. Pengujian dan analisis cacat dilakukan dengan metode uji tak merusak menggunakan UT pada kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al menggunakan *Ultrasonic Flaw Detector* tipe *A-scan* dengan teknik pengujian *water immersion*. Teknik *water immersion* merupakan salah satu teknik pengujian pada UT, dimana benda uji dan *probe* dimasukkan ke dalam air pada saat pengujian. Teknik *water immersion* dipilih karena pelat elemen bakar pasca iradiasi memiliki tingkat paparan radiasi yang sangat tinggi, sehingga *probe* tidak boleh kontak langsung dengan benda uji. Pada penelitian ini digunakan dua jenis teknik pengujian, yaitu teknik *pulse-echo* dan teknik *through transmission*. Teknik pengujian *pulse-echo* menggunakan satu unit *probe*, dimana *probe* tersebut dapat berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver*. Prinsip kerja dari teknik ini adalah *probe* memancarkan gelombang ultrasonik dan merambat melalui medium air hingga menyentuh permukaan atas benda uji. Ketika gelombang menyentuh permukaan atas benda uji maka akan muncul sinyal pertama yang disebut dengan *initial entry*, yang merupakan gelombang

pantul dari permukaan benda uji. Gelombang merambat masuk ke dalam benda uji hingga menyentuh dasar benda uji, sehingga muncul sinyal kedua yang disebut *backwall echo*. Apabila terdapat cacat pada benda uji maka akan muncul sinyal diantara *initial entry* dan *backwall echo* yang disebut dengan *flaw echo*[12]. Teknik pengujian *through transmission* menggunakan dua unit *probe*, dimana satu *probe* berfungsi sebagai *transmitter* dan satu *probe* lainnya berfungsi sebagai *receiver*. Prinsip kerja dari teknik ini adalah *probe transmitter* memancarkan gelombang ultrasonik dan merambat melalui medium air, ketika menemui benda uji yang berbeda jenis material, gelombang tersebut ditransmisikan hingga keluar dari benda uji dan diteruskan menuju *probe receiver*. Gelombang yang diterima *probe receiver*, selanjutnya ditampilkan pada *display A-scan* berupa sebuah sinyal. Apabila terdapat cacat pada benda uji maka akan terjadi penurunan sinyal pada *display*. Mekanisme pengolahan sinyal gelombang ultrasonik teknik *pulse-echo* dan *through transmission* ditampilkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Mekanisme pengolahan sinyal gelombang ultrasonik dengan teknik *pulse-echo*.



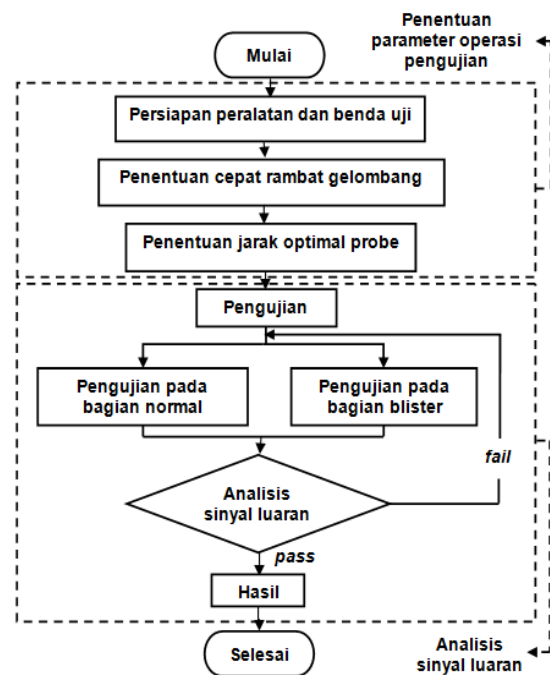
Gambar 2. Mekanisme pengolahan sinyal gelombang ultrasonik dengan teknik *through transmission*

Lingkup penelitian ini terdiri dari dua tahap kegiatan, yaitu penentuan parameter operasi pengujian dan analisis sinyal luaran pengujian[13]. Penentuan parameter operasi pengujian dimaksudkan untuk memperoleh parameter operasi yang akan digunakan selama proses pengujian dilakukan. Parameter operasi tersebut nantinya juga akan digunakan sebagai parameter operasi untuk pengujian di dalam *hot cell*. Tahap analisis sinyal luaran dimaksudkan untuk menentukan jenis teknik pengujian yang akan memberikan kemudahan bagi operator dalam menginterpretasikan data hasil pengujian, yaitu menentukan ada tidaknya cacat *blister* pada kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al .

METODOLOGI

Secara umum skema tahapan kegiatan penentuan cacat pada bahan bakar seperti ditunjukkan seperti Gambar 3. Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel kelongsong bahan bakar yang berupa paduan AIMg₂ (material pembentuk kelongsong pelat elemen bakar U_3Si_2/Al)[14] dengan ketebalan 1,3 mm yang mengandung cacat berupa *blister* pada permukaan benda uji. Jenis *probe* yang digunakan adalah *probe immersion* dengan fokus berbentuk lingkaran dengan diameter

3 mm; frekuensi 5 MHz; dan diameter *probe* 5,5 mm. Jarak fokus dari *probe* ke benda uji adalah 19,5 mm. Jenis penayangan sinyal gelombang ultrasonik yang digunakan adalah tipe *A-scan*. Alat yang digunakan adalah *Ultrasonic Flaw Detector Sonoscreen ST10* dengan spesifikasi sebagai berikut, *gain* 38 dB; *voltage* 200 V; *pulse width* 90 ns; PRF 2 kHz. Pengujian menggunakan jenis gelombang longitudinal.



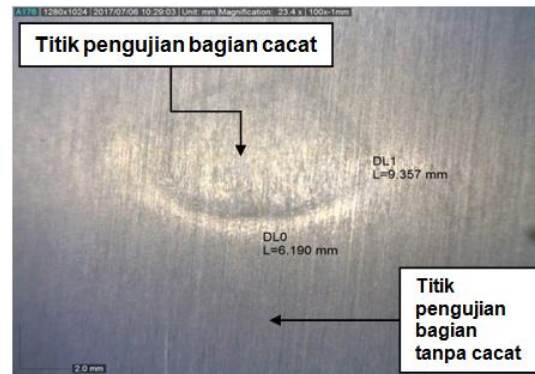
Gambar 3. Skema tahapan penelitian

Penentuan cepat rambat gelombang dilakukan untuk menentukan cepat rambat gelombang dalam medium air yang akan digunakan selama pengujian, baik dengan teknik *pulse-echo* maupun teknik *through transmission*. Penentuan cepat rambat gelombang dilakukan dengan cara menguji sampel pada bagian tanpa cacat, dimana jarak antara *probe* terhadap benda uji diatur pada jarak 20 mm. Sinyal pantul pertama hasil pengujian ditetapkan berjarak 20 mm dari *initial pulse*. Hasil penetapan jarak tersebut menghasilkan nilai sesungguhnya dari cepat rambat gelombang dalam medium air tersebut. Penentuan jarak optimal *probe* pada teknik *pulse-echo* dilakukan dengan cara mengatur jarak antara *probe* terhadap benda uji dari 6 – 32 mm, dengan variasi jarak 2 mm. Jarak optimal diperoleh ketika sinyal pantul mencapai tinggi maksimum. Penentuan jarak optimal *probe* pada teknik *through transmission* dilakukan dengan cara mengatur jarak antar kedua *probe* dari 36 mm hingga 42 mm dengan variasi jarak sebesar 1 mm. Jarak optimal diperoleh ketika sinyal transmisi yang diterima *probe receiver* mencapai tinggi yang maksimum. Tinggi dan besarnya amplitudo sinyal luaran yang dihasilkan dari hasil pengolahan gelombang ultrasonik direpresentasikan oleh ketinggian sinyal luaran pada *display A-scan* dalam satuan *%full screen height (FSH)*. Semakin besar nilai *%FSH* maka energi gelombang ultrasonik yang diterima oleh *probe receiver* juga semakin besar. Setelah diperoleh jarak optimal dari masing-masing teknik tersebut, selanjutnya dilakukan pengujian pada benda uji dengan cara *scanning* dari bagian tanpa cacat menuju bagian yang terdapat cacat. Hal ini didukung oleh analisis metalografi pada kelongsong AlMg2 untuk memverifikasi adanya cacat *blister* pada sampel kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang menunjukkan adanya cacat dan tanpa cacat pada kelongsong

pelat elemen bakar U_3Si_2/Al ditunjukkan pada Gambar 4.

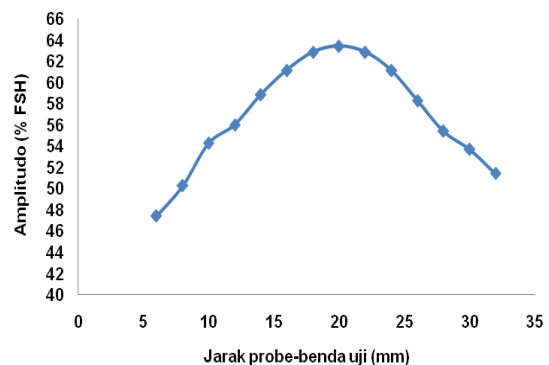


Gambar 4. Tampak atas *blister* pada sampel benda uji

a) Penentuan cacat dengan teknik *pulse-echo*

Hasil penentuan cepat rambat gelombang diperoleh bahwa cepat rambat gelombang optimal dalam medium air yang digunakan sebesar 1545 m/s. Cepat rambat gelombang sebesar 1545 m/s selanjutnya digunakan untuk parameter penentuan jarak optimal pengujian cacat pada kelongsong bahan bakar.

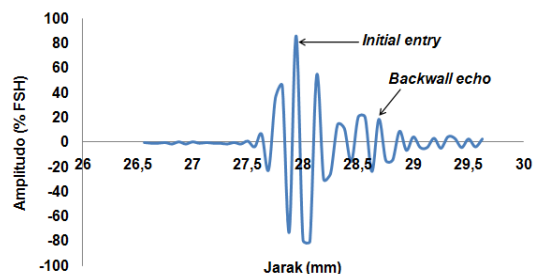
Penentuan jarak optimal *probe* dilakukan untuk menentukan jarak antara *probe* terhadap benda uji yang dapat menghasilkan ketinggian sinyal luaran yang maksimal. Hasil penentuan jarak optimal *probe* dengan teknik *pulse-echo* ditampilkan pada Gambar 5.



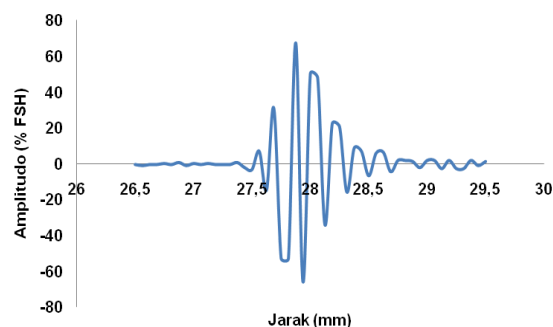
Gambar 5. Hubungan jarak *probe*-benda uji terhadap amplitudo dengan teknik *pulse-echo*

Dari Gambar 5 diketahui bahwa jarak yang relatif baik antara *probe* terhadap benda uji diperoleh pada 20 mm. Semakin besar jarak *probe* terhadap benda uji, menyebabkan sinyal luaran menjadi semakin besar hingga jarak pada 20 mm yaitu mencapai 63 %FSH, tetapi setelah lebih besar dari 20 mm, diperoleh jarak *probe* terhadap benda uji semakin besar dan sinyal luaran yang dihasilkan semakin kecil. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jarak yang relatif baik *probe* terhadap benda uji yang dapat menghasilkan pembentukan sinyal tertinggi dan mudah untuk melakukan interpretasi sinyal berada pada jarak 20 mm.

Jarak antara *probe* terhadap benda uji yang optimal pada 20 mm, selanjutnya digunakan untuk pengujian cacat pada kelongsong bahan bakar pada bagian normal (tanpa *blister*) dan pada bagian cacat (terdapat *blister*). Hasil pengujian cacat pada kelongsong bahan bakar tersebut diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Sinyal luaran pengujian sampel kelongsong pada bagian normal dengan teknik *pulse-echo*.



Gambar 7. Sinyal luaran pengujian sampel kelongsong pada bagian *blister* dengan teknik *pulse-echo*

Dari Gambar 6 diketahui sinyal luaran pengujian sampel kelongsong pada bagian normal terlihat bahwa letak antara *initial entry* dan *backwall echo* saling berhimpitan. Hal ini disebabkan karena ketebalan sampel uji (kelongsong AlMg2) sangat tipis yaitu 1,3 mm, sehingga setelah terjadi pembentukan *initial entry* akibat pantulan dari permukaan benda uji, secara langsung diikuti pembentukan *backwall echo* akibat pantulan dari dasar benda uji. Ketinggian sinyal yang maksimum dihasilkan mencapai 86 %FSH. Sementara itu, pada Gambar 7 menunjukkan bahwa sinyal luaran yang dihasilkan pada bagian *blister* terlihat sulit untuk dibedakan antara *initial entry* dan *backwall echo*. Hal ini disebabkan adanya cacat *blister* menyebabkan sebagian besar gelombang ultrasonik memantul kembali menuju *probe* lebih cepat dibandingkan saat pengujian bagian normal dan sebagian gelombang lainnya diteruskan. Akibatnya terjadi interferensi atau superposisi gelombang antara *initial entry*, pantulan dari *blister* dan *backwall echo*[15]. Fenomena ini mengakibatkan terjadinya penurunan sinyal luaran yaitu maksimum ketinggian sinyal menjadi 67 %FSH. Penurunan sinyal ini terjadi disebabkan ketika gelombang ultrasonik merambat pada antarmuka pada dua jenis material yang memiliki perbedaan impedansi akustik, maka sebagian dari energi gelombang dipantulkan dari permukaan antarmuka tersebut dan sebagian energi lainnya ditransmisikan ke dalam material kedua[12,16]. Besarnya gelombang ultrasonik yang dipantulkan tersebut disebut dengan koefisien refleksi (R), sedangkan besarnya gelombang ultrasonik yang dapat ditransmisikan ke dalam material lain disebut koefisien transmisi (T). Melalui persamaan (1) dan (2) besarnya koefisien refleksi dari kelongsong AlMg2 terhadap *blister* (udara) adalah 99,99 %, sedangkan koefisien transmisi antar kedua material tersebut adalah 0,01 %. Kandungan *blister* adalah udara mengakibatkan hampir seluruh energi

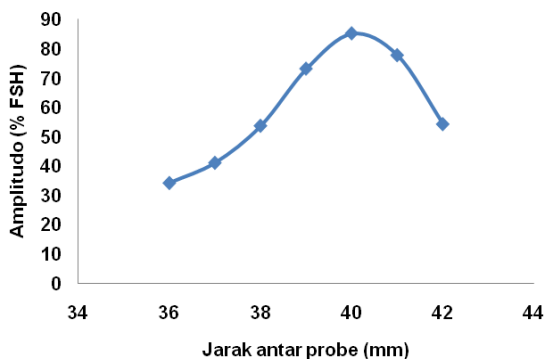
gelombang dipantulkan menuju *probe* atau dengan kata lain *backwall echo* tidak lagi berasal dari dasar benda uji melainkan berasal dari permukaan *blister*.

$$R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (1)$$

$$T = 1 - R \quad (2)$$

b) Penentuan cacat dengan teknik *through transmission*

Penentuan jarak optimal *probe* dilakukan pada cepat rambat gelombang dalam medium air sebesar 1545 m/s dengan menentukan jarak antar kedua *probe* pada saat pengujian yang dapat menghasilkan ketinggian sinyal luaran yang maksimal. Hasil penentuan jarak optimal *probe* dengan teknik *through transmission* dapat dilihat pada Gambar 8.

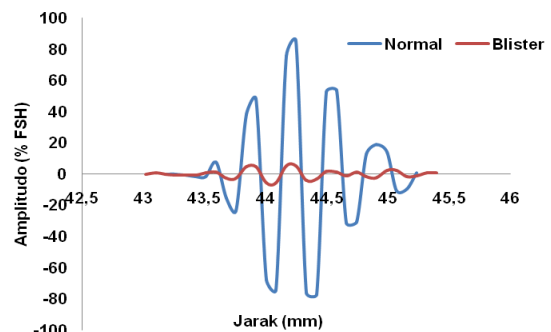


Gambar 8. Hubungan jarak antar *probe* terhadap amplitudo dengan teknik *through transmission*

Gambar 8 menunjukkan bahwa ketika jarak antar kedua *probe* sebesar 36 mm, maka pembentukan sinyal maksimal mencapai sekitar 34 %FSH, namun ketika jarak antar kedua *probe* diperbesar hingga jarak 40 mm terjadi pembentukan sinyal semakin besar hingga sinyal maksimum mencapai 85 %FSH. Bila jarak antar kedua *probe* diperbesar lagi menjadi 41 dan 42 mm, maka terjadi penurunan pembentukan sinyal. Pada jarak sebesar 41 dan 42 mm diperoleh pembentukan sinyal masing-masing maksimum sebesar 77 %FSH dan 54 %FSH. Dari hasil analisis ini menunjukkan bahwa jarak optimal antar

kedua *probe* yang dapat menghasilkan pembentukan sinyal tertinggi berada pada jarak 40 mm.

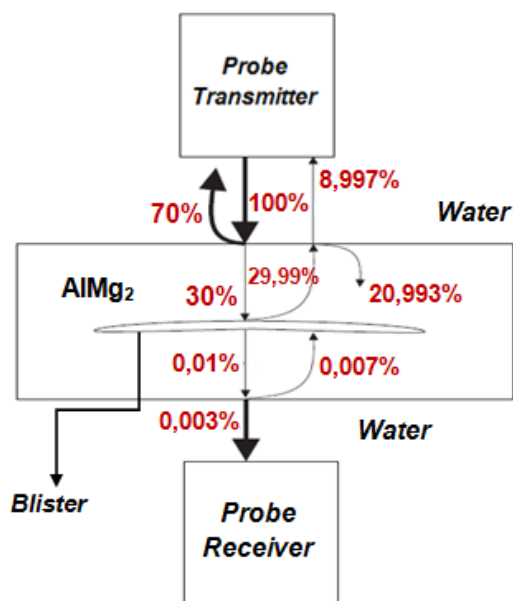
Besarnya jarak optimal antar kedua *probe*, selanjutnya digunakan sebagai parameter untuk pengujian cacat kelongsong bahan bakar pada bagian normal (tanpa *blister*) dan pada bagian cacat (terdapat *blister*). Hasil pengujian adanya cacat pada kelongsong bahan bakar diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sinyal luaran pengujian sampel kelongsong dengan teknik *through transmission*.

Berbeda dengan teknik *pulse-echo*, sinyal luaran pengujian sampel kelongsong AlMg2 dengan teknik *through transmission* hanya menghasilkan satu sinyal yang merupakan representasi besarnya energi gelombang ultrasonik yang diterima oleh *probe receiver* setelah melewati suatu material. Dari Gambar 9 terlihat bahwa ada perbedaan yang signifikan antara sinyal luaran yang dihasilkan pada bagian normal dengan bagian *blister*. Pada saat *probe* melakukan *scanning* pada bagian normal dihasilkan maksimum sinyal hingga 85 %FSH, dan ketika *probe* melakukan *scanning* pada bagian *blister* terjadi penurunan sinyal yang cukup signifikan, ketinggian maksimum sinyal hanya mencapai 5 %FSH. Hal tersebut disebabkan karena ketika proses *scanning* pada bagian normal, seluruh gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh *probe transmitter* dapat ditransmisikan melalui benda uji dan selanjutnya diterima oleh *probe receiver*,

sedangkan ketika proses *scanning* pada bagian *blister* gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh *probe transmitter*, sebagian besar gelombang dipantulkan kembali menuju *probe transmitter*. Hal ini menyebabkan hanya sebagian kecil gelombang ultrasonik yang dapat ditransmisikan melalui sampel uji dan diterima oleh *probe receiver*. Gelombang ultrasonik dapat dipantulkan balik oleh *blister* karena kandungan dalam *blister* tersebut merupakan udara dimana koefisien refleksi kelongsong AlMg2 terhadap udara adalah 99,99 %. Skema presentase refleksifitas dan transmisi pengujian bagian *blister* dengan teknik *through transmission* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema refleksifitas dan transmisi pengujian bagian *blister*

Koefisien refleksi dan transmisi dipengaruhi oleh impedansi akustik masing-masing material. Impedansi akustik adalah kemampuan suatu sampel uji atau material untuk menghantarkan gelombang suara. Melalui persamaan (3) dapat dihitung besarnya impedansi akustik kedua material tersebut yaitu impedansi akustik AlMg2 sekitar $1,72 \times 10^6$ g/cm²s, sedangkan

besaran impedansi akustik udara sekitar $0,000033 \times 10^6$ g/cm²s. Impedansi akustik (Z) adalah hasil kali antara densitas material (ρ) dan cepat rambat gelombang dalam material (v) [17].

$$Z = \rho v \quad (3)$$

Berdasarkan fenomena yang terjadi pada persamaan (3), maka ketika gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh *probe* mengenai *blister* hanya sebagian kecil gelombang yang dapat ditransmisikan masuk ke dalam sampel uji dan diterima oleh *probe receiver*.

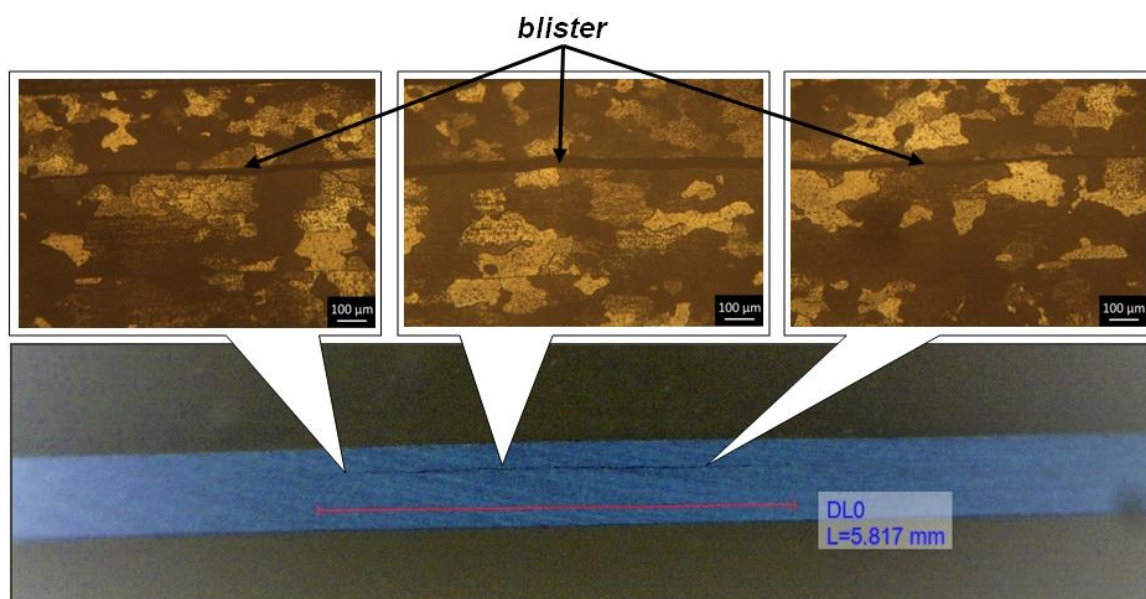
Pengujian cacat pada kelongsong bahan bakar dengan kedua teknik di atas dapat dibedakan dengan jelas antara sinyal luaran yang dihasilkan melalui teknik *pulse-echo* dan teknik *through transmission*. Sinyal luaran yang dihasilkan dengan teknik *through transmission* lebih mudah untuk diinterpretasikan dibandingkan sinyal luaran yang dihasilkan dengan teknik *pulse-echo* dalam melakukan deteksi adanya *blister*. Pada teknik *through transmission* terjadi penurunan sinyal yang signifikan ketika pengujian pada bagian *blister*, yaitu sebesar 80 %FSH, sedangkan menggunakan teknik *pulse-echo* hanya terjadi penurunan sinyal 19 %FSH. Selain itu, pada teknik *pulse-echo* mempunyai kesulitan dalam melakukan identifikasi jenis sinyal luaran hasil pengujian yaitu *initial entry* dan *backwall echo*. Hal ini disebabkan karena sampel uji (kelongsong AlMg2) yang sangat tipis, terutama jika terdapat *blister* di dalamnya. Bagi operator di *hot cell*, pengujian dengan teknik *through transmission* dinilai lebih mudah untuk menginterpretasikan sinyal luaran ketika melakukan pengujian kelongsong pelat elemen bakar di dalam *hot cell*, terutama untuk mendeteksi adanya cacat pada bahan bakar tersebut.

Hasil penelitian ini didukung oleh peneliti Wrobel dan Pawlak yang menggunakan teknik pengujian *pulse-echo* dan *through transmission* untuk mengetahui

adanya cacat pada bahan bakar nuklir[18]. Hasil dan kesimpulan yang diperoleh relatif sama yang menyatakan bahwa proses interpretasi sinyal luaran dari teknik pengujian *through transmission* lebih mudah dan cepat dilakukan dibandingkan *pulse-echo*. Hal ini disebabkan karena identifikasi jenis sinyal luaran yang dihasilkan dari proses pengujian dengan teknik *pulse-echo* mempunyai tingkat kesulitan, sehingga pengujian adanya cacat pada kelongsong bahan bakar menggunakan teknik *through transmission* lebih direkomendasikan, karena mampu menghasilkan sinyal luaran yang lebih mudah dan cepat untuk diinterpretasikan[18]. Begitu juga dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Idaho National Laboratory (IDL) yang melakukan pengujian untuk mendeteksi adanya anomali

dan rongga ataupun *blister* pada pelat elemen bakar menggunakan teknik *through transmission*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terlihat perubahan sinyal yang sangat jelas ketika terdeteksi adanya *blister* pada pelat elemen bakar, sedangkan teknik *pulse-echo* hanya digunakan oleh IDL untuk menentukan ketebalan kelongsong bahan bakar[6].

Dalam usaha untuk memverifikasi adanya cacat *blister* di dalam sampel uji kelongsong bahan bakar dengan metode uji tak merusak (*Non-Destructive Test*), pada penelitian ini dilakukan juga analisis metalografi (*Destructive Test*) pada sampel yang sama. Hasil analisis metalografi tersebut ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Mikrostruktur penampang melintang sampel kelongsong bahan bakar

Gambar 11 menunjukkan bahwa analisis mikrostruktur kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al yang terdapat *blister* di dalamnya. Cacat *blister* ditunjukkan berupa rongga yang di dalamnya terdapat udara yang terperangkap. Pembentukan *blister* terdapat pada antarmuka lapisan atas dan tengah dari kelongsong $AlMg_2$. Fenomena *blister* ini terjadi kemungkinan pada saat

pembuatan pelat elemen bakar, inti elemen bakar (lapisan tengah) dimasukkan ke dalam pelat bingkai di atas pelat tutup (kelongsong bawah) dan pelat tutup kedua (kelongsong atas) ditangkupkan membentuk komposit tiga lapis. Komposit tersebut kemudian dilas, dipanaskan dan dirol. Terbentuknya *blister* dapat terjadi pada saat pelat elemen bakar hasil rol, karena adanya

kegagalan ikatan antara bahan kelongsong dengan inti elemen bakar akibat adanya udara yang terperangkap. Salah satu cara untuk mencegah terbentuknya blister pada pelat elemen bakar adalah pada saat pengerolan panas tahap pertama harus dilakukan reduksi ketebalan yang cukup besar, agar terbentuk ikatan yang baik antara kelongsong AlMg2 dengan inti elemen bakar, tidak bergeser dan tidak ada udara yang terperangkap di dalam zona bahan bakar[19].

SIMPULAN

Uji tak merusak menggunakan *ultrasonic test* dapat mendeteksi adanya cacat *blister* pada kelongsong bahan bakar U_3Si_2/Al telah berhasil dilakukan. Parameter optimal yang diperoleh untuk melakukan pengujian adanya cacat antara lain cepat rambat gelombang, jarak optimal *probe* dan teknik pengujian. Cepat rambat gelombang di medium air diperoleh optimal sebesar 1545 m/s, jarak optimal antara *probe* terhadap benda uji dengan teknik *pulse-echo* adalah 20 mm dan jarak optimal antar kedua *probedengan* teknik *through transmission* adalah 40 mm. Pengujian *blister* pada kelongsong AlMg2 dengan teknik *through transmission* terjadi penurunan sinyal luaran sebesar 80 % FSH, sedangkan pada teknik *pulse-echo* hanya terjadi penurunan sinyal 19 %. Interpretasi sinyal untuk mendeteksi adanya cacat *blister* pada kelongsong bahan bakar dengan teknik *through transmission* lebih mudah dilakukan dibandingkan dengan teknik *pulse-echo*. Parameter optimal yang diperoleh dengan teknik *through transmission* selanjutnya digunakan untuk menentukan ketebalan dan cacat pada pelat elemen bakar pasca iradiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Aslina Br.Ginting sebagai

penanggung jawab dan pengelola kegiatan “Pengujian Pra Dan Pasca Iradiasi Bahan Bakar Reaktor Riset” yang dibiayai oleh DIPA 2017. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Suhardyo dan Purwanta yang telah membantu dalam persiapan peralatan penelitian, kepada Maman Kartaman, M.T, Ely Nurlaily, A.Md dan Anditania Sari, A.Md yang telah membantu dalam kegiatan metalografi benda uji, serta kepada Kepala Bidang Pengembangan Fasilitas Keselamatan Reaktor-PTKRN yang telah mengizinkan penggunaan peralatan NDT di Laboratorium NDT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Nampira, S. Ismarwanti, A. Sufmawan, dan K. Mustofa, Pemanfaatan gamma spektrometri untuk pengamatan distribusi pembelahan dalam pelat elemen bakar nuklir, *Urania*, vol. 20, no. 2, hal. 84–91, 2014.
- [2] Y. Nampira dan S. Ismarwanti, “Uji tidak merusak bahan bakar U_3Si_2/Al tingkat muat uranium 4,8 gU/cm³ pasca iradiasi fraksi bakar 20% Dan 40%,” *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 10, no. 2, hal. 53–63, 2014.
- [3] S. Van, C. Detavernier, A. Leenaers, dan L. Sannen, “From high enriched to low enriched uranium fuel in research reactors,” *Advance in Science and Technology*, vol. 73, hal. 78–90, 2010.
- [4] V. Kumar, *Nuclear Fuel Cycle*. Mumbai: Bhabha Atomic Research Centre, 2007.
- [5] M. Willcox dan G. Downes, “A brief description of NDT techniques,” Bedford, Insight NDT, 2003, hal. 21.
- [6] N. E. Woolstenhulme, S. C. Taylor, G. A. Moore, dan D. M. Sterbentz, “Non-Destructive examination of Fuel plates for the RERTR fuel development experiments,” Idaho

- Falls, Idaho National Laboratory, 2012.
- [7] S. J. Miller dan H. Ozaltun, "Evaluation of $U_{10}Mo$ fuel plate irradiation behavior via numerical and experimental Benchmarking," dipresentasikan pada *ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Texas, November 2012.
- [8] A. Alghem, M. Kadouma, dan R. Benaddad, "NDT as a tool , for post-irradiation examination," dipresentasikan pada *17th World Conference on non destructive Testing*, Shanghai, Oktober 2008, International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT), hal. 25–28.
- [9] T.V. Li, K. Coleman, dan R. Adamson, *Hot Cell Post-Irradiation Examination*, vol. II, Mölnlycke: *Advanced Nuclear Technology International*, 2016.
- [10] H. Saikouk, D. Laux, B. Lacroix, E. Federici, E. Le Clézio, dan G. Despau, "High frequency acoustic microscopy imaging of pellet/cladding interface in nuclear fuel rods," dipresentasikan pada *HOTLAB conference*, Karlsruhe, Oktober 2016, SCK-CEN, hal. 1–6.
- [11] J. Y. Ferrandis, E. Rosenkrantz, dan G. Lévêque, "Acoustic sensors devoted to non-destructive fission gas characterization of LWR nuclear rod in hot lab facilities," dipresentasikan pada *Hotlab Conference*, Leuven, September 2015, SCK-CEN.
- [12] A. M. Safi, M. A. S. Akanda, J. Sadique, dan S. Alam, "Non-destructive evaluation of spot weld in stainless steel using ultrasonic immersion method," *Procedia Engineering*, vol. 90, hal. 110–115, 2014.
- [13] M. Sobek dan A. Baier, "Defect detection of fiberglass composite laminates (FGCL) with ultrasonic A-Scan signal measurement," *Material Science Engineering*, vol. 114, hal. 1–7, 2016.
- [14] A. B. Ginting, M. Kartaman, dan Supardjo, "Interaksi bahan bakar U_3Si_2/Al dengan kelongsong pasca iradiasi," *Urania*, vol. 21, hal. 9–18, 2015.
- [15] N. Pérez, F. Buiochi, D. Yamashita, M. A. Andrade, dan J. C. Adamowski, "Evaluation of multiple reflections in the characterization of anisotropic materials by through transmission ultrasonic technique," *Physics Procedia*, vol. 70, hal. 402–405, 2015.
- [16] R. Himawan dan Farokhi, "Monitoring proses creep secara tak rusak dengan metode ultrasonik," *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 4, hal. 91–100, 2008.
- [17] C. Chong dan F. Zhang, "Preparatory notes for ASNT NDT Level III Examination-Ultrasonic Testing, UT," *Academia*, 2014. [Online]. Available: www.academia.edu.
- [18] G. Wróbel dan S. Pawlak, "A comparison study of the pulse-echo and through-transmission ultrasonics in glass/epoxy composites," *JAMME*, vol. 22, no. 2, hal. 51–54, 2007.
- [19] Supardjo dan Boybul, "Pengaruh perbedaan serbuk U_3O_8 Dan U_3Si_2 terhadap pembentukan porositas, homogenitas uranium dan ketebalan kelongsong produk pelat elemen bakar U_3O_8/Al dan U_3Si_2/Al ," *Urania*, vol. 14, no. 3, hal. 106–117, 2008.