

APLIKASI TOMOGRAFI NEUTRON DI BATAN SERPONG UNTUK PENGAMATAN STRUKTUR INTERNAL BENDA PURBAKALA

Sutiarso¹, Fahrurrozi Akbar¹, Gunawan¹ dan Agustijanto Indradjaja²

¹*Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Sealatan*

²*Pusat Litbang Arkeologi Nasional
Jakarta*

e-mail: sasok@batan.go.id

ABSTRAK

APLIKASI TOMOGRAFI NEUTRON DI BATAN SERPONG UNTUK PENGAMATAN STRUKTUR INTERNAL BENDA PURBAKALA. Telah dilakukan pengamatan benda purbakala yang ditemukan di Indonesia dengan teknik tomografi neutron. Dengan teknik ini bagian struktur internal dari benda purbakala yang terbuat dari perunggu dapat diamati tanpa merusak benda tersebut. Informasi struktur internal sangat diperlukan bagi arkeologis untuk mengetahui tingkat peradaban pada zaman benda tersebut dibuat. Berkas neutron yang dihasilkan dari reaktor G.A Siwabessy dengan daya 15 MWatt digunakan sebagai *probe* yang mampu menembus obyek yang terbuat dari logam. Obyek diputar 180° dan ditembak dengan berkas neutron dan untuk setiap selang sudut 1° diambil citra radiografi neutronnya menggunakan kamera CCD. Dengan 180 citra yang dihasilkan dilakukan pengolahan rekonstruksi tomografi dengan *software Octopus 8.5* untuk mendapatkan gambaran irisan tampang lintang dan visualisasi citra 3D dihasilkan menggunakan *software VG Studio 2.1*. Hasil rekonstruksi terhadap benda yang berbentuk Guci dapat menampilkan gambar 3D yang kemudian dapat dipotong-potong pada berbagai sudut agar dapat menampilkan struktur internalnya. Dari gambar struktur internal diperoleh informasi mengenai konstruksi benda guci dan sebuah bola kecil yang ditemukan di dalamnya.

Kata kunci : Tomografi neutron, Benda purbakala, Reaktor G.A Siwabessy

ABSTRACT

APPLICATION OF NEUTRON TOMOGRAPHY AT BATAN SERPONG FOR INVESTIGATING AN INTERNAL STRUCTURE OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS. Investigation of an archeological object found in Indonesia has been carried out using neutron tomography technique. By using this technique the internal structure of the archaeological object made from bronze can be observed without damaging the object. Information on internal structure is very useful for the archeologis to determine the level of civilization when the object was made. Neutron beam produced by G.A. Siwabessy reactor with 15 MWatt power used as a probe is capable of penetrating the object made of metal. The object is rotated 180° and it is bombarded by neutron beam. Every 1° angular step the neutron radiography images were taken using a CCD camera. By using 180 images obtained the tomographic reconstruction was performed using Octopus 8.5 software to obtain the cross sectional images and 3D visualization was carried out using VGStudio 2.1. The reconstruction result on the object called Guci is able to show 3D image of the object and then it can be cut out at different angle to show its internal structure. From the internal structure it is found the information on the construction of Guci and a small ball inside the Guci is dicovered.

Keywords : Neutron tomography, Archaeological object, G.A. Siwabessy reactor

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki ribuan pulau yang masing-masing memiliki peninggalan seni dan budaya tersendiri. Peninggalan seni dan budaya yang banyak dinyatakan dalam bentuk patung atau arca merupakan peninggalan budaya yang sangat menarik untuk diamati.

Benda peninggalan seni dan budaya yang banyak dieksavasi di bawah tanah atau di sungai banyak

disimpan di beberapa museum di Indonesia. Benda-benda purbakala yang banyak dipelajari oleh arkeologis sangatlah berharga dan seringkali unik sehingga diperlukan metoda pengujian tak rusak (NDT) dalam mempelajarinya.

Penggunaan teknik NDT dalam mengungkap struktur internal dan komposisi dari sebuah obyek sudah

menjadi hal yang penting dalam tahap perencanaan dari pekerjaan konservasi dari benda-benda purbakala. Salah satu teknik NDT yang belum banyak dikenal oleh arkeologis di Indoensia adalah teknik tomografi neutron meskipun diluar negeri teknik sudah banyak digunakan untuk mempelajari benda purbakala [1,2]. Hal ini disebabkan karena ketersediaan peralatan radiografi neutron yang sangat terbatas dimana diperlukan reaktor nuklir untuk menghasilkan berkas neutronnya.

Reaktor G.A Siwabessy yang berada di Serpong memiliki fasilitas radiografi neutron yang merupakan satu-satunya fasilitas yang tersedia di Indonesia atau bahkan di Asia Tenggara [3]. Fasilitas ini telah terpasang sejak tahun 1990 yang digunakan sebagai alat uji tak rusak produk industri. Salah satu dari aplikasinya yang sedang dikembangkan di Batan Serpong adalah penelitian benda purbakala. Untuk penelitian ini telah dilakukan kerja sama dengan Pusat Litbang Arkeologi Nasional di Jakarta yang banyak melakukan penelitian dalam bidang benda purbakala ini

Makalah ini akan menyajikan contoh hasil pengamatan terhadap benda purbakala yang diperoleh dari Pusat Litbang Arkeologi Nasional Jakarta yang berbentuk Guci menggunakan fasilitas tomografi neutron, RN1 yang ada Batan Serpong.

TEORI

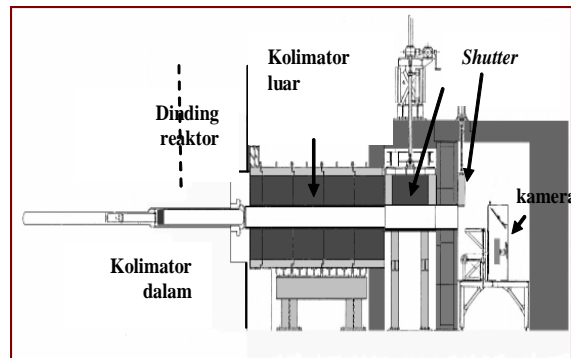
Fasilitas Radiografi Neutron

Fasilitas radiografi neutron, RN1 merupakan salah satu dari peralatan yang terdapat di laboratorium hamburan neutron yang memanfaatkan berkas neutron yang dihasilkan oleh reaktor G.A.Siwabessy untuk pengujian bahan secara tidak merusak (*non-destructive test*), Gambar 1. Peralatan radiografi neutron ini sejak diinstal pada tabung berkas S2 telah mengalami modifikasi pada kolimatornya.

Kolimator yang terpasang pada tabung berkas S2 saat ini memiliki perbandingan L/D ratio (L : panjang total kolimator dan D : diameter aperatur kolimator) 83. Berdasarkan standar ASTM E-545 sistim kolimator tersebut memberikan jumlah neutron termal = 63,95 %, neutron terhambur = 0,78%, gamma = 0,48%, produksi



Gambar 1. Fasilitas Radiografi Neutron, RN1[4]



Gambar 2. Gambar skematik dari fasilitas radiografi neutron [6]

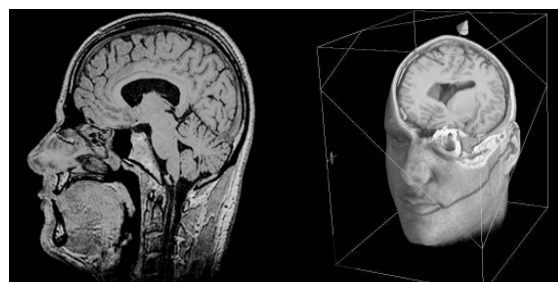
pasangan = 2,85 %, jumlah garis dan yang terlihat masing-masing : 7 dan 4 [5]. Dari hasil pengukuran kualitas berkas fasilitas radiografi neutron ini masuk dalam kategori kelas III. Meskipun tidak terlalu baik kualitasnya namun banyak obyek-obyek yang dapat diamati menggunakan fasilitas radiografi neutron ini. Gambar 2 adalah gambar skematik dari fasilitas radiografi neutron, RN1 yang menunjukkan komponen-komponen utama dari peralatan tersebut.

Pemanfaatan fasilitas radiografi neutron sejauh ini menggunakan metode langsung (*direct method*) yang menggunakan film sebagai media perekam citranya. Namun sejak awal fasilitas radiografi ini sebenarnya telah dilengkapi dengan sistim kamera yang memungkinkan digunakan untuk mengamati obyek bergerak secara *real time* dan tomografi neutron.

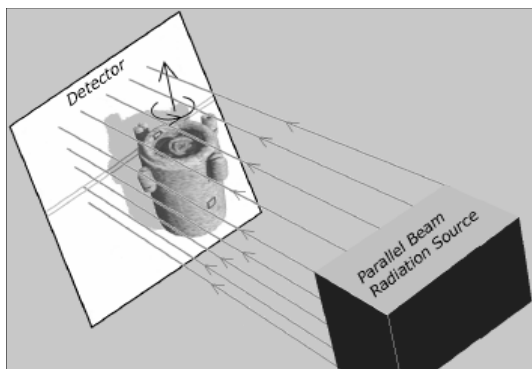
Tomografi Neutron

Tomografi adalah sebuah teknik rekonstruksi citra yang menghasilkan gambar tampang lintang dari sebuah obyek sepanjang sumbunya. Tomografi banyak dikenal di bidang kedokteran dengan istilah *CT scan* yang digunakan untuk mengamati bagian dalam dari organ tubuh manusia. Gambar 3 menunjukkan contoh dari hasil rekonstruksi *CT scan* dari kepala manusia yang dapat menampilkan gambar irisan samping dan gambar render volume 3D.

Sama halnya dengan *CT scan*, tomografi neutron adalah teknik pencitraan yang menggunakan neutron sebagai medianya yang mampu mengamati



Gambar 3. Rekonstruksi citra 3D. Gambar irisan (kiri) dan gambar render volume 3D (kanan) [7]



Gambar 4. Percobaan tomografi neutron [8]

struktur internal dari sebuah obyek dengan cara menampilkan gambar tampang lintang dari obyek yang diamati tersebut. Pengambilan data tomografi neutron dilakukan dengan cara memutar obyek dari 0° hingga 180° saat penyinaran dengan berkas neutron dan pengambilan data dilakukan setiap selang sudut 1° sehingga rekonstruksi citra dilakukan menggunakan 180 gambar (*frame*).

Proses rekonstruksi citra dilakukan menggunakan perangkat lunak *Octopus 8.5* yang dikembangkan berdasarkan algoritma *filtered-back projection*. Keluaran dari pengoalahan data menggunakan perangkat lunak tersebut adalah gambar irisan tampang lintang dari obyek tersebut sepanjang sumbu vertikalnya. Dengan menggunakan perangkat lunak visualisasi citra *VG Studio 2.1*, data tampang lintang yang dihasilkan tersebut (*voxel data*) dapat ditampilkan dalam bentuk citra 3 dimensi.

Karena proses rekonstruksi melibatkan jumlah data yang cukup besar maka diperlukan komputer dengan kecepatan prosesor yang tinggi dengan memory yang cukup besar untuk mempercepat proses rekonstruksi. Dengan jumlah irisan 600 buah diperlukan waktu 10 menit menggunakan komputer dengan dua buah prosesor *64 bit*, *2,3 GHz* dengan memory *16 Gbytes*.

METODA PERCOBAAN

Percobaan Tomografi Neutron

Pada percobaan ini yang digunakan sebagai obyek adalah benda purbakala yang berbentuk Guci (Gambar 5) yang terbuat dari sejenis perunggu dan dibagian dalamnya terdapat sebuah benda yang terlepas sehingga ketika Guci digoyang terdengar seperti suara gerakan kelereng dalam tempurung. Dengan pengamatan ini diharapkan dapat diketahui bentuk dan ukuran dari benda tersebut yang tidak tampak oleh mata.

Percobaan tomografi dilakukan menggunakan fasilitas radiografi neutron, RN1. Untuk melakukan percobaan tomografi neutron ini dilakukan penggantian meja sampel dengan meja putar (*rotary table*) dan penggantian *skrin* konverter dengan *skrin* sintilator serta penggantian sistem penangkap citra, film, dengan kamera

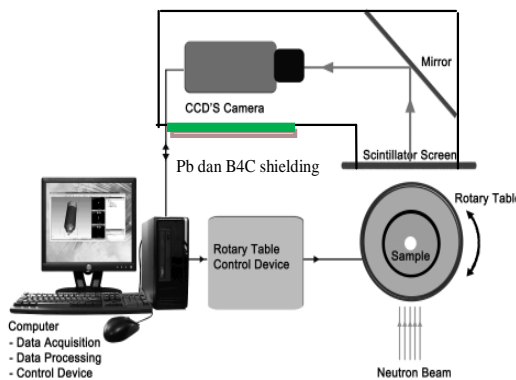


Gambar 5. Sampel Guci

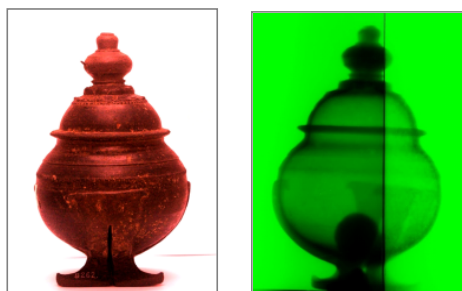
CCD. Gambar 6 menunjukkan bagan skematik dari sistem tomografi neutron.

Neutron yang datang dari tabung berkas S2 reaktor G.A.Siwabessy ditembakkan ke sampel. Berkas neutron yang ditransmisikan sampel dilewatkan ke *skrin* sintilator $\text{Li}^6\text{-ZnS}$ yang mengubah neutron menjadi cahaya tampak yang kemudian ditangkap oleh kamera. Untuk melindungi kamera dari berkas langsung digunakan cermin TiO_2 dengan reflektivitas 95% yang diletakkan pada posisi 45° terhadap sinar datang. Cermin, *skrin* sintilator dan kamera ditempatkan dalam sebuah kotak kedap cahaya (*dark box*) sehingga hanya cahaya dari sintilator saja yang ditangkap oleh kamera. Kamera *CCD* dihubungkan dengan sebuah komputer untuk membaca dan menampilkan data yang ditangkap oleh kamera *CCD* tersebut. Untuk melindungi kamera dari hamburan berkas neutron dan gamma disekitar kamera dipasang pelindung radiasi dari timbal (Pb) dan boron karbida (B_4C).

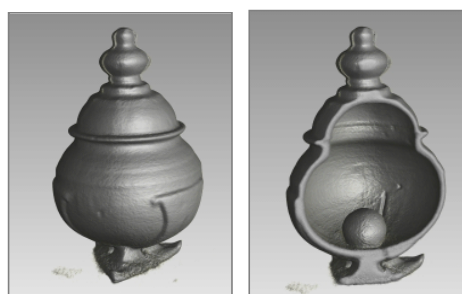
Waktu yang diperlukan dalam pengambilan data menggunakan kamera *CCD* ini, dengan waktu eksposur 4 detik adalah 27 menit per sampel. Kamera yang digunakan adalah kamera *low light CCD iKON-M DU 934 NBV* dari *Andor Technology*. Kamera ini memiliki resolusi cukup tinggi dengan jumlah piksel 1024×1024 piksel aktif yang memiliki ukuran 13×13 mikron. Kamera ini dilengkapi dengan pendingin *deep cooled CCD* dengan sistem *peltier* yang mampu mendinginkan hingga -95°C sehingga dapat menurunkan *dark current* (noise) hingga 0.00012 elektron/piksel/detik.



Gambar 6. Percobaan tomografi neutron [9]



Gambar 7. Radiografi neutron dari Guci



Gambar 8. Tomografi neutron 3D dari Guci

Lensa yang digunakan adalah lensa Nikon dengan focal length 25 mm/F 1.4 yang diatur fokusnya secara manual. Untuk dapat menampilkan citra dalam ukuran yang lebih besar perlu digunakan lensa dengan focal length lebih besar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil radiografi neutron dari sampel Guci ditunjukkan dalam Gambar 7. Dari gambar tersebut tampak bahwa struktur internal Guci dapat terlihat dengan jelas dan di bagian dalam Guci terlihat adanya sebuah benda bulat yang terletak dibagian bawah Guci. Dengan tomografi neutron dapat ditampilkan citra 3D yang dapat menunjukkan bentuk dari benda bulat tersebut (Gambar 8)

Dari hasil ini tampak bahwa radiografi neutron mampu menebus Guci yang terbuat dari bahan perunggu sehingga terlihat struktur internalnya. Dengan tomografi neutron dapat ditunjukkan citra 3D yang memberikan informasi yang lebih informatif tentang sampel Guci yang diamati dibanding dengan citra radiografi neutron.

Dari hasil rekonstruksi citra kemudian dapat dilakukan pemotongan untuk dapat melihat struktur internal obyek. Gambar 8 (b) menunjukkan hasil pemotongan vertikal terhadap hasil rekonstruksi citra sampel Guci. Dari hasil pemotongan citra tampak dengan jelas bentuk bola kecil di dalam Guci yang terletak dibagian dasar dari Guci. Hasil rekonstruksi citra tomografi ini menunjukkan bahwa dengan tomografi neutron dapat digunakan untuk mengamati struktur internal benda purbakala tanpa harus merusak benda tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan tomografi ini dapat disimpulkan bahwa teknik tomografi ini dapat digunakan sebagai alat untuk mengamati benda purbakala dengan cara tidak merusak. Rekonstruksi citra 3D dapat memberikan informasi tentang struktur internal benda purbakala dengan cara memotong citra dari berbagai sudut sehingga diperoleh informasi yang diinginkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Puslit Arkeologi Nasional, Jakarta yang telah membantu dalam percobaan ini.

DAFTARACUAN

- [1]. RANT, J, MILIC, Z, P. TURK, P, LENGAR, I., Neutron Radiography as a NDT Method in Archaeology, *Proceeding of the 8th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing, Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering*, September 1-3, Portorož, Slovenia, (2005) 181-188
- [2]. KARDJILOVA, N, FIORIB, F, GIUNTAC, G, HILGERA, A, RUSTICHELLIB, F, STROBLA, M, TRIOLOE, R BANHARTA, J, *Journal of Neutron Research*, 14(1)(2006) 29-36
- [3]. SUTJARSO, SETIAWAN, SUYATNO, MAWARDI, JUNAEDI, *Neutron News*, 17(4) (2006)
- [4]. SUTJARSO, BHAROTO, SETIAWAN, JULIYANI, FAHRURROZI, Pengembangan Kamera CCD pada Fasilitas Radiografi Neutron, RN1 di Batan Serpong, *Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, November, (2010)
- [5]. GUNAWAN, SUTJARSO, SUYATNO, SETIAWAN, Penentuan Karakteristik Fasilitas Radiografi Neutron di Batan Serpong Dengan Metoda Film-Konverter Tunggal, *Prosiding PIIB*, Serpong, (2009)
- [6]. SUTJARSO, FAHRURROZI, A, BHAROTO, SETIAWAN, JULIYANI, Pengembangan Tomografi Neutron di Reaktor G.A.Siwabessy untuk Uji Tak Rusak Bahan Industri, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, PTNBR – BATAN Bandung, 22 Juni (2011).
- [7]. DIERICK, M, Tomographic Imaging Techniques using Cold and Thermal Neutron Beams, *PhD Thesis, Faculty of Sciences, Dept. of Subatomic and Radiation Physics, Universiteit Gent*, (2005)
- [8]. ALIOTTA, F and SALVATO, G, *Neutron Tomography at ISIS*, IPCF-CNR, Messina, Italy, October (2008)
- [9]. SUTJARSO, FAHRURROZI, SAIRUN, SETIAWAN, JULIYANI, *Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, Serpong, (2011)