

## STUDI LITERATUR PENGGUNAAN EMISI POSITRON DALAM BIDANG UN TAK RUSAK

Endra Susila, Widodo Saemadi, Suparno, Sutrasno, Sugito<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Dilakukan studi literatur mengenai uji tak rusak menggunakan emisi positron. Studi literatur yang dilakukan meliputi sumber radiasi pemancar positron, proses interaksi positron dengan materi, teknik pengujian, sistem spektroskopi dan jenis material serta cacat yang dapat diuji. Hasil studi literatur disusun dalam suatu makalah.

### Pendahuluan

Sampai saat ini metode uji tak rusak yang dikembangkan di Pusdiklat BATAN terbatas pada pendeteksian cacat makro menggunakan teknik radiografi, ultrasonik, magnetik partikel dan penetran. Sehingga perlu dikembangkan metode lain yang mampu mendeteksi cacat berukuran mikro atau nano antara lain metode emisi positron. Pengembangan diawali dengan studi literatur dari website dan diktat *Interregional Training Course on Radiation Measurements, and Application*.

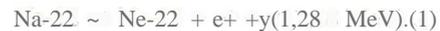
### Teori

#### a) Positron

Positron ( $e^+$ ) adalah antipartikel dari partikel elektron ( $e^-$ ), memiliki massa sama tetapi muatannya berlawanan. Positron dapat terikat oleh elektron membentuk ikatan semi stabil yang disebut positronium. Positronium ukurannya sama dengan hidrogen dengan umur beberapa nano detik tergantung jenis spin kedua partikel tersebut dan dapat digunakan untuk

meneliti celah nano antar atom yang terdapat dalam material.

Sumber positron yang biasanya digunakan adalah Na-22 yang berupa senyawa Natrium asetat atau NaCl, persamaan peluruhannya :



Positron dan sinar  $\gamma$  dipancarkan secara hampir bersamaan dengan interval waktu tidak lebih dari  $10^{-11}$  detik. Positron berenergi tinggi yang dilepaskan dari sumber positron masuk ke dalam material dengan cepat (2 - 3 pikodetik) mengalami thermalisasi dalam material. Jangkauan (penetrasi) positron dalam material padat 0,1 - 1 mm. Oleh karena itu kemampuan positron untuk mendeteksi cacat material hanya pada daerah permukaan (*surface*) dan sub permukaan (*sub surface*) dengan jenis cacat terbuka maupun interna yang berukuran mikro.

#### b) Spektroskopi Positron dalam Material

Positron dan elektron jika bertumbukan akan menghasilkan foton pada peristiwa annihilasi. Elektron yang berinteraksi dapat berasal dari elektron bebas (*free*

<sup>1</sup> Staf Pusat Pendidikan dan Pelatihan - BATAN

electron) dan elektron yang terikat pada ion suatu atom (bound electron).

Tampang lintang (cross section) annihilasi foton dihitung oleh P. Dirac dengan pendekatan non relativistik. Tampang lintang bertambah dengan berkurangnya kecepatan relatif (v) dari partikel yang bertumbukan seperti pada persamaan berikut :

$$\sigma_{2\gamma} = \sigma_{D} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \frac{c}{v} \dots\dots\dots (2)$$

$\sigma_{2\gamma}$  : (=  $\sigma_D$ ) = tampang lintang annihilasi foton

$r_0$  = radius elektron klasik

$c$  = kecepatan cahaya

$v$  = kecepatan partikel

Untuk nilai v mendekati nol, maka nilai  $\sigma_D$  mendekati tak terhingga (infinitif). Bagaimanapun laju (rate) terjadinya annihilasi positron AD cenderung terhingga :

$$AD = \sigma_D n_e v = \frac{2}{3} \pi r_0^2 n_e c \dots\dots\dots (3)$$

AD : laju annihilasi positron

$n_e$  : konsentrasi elektron

$\sigma_D$  : tampang lintang annihilasi foton

$v$  : kecepatan partikel

$c$  : kecepatan cahaya

$r_0$  : radius elektron klasik

Annihilasi elektron - positron terjadi jika momentum dan hukum kekekalan energi terpenuhi, yang dapat dinyatakan dengan rumus :

$$k_1 + k_2 = P = 2mv \dots\dots\dots (4)$$

$k_1$  dan  $k_2$  : momentum foton

$P$  : momentum pasangan elektron - positron

$v$  : kecepatan pusat massa pasangan elektron - positron

dimana:

$$m = \frac{gm_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots\dots\dots (5)$$

$$m_0 : \text{massa diam elektron}$$

Untuk partikel dengan kecepatan cahaya maka persamaan menjadi :

$$k_1c + k_2c = E = 2mc^2 \dots\dots\dots (6)$$

$E$  : energi pasangan elektron - positron

Persamaan 4 dan 6 menyatakan bahwa jika pusat massa pasangan partikel pada sistem koordinat laboratorium adalah tetap ( $v = 0$ ), dua foton hasil akan terpancar berlawanan arah dengan sudut mendekati  $180^\circ$  dengan energi sarna :

$$k_1c + k_2c = m_0c^2 = 0,511 \text{ MeV.}$$

Jika  $v \neq 0$ , maka sudut antara dua foton tidak sarna dengan  $180^\circ$  dan energinya tidak sarna dengan 0,511 MeV. Oleh karena itu dalam menentukan arah foton perlu melakukan perubahan arah detektor ke berbagai sudut sehingga diperoleh intensitas yang optimal.

Umur positron dalam material tergantung densitas atau kerapatan elektron dalam area annihilasi positron tersebut. Pada bagian material yang mengalami kekosongan (void) mengakibatkan tidak adanya elektron pada bagian tersebut, sehingga umur positron menjadi lebih lama. Oleh karena itu ukuran celah atau ruang kosong antar atom atau kristal di dalam material menentukan umur positron:

$$\tau = \tau_0 \left( \frac{1}{2} \frac{R}{R+6R} + \sin^2 \frac{\theta}{2} \frac{R}{R+6R} \right)^{-1} \dots\dots\dots (7)$$

$R$  : jari - jari ruang kosong

$\tau_0$  :teballapisan elektron (= 0,166 nm)

Dari persamaan di atas dimungkinkan untuk memperoleh informasi adanya cacat pada material. Hubungan antara kekosongan yang terdapat pada interface kisi-kisi atom atau kristal suatu material dengan umur positron dapat digambarkan secara skematis.

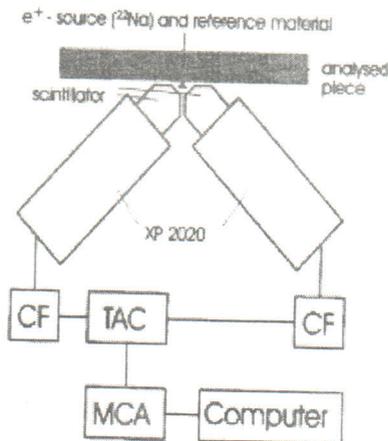
### Uji Tak Rusak Dan Hasil

#### c) Teknik Pengujian

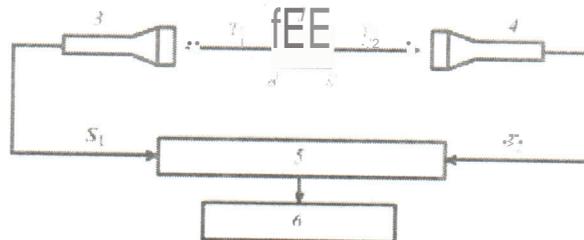
Teknik pengujian dilakukan menggunakan sumber positron dengan mengukur radiasi annihilasi. B.

Somieski, *et all* melakukan pengujian menggunakan sumber Na-22 dengan aktivitas 1511Ci. Sumber dibungkus dengan aluminium foil setebal 211m. Waktu resolusi (time resolution) 250 ps. Material uji berupa besi murni yang mengalami uji tarik. Skema rangkaian alat spektroskopi untuk uji tak rusak terlihat pada gambar 1a.

V. I. Grafutin dan E. P. Prokop'ev melakukan pengujian dengan susunan peralatan seperti pada gambar 1b.



Gambar 1a Instalasi untuk menentukan umur positron.



- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. sumber positron Na-22   | 2. benda uji                |
| 3 & 4. cfet-ktOf sintilasi | 5. line to analog converter |
| 6. MeA                     |                             |

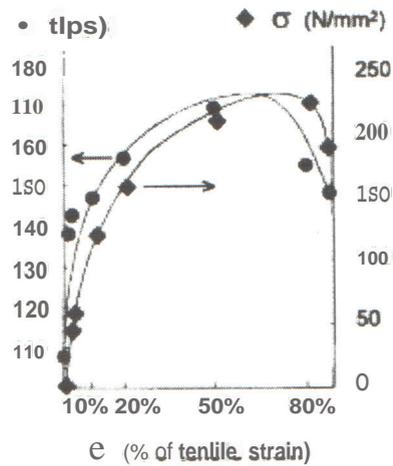
Gambar 1b. Instalasi untuk menentukan umur positron

Hasil pengujian dengan menggunakan alat pada gambar 1a terhadap material besi mumi terlihat pada gambar 2. Hasil menunjukkan kenaikan umur positron secara signifikan pada tegangan tarik mulai 10%.

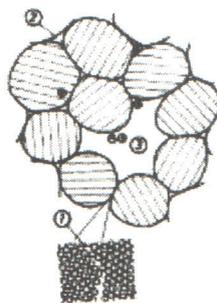
Gaya tarik mengakibatkan deformasi pada lokasi yang mengalami lelah (*fatigue*) sehingga mengakibatkan adanya kekosongan atau celah antar atom atau kristal yang menyebabkan umur positron bertambah besar.

### Kesimpulan

Dari studi literatur teknik uji tak rusak dengan metode annihilasi positron dapat dilakukan di Pusdiklat BATAN menggunakan susunan peralatan seperti pada gambar 1b. Pemilihan ini berdasarkan ketersediaan peralatan dan sumber positron.



Gambar 2. Umur positron dalam besi mumi setelah mengalami tegangan tarik (*tensile*) dan diagram tegangan tarik besi mumi



Gambar 3. Skema dua dimensi kristal dalam material nano kristal. Berbagai kekosongan dan hubungannya dengan umur positron. (1)  $t_1 = (180 \pm 15)$  ps, (2)  $t_2 = (360 \pm 30)$  ps, (3)  $1000 \text{ ps} \approx t_3 \sim 5000 \text{ ps}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, *Interregional Training Course on Radiation Measurements and Application*. IAEA, 1997.
2. B. Somieski, R. Krause-Rehberg, et al., *Application of the Positron Lifetime Spectroscopy as Method of Non-Destructive Testing*. Journal de Physique IV, Colloque CI, supplement au Journal de Physique III, Volume 5, Janvier 1995.
3. V. I. Grafutin, E. P. Prokop'ev, *Instruments and Methods of Investigation: Positron Annihilation Spectroscopy in Materials Structure Studies*, Uspekhi Fizicheskikh Nauk, Russian Academy of Sciences, 2002.
4. Jerzy Dryzek, *Fine-Grained Material and Diffusion Trapping Model*, [http://positron.physik.uni-halle.de/panetiapplications/grains!diff\\_trap\\_model.html](http://positron.physik.uni-halle.de/panetiapplications/grains!diff_trap_model.html), 2006.
5. S. U. Fassbender, W. Karpen, et al., *NDE Fatigue on Metals Thermography, Acoustic Microscopy and Positron Annihilation Method*, <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn319/idn319.htm>, 2006.
6. Anonim, *Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy*. <http://www.uni-muenster.de/Chemie/pc/FunkelP/AS!Methods!P/ALSIP/ALS.html>, 2006.