

## PENGARUH IRADIASI NEUTRON 14 MeV PADA KONDUKTIVITAS PANAS BAHAN Al DAN FeNiCr

Aminus Salam, Suprpto, Djoko SP, Slamet Santoso  
Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

### ABSTRAK

*PENGARUH IRADIASI NEUTRON 14 MeV PADA KONDUKTIVITAS PANAS BAHAN Al DAN FeNiCr. Bahan Al dan FeNiCr merupakan bahan struktur reaktor fusi. Untuk mengetahui karakteristik termal kedua bahan tersebut apabila berinteraksi dengan neutron cepat (14 MeV), maka dilakukan penelitian pengaruh radiasi neutron cepat 14 MeV terhadap konduktivitas panas bahan Al dan FeNiCr. Konduktivitas panas(k) merupakan satu diantara karakteristik termal suatu bahan. Neutron 14 MeV dihasilkan oleh generator neutron melalui reaksi D-T. Pengamatan konduktivitas panas bahan dilakukan melalui pengukuran suhu bahan sebelum dan sesudah diradiasi dengan neutron 14 MeV. Sistem pengukuran suhu yang digunakan terdiri dari bahan teflon sebagai pengungkum ( untuk menjaga panas supaya tidak menyebar) pemanas dari bahan nekelin , pengendali sistem suhu pemanas, Dari hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa konduktivitas panas (k) bahan Al dan FeNiCr mengalami penurunan setelah diradiasi dengan neutron cepat 14 MeV. Nilai k bahan Al dan FeNiCr, sebelum diradiasi konduktivitas panas bahan lebih besar dibanding konduktivitas panas bahan setelah diradiasi.*

### ABSTRACT

*14 MeV NEUTRON EFFECT OF RADIATION ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF Al AND FeNiCr MATERIALS. Al and FeNiCr are struktur materials of fussion reactor. The observation of 14 MeV neutrun radiation on the thermal conductivity of Al and FeNiCr has been carried out for understanding the thermal conductivity of Al and FeNiCr materials when it interacts with 14 MeV neutron. Thermal conductivity (k) is one of the thermal characteristic of material . 14 MeV neutron is produced by the neutron generator through D-T reaction. The observation of thermal conductivity was done by measurement the temperature of teflon material as heat shackle, nikelin heater complicated by control system of heater temperature and vacuum pump. The result of the observation shows that the thermal conductivity of Al and FeNiCr materials after irradiated by 14 MeV neutron irradiation are greater than thermal conductivity material after neutron irradiation*

### PENDAHULUAN

Generator neutron sebagai salah satu sistem yang dapat menghasilkan flux neutron, energi neutron yang dihasilkan tergantung pada reaksi inti yang terjadi. Generator neutron yang ada di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju BATAN Yogyakarta menghasilkan neutron melalui proses reaksi DT yaitu berkas ion deuteron ditembakkan ke target tritium, reaksi inti tersebut dihasilkan neutron cepat energi 14 MeV. Flux neutron ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan yaitu menganalisa unsur dengan cara aktivasi, pengukuran data-data nuklir, pengamatan efek kerusakan radiasi neutron cepat dll. Dalam uji efek kerusakan bahan akibat iradiasi neutron cepat 14 MeV dapat dilakukan uji material, uji kadar lemak pada margarine, uji polutan limbah. Sebagai target dari flux neutron dapat berupa padatan, cairan dan gas.

Untuk pengujian efek kerusakan pada bahan akan dilakukan uji pengaruh iradiasi neutron cepat pada konduktivitas panas bahan (k) untuk material/bahan reaktor fusi khususnya paduan FeNiCr. sebagai material standar AISI (SS 31xx) yang akan diuji konduktivitas panas (k) berbentuk lempengan tebal 2 mm. Tetapan konduktivitas panas pada suatu bahan tergantung dari laju panas yang mengalir, jarak pengukuran suhu  $T_1$  dan  $T_2$  pada sampel, luas penampang bahan dan beda suhu hasil pengukuran suhu  $T_1$  dan  $T_2$ .

Untuk memperoleh k digunakan teori hantaran panas yang terjadi pada bahanyang diasumsikan dalam keadaan stedi. Secara umum perpindahan panas pada bahan terjadi proses konduksi, konveksi dan radiasi.

Sebagai alat sistem pengukur suhu dibuat bahan dari teflon sebagai pengungkum panas bahan yang dilengkapi dengan sistem pemanas yang

terkendali, pompa vakum, multimeter digital pengukur suhu. Untuk mencari panas yang diserap pada bahan Al atau FeNiCr dilakukan perhitungan panas yang terjadi yaitu sistem konduksi, konveksi dan radiasi pada sistem pengukur suhu.

Tujuan penelitian ini adalah diharapkan dapat diperoleh informasi pengaruh iradiasi neutron cepat 14 MeV pada bahan /material reaktor fusi khususnya pada konduktifitas panas ( $k$ ) bahan Al dan FeNiCr dengan membandingkan  $k$  dari sampel sebelum dan sesudah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV.

## TEORI

Perpindahan panas merupakan salah satu pengertian dalam termodinamika, dalam perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah suhu lebih tinggi ke daerah suhu lebih rendah. Secara Umum perpindahan panas sesuai dengan sifatnya dapat dibagi menjadi: Konduksi, - Konveksi,- Radiasi. Perpindahan panas konduksi adalah panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah didalam satu medium ( Padat, Cair, atau gas), atau dua medium yang saling bersinggungan secara langsung. Pada aliran panas konduksi perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastik atau dengan pembauran atau diffusi elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bersuhu lebih tinggi. Perpindahan energi dari bagian suhu tinggi ke bagian suhu rendah merupakan perpindahan secara konduksi atau hantaran, laju perpindahan kalor berbanding dengan gradien suhu normal

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1)$$

Kesebandingan persamaan diatas apabila dimasukkan konstanta  $k$  maka akan menjadi

$$\frac{q}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

sehingga dapat dituliskan

$$Q_k = -k A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (3)$$

dengan

$Q_k$  = Laju perpindahan panas dalam arah  $x$

$k$  = Konduktifitas panas bahan

$A$  = Luas penampang

$\Delta T$  = Beda suhu ( $T_2-T_1$ )

$\Delta X$  = Beda Tempat kedudukan ( $X_2-X_1$ )

sehingga

$$k = - \frac{Q \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta T} \quad (4)$$

## Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi ialah mekanisme perpindahan energi antara benda padat dengan cair atau gas, dalam mekanismenya perpindahan konveksi terdiri dari perpindahan molekul acak dan pergerakan makroskopis fluida yang bergerak pada lapisan batas. besarnya laju perpindahan panas konveksi antara permukaan dengan fluida dinyatakan sebagai

$$Q_c = h_c A \Delta T \quad (5)$$

dimana

$Q_c$  = Laju perpindahan kalor

$h_c$  = Koefisien perpindahan panas konveksi

$A$  = Luas penampang

$\Delta T$  = Beda suhu antara permukaan dengan fluida

Pada prosesnya perpindahan konveksi terdiri dari

### a. Konveksi paksa

Konveksi paksa ialah suatu gerakan mencampur yang disebabkan oleh pengaruh dari luar (seperti kipas, pompa)

### b. Konveksi bebas

Koneksi bebas ialah suatu gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu

Dalam proses koveksi bebas pada plat horisontal koefisien perpindahan kalor rata-rata pada plat rata horisontal dihitung dengan persamaan

$$N_{uf} = C (Gr_f, Pr_f)^m \quad (6)$$

dimana subskrip  $f$  merupakan sifat-sifat untuk gugus tidak berdimansi,  $Ra$  = Bilangan Rayleigh,  $Ra = g \beta (T_s - T_\infty) L^3 Pr / \nu^2$ ,  $L = A / P$  (= luas/perimetri basah).

Untuk permukaan atas pada plat panas atau pada permukaan bawah pada plat dingin

$$\text{Nul} = 0,5 \text{ Ra}_L^{1/4} \quad (10^7 \geq \text{Ra}_L \geq 10^4); \quad \text{Nul} = 0,15 \text{ Ra}_L^{1/3} \quad (10^{11} \geq \text{Ra}_L \geq 10^7)$$

Untuk permukaan bawah pada plat panas atau pada permukaan atas pada plat dingin

$$\text{Nul} = 0,27 \text{ Ra}_L^{1/4} \quad (10^{10} \geq \text{Ra}_L \geq 10^5)$$

### Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi ialah energi yang diemisikan oleh benda yang berada pada temperatur tertentu. Perpindahan panas radiasi selain pada permukaan benda padat juga terjadi pada perubahan dalam konfigurasi elektron dari atom atau molekul. Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik, perpindahan panas secara radiasi lebih efisien dalam ruang hampa. Besar laju energi radiasi ialah :

$$Q_r = A \varepsilon \sigma (T_c^4 - T_s^4) \quad (7)$$

dengan

$Q_r$  = Laju kalor radiasi

$A$  = Luas permukaan

$\varepsilon$  = Sifat radiasi permukaan

$\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman

$T_c$  = Temperatur permukaan

$T_s$  = Temperatur sekeliling

### Neutron Cepat 14 MeV

Neutron cepat merupakan dari suatu proses tumbukan antara deuteron dan atom deuterium atau

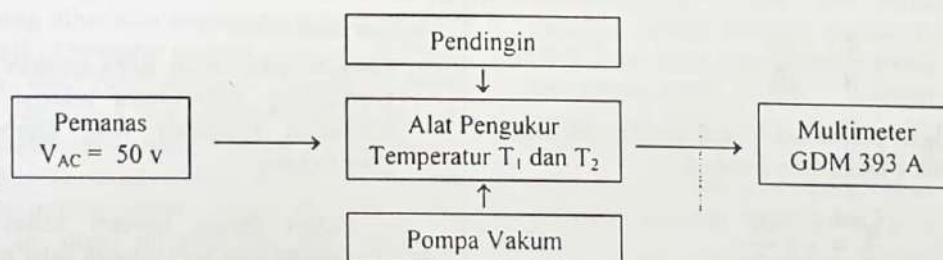
tritium. Apabila terjadi tumbukan yang efektif antara tritium dan inti target maka akan terjadi interaksi nuklir yang menyebabkan keluarnya partikel neutron dari target dengan energi kinetik dalam orde MeV. Dalam produksi neutron terdapat dua reaksi nuklir yaitu :



Untuk mendapatkan berkas neutron dengan energi 2,5 MeV digunakan deuterium, sedangkan untuk berkas neutron dengan energi 14 MeV digunakan tritium. Interaksi radiasi neutron dengan materi, neutron sebagai partikel penyusun inti (nukleon) yang tak bermuatan dan memiliki massa yang hampir sama dengan massa proton. Neutron sebagai partikel tak bermuatan sehingga dalam gerakannya tidak terpengaruhi medan coulomb atau dapat dikatakan bahwa neutron hanya berinteraksi dengan inti atom pada bahan yang dilewati neutron dan mekanisme yang terjadi ialah hamburan tidak elastis dan tangkapan yang mengakibatkan perubahan pada bahan dalam sifat-sifat kimia, fisika dan mekanika bahan.

### TATA KERJA

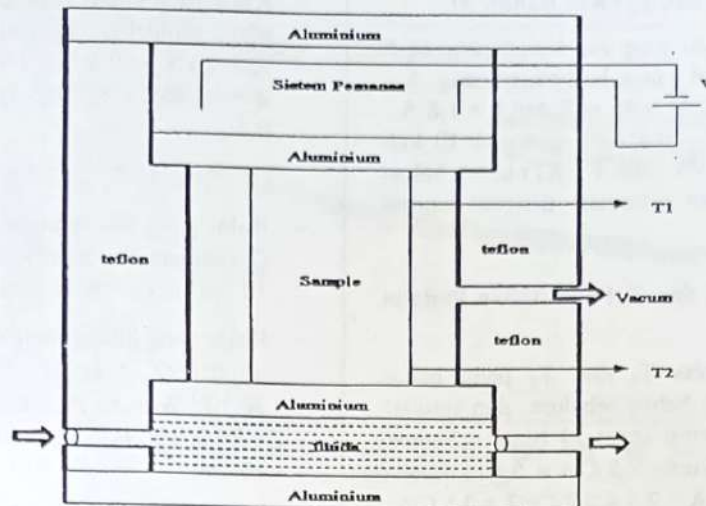
Dengan menggunakan alat ukur suhu seperti pada Gambar 2 pada tegangan 45 volt arus 1.8 ampere dapat dilakukan percobaan yaitu dengan mengukur suhu  $T_1$  dan  $T_2$  panas yang mengalir pada bahan Al dan FeNiCr. Untuk memperoleh konduktifitas termal dengan pengukuran temperatur  $T_1$  dan  $T_2$  sebelum diiradiasi dan setelah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV seperti pada bagan sistem alat ukur Gambar 1.



Gambar 1. Bagan pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$ .

Bahan Al dan FeNiCr masing-masing dengan panjang 5 Cm dan lebar 2,5 Cm untuk bahan Al tebal 1 mm sedangkan bahan FeNiCr tebalnya 2 mm,

dimana bahan tersebut dipasang pada alat pengukur konduktifitas termal yang dibuat dari bahan teflon seperti pada gambar dibawah ini

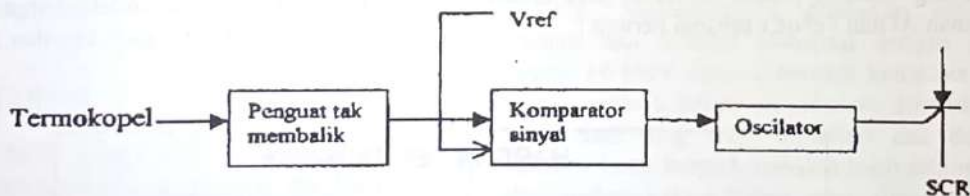


Gambar 2. Gambar: Sistem pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$ .

### Sistem Pengendali Suhu

Untuk mengendalikan suhu elemen pemanas yang terpasang pada sistem pemanas diperlukan untuk pengendali suhu yang dihasilkan pada elemen pemanas dengan tujuan agar supaya suhu tidak terlalu tinggi, sehingga elemen tidak mudah putus/rusak. Sistem kerja pengendali suhu ialah dengan mengendalikan filamen pemanas yang memepoleh supply dari sumber tegangan dari PLN.

yaitu dengan menggunakan umpan balik yang mengubah besaran panas menjadi sinyal tegangan dan membandingkannya dengan tegangan acuan pada komparator, jika sinyal tegangan dari elemen umpan balik lebih kecil dari sinyal tegangan acuan maka elemen pengendali terhubung dengan jaringan PLN. Adapun skema pengendali suhu ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mengendalikan elemen pemanas diperlukan termokopel, komparator sinyal, osilator dan SCR.



Gambar 3. Skema sistem pengendali suhu.

### Cara Kerja

Dengan melakukan / menyusun peralatan seperti pada Gambar 2 yaitu melakukan langkah - langkah sebagai berikut :

1. Sampel dipasang
2. Dipasang penutup sekitar sampel
3. Ruang sekitar sampel divakum s/d  $10^{-2}$  torr
4. Dihidupkan sistem pemanas

5. Diukur suhu panas yang mengalir pada sampel  $T_1$  dan  $T_2$

Dari pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$  kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2 s/d5. sehingga dapat diperoleh harga konduktifitas panas untuk berbagai suhu pengukuran.. Percobaan berikutnya sampel diiradiasi dengan netron cepat 14 MeV dan dilakukan dengan langkah percobaan seperti diatas untuk mengukur  $T_1$  dan  $T_2$  pada bahan Al dan paduan FeNiCr

**Pengukuran Suhu  $T_1$  dan  $T_2$  Pada Bahan Al**

Sampel bahan Al yang berukuran panjang 5 Cm, lebar 2,5 Cm tebal 1 mm, luas penampang  $A = 0,25 \text{ Cm}^2$ ,  $dx = 2 \text{ Cm}$ ,  $V = 45 \text{ volt}$  dan  $I = 1,8 \text{ A}$ . Pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$  dilakukan sebanyak 10 kali sehingga dapat diperoleh grafik  $k = f(T)$  untuk bahan sebelum dan sesudah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV:

**Pengukuran Suhu  $T_1$  dan  $T_2$  Pada Bahan Paduan FeNiCr**

Pengukuran suhu  $T_1$  dan  $T_2$  pada bahan paduan FeNiCr, untuk bahan sebelum dan sesudah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV. Sampel yang digunakan berukuran 2,5 Cm x 5 Cm tebal 2 mm, luas penampang  $A = 2,5 \times 0,2 \text{ Cm}^2 = 0,5 \text{ Cm}^2$ , dengan jarak pengukuran  $dx = 2 \text{ Cm}$ ,  $V = 45 \text{ volt}$  dan Arus  $I = 1,8 \text{ A}$ . Dilakukan pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$  sebanyak 10 kali sehingga dapat dipetoleh grafik  $k = f(T)$  seperti pada Gambar 6:

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari percobaan yang dilakukan pada gambar 2 pada filamen besar tegangan  $V = 45 \text{ volt}$ , arus  $I = 1,8 \text{ ampere}$  dengan penutup dari aluminium yang membatasi elemen pemanas dengan ruang sampel dengan ukuran  $r = 5 \text{ Cm}$  (uas  $A = \pi r^2 = 78,5 \text{ Cm}^2$ ), laju panas yang dihasilkan  $Q_t = V.I / A = 45 \times 1,8 / 78,5 = 1,03 \text{ W/Cm}^2$  dari harga ini dapat dihitung kalor yang diserap dalam proses konduksi dan kalor yang hilang melalui proses konveksi dan radiasi pada bahan Al dan FeNiCr sebagai berikut :

- Kalor yang hilang dengan proses radiasi kedalam ruang sampel  $Q_r$  (dengan  $T_s = 135 \text{ }^\circ\text{C} = 408 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $T_w = 80 \text{ }^\circ\text{C} = 353 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $\epsilon = 0,05$ ,  $\sigma = 5,678 \times 10^{-8}$ ,  $A = 38,465 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  ( $r = 3,5 \text{ Cm}$ ) dan  $F12 = 0,5$ )

$$Q_r = A \epsilon \sigma (T_s^4 - T_w^4) = 0,033 \text{ watt}$$

- Kalor yang hilang melalui radiasi keluar sampel  $Q_r$  (dengan  $T_c = 408 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $T_s = 298 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $A = 78,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ),  $Q_r = 0,44 \text{ watt}$ .

- Kalor yang hilang melalui konveksi keluar ruang sampel  $Q_{vk} = h_s \cdot A \cdot \Delta T$  dengan diketahui  $k = 30 \cdot 10^{-3} \text{ W/m K}$ ;  $Pr = 0,7$ ,  $\nu = 20,92 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\alpha = 29,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $\beta = 1/T_j = 0,003 \text{ /K}$ ,  $L = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$Ra_l = g\beta(T_s - T_w) l^3 / \alpha \nu = 80,78 \times 10^4$$

$$Nul = 0,54 (Ra_l)^{1/4} = 9,1$$

$$h_s = k Nul / H = 91$$

$$Q_v = h_s \cdot A_s \cdot \Delta T = h_s \cdot R2 \cdot \Delta T = 78,58 \text{ watt}$$

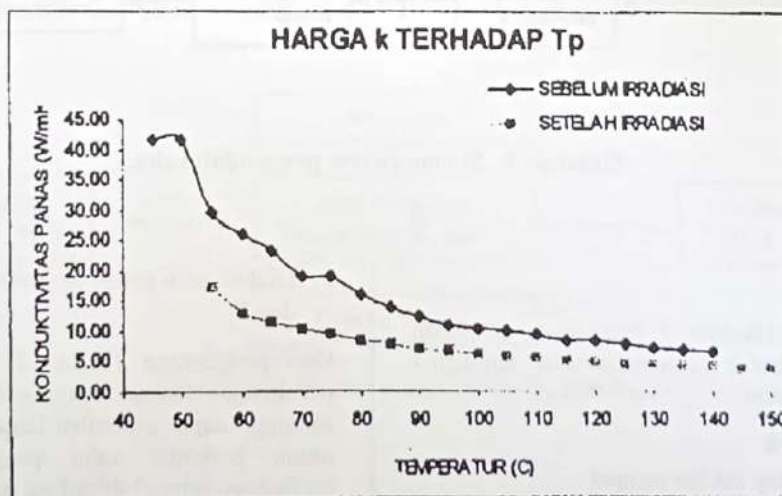
**Bahan Al**

Laju panas yang digunakan :

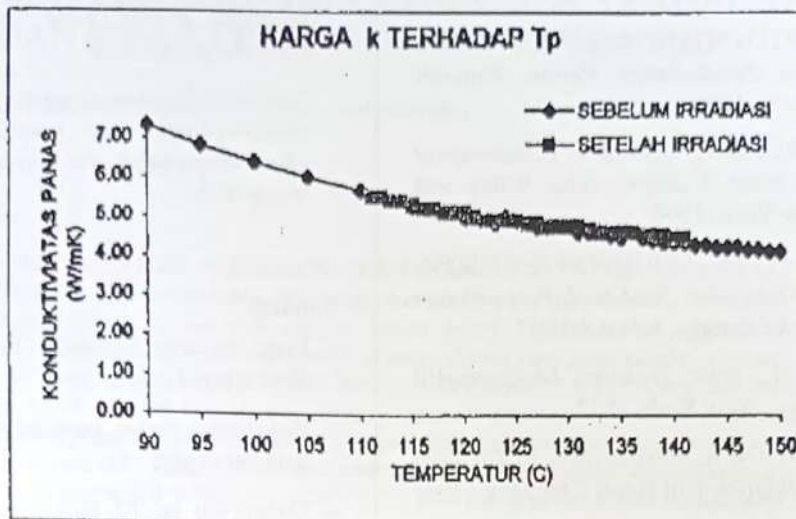
$$Q_k = \text{luas sampel} \times Q_t = 0,25 \text{ Cm}^2 \times 1,03 \text{ W/Cm}^2 = 0,26 \text{ Watt}$$

$$\text{Laju panas yang hilang} = Q_h = Q_t - Q_k = 81 - 0,26 = 80,74 \text{ watt}$$

Sehingga untuk bahan Al sebelum diiradiasi dan setelah diiradiasi diperoleh harga konduktifitas panas diperoleh seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik grafik harha konduktifitas panas bahan Al sebelum dan sesudah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV.



Gambar 6. Gambar grafik harga konduktifitas panas bahan FeNiCr sebelum dan sesudah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV.

#### Bahan FeNiCr

Laju panas yang digunakan :

$$Q_g = \text{luas sampel} \times Q_r \\ = 0,5 \text{ Cm}^2 \times 1,03 \text{ W/Cm}^2 = 0,52 \text{ Watt}$$

$$\text{Laju panas yang hilang} = Q_h = Q_r - Q_q \\ = 81 - 0,52 = 80,74 \text{ watt}$$

Sehingga untuk bahan Al sebelum diiradiasi dan setelah diiradiasi harga konduktifitas panas dapat diperoleh seperti pada Gambar 6.

#### PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$  dapat diperoleh harga konduktifitas panas  $k$  dari bahan Al dan FeNiCr yang diiradiasi dan telah diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV. Dari Hasil perhitungan  $k$  konduktifitas panas menunjukkan : - semakin panas harga  $k$  semakin kecil, - bahan -Al dan FeNiCr yang diiradiasi dengan neutron cepat 14 MeV harga  $k$  semakin kecil hal ini terlihat jelas pada bahan Al karena bahan Al mempunyai kerapatan atom yang lebih kecil dibanding dengan bahan FeNiCr ( tampak pada gambar grafik harga  $k$  perbedaannya lebih kecil dibanding bahan Al). Dampak neutron cepat pada bahan karena pengaruh radiasi neutron cepat yang menimbulkan interaksi dengan bahan sehingga mengakibatkan hamburan tak elastis pada bahan. Akibat dari hamburan tak elastis inti-inti atom pada bahan/sampel yang digunakan sebagai target mengalami peristiwa eksitasi pada inti atomnya. Untuk

alat sistem pengukur suhu panas yang diterima bahan sangat kecil hal ini dikarenakan luas penampang bahan yang digunakan ukurannya relatif kecil sehingga banya panas yang hilang dalam proses konveksi dan radiasi.

#### KESIMPULAN

Dengan melakukan pengukuran suhu panas yang mengalir ( $T_1$  dan  $T_2$ ) pada bahan Al dan paduan FeNiCr masing-masing dilakukan sebelum diiradiasi dan sesudah diiradiasi dengan generator netron 14 MeV dapat diperoleh konstanta konduktivitas panas  $k$  bahan Al sebelum diiradiasi lebih besar dari yang telah diiradiasi dan delta suhu semakin besar harga  $k$  semakin kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa bahan yang diiradiasi konduktivitas panas lebih kecil dibanding bahan yang tidak diiradiasi dan kalor yang hilang (secara konveksi dan radiasi ) lebih besar dari pada kalor yang digunakan , untuk ini perlu disempurnakan sistem pengukur suhu agar supaya kalor yang diserap bahan lebih besar dari proses konveksi dan radiasi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Ir Elin Nuraini, Bpk. Maryadi, Sdr Fashikun dan Bapak Badi Wiyana, Bapak Sudaryanto yang telah membantu kami, sehingga dapat terwujudnya tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. FRANK KERITH DAN ARKO PRIYONO, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
2. FRANK INCROPERA, DAVID P, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Sons, Inc, New York, 1990.
3. DONALD R. PITTS., LEIGHTON E. SISSOM, E. JASJFI., *Teori dan Soal-soal Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
4. J.P. HOLMAN., *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company., New York, 1972.
5. SIDNEY H. AVNER, *Intruduction to Physical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Company., New York, 1985.
6. *Annual Report Of Naka Fussion Research Establishment*, JAERI - REVIEW-042, 2001.
7. M FUJIWARA, Y.X WAN, *Frontier Of Physics In Fusion-Relevant Plasmas*, Proceedings of the Asian Science Seminar, World Scientific Publishing Co Ptc, Ltd., Singapura, 1998.

## TANYA JAWAB

### Sigit A. Santa

- Bagaimana mengukur konduktivitas murni yang tidak dipengaruhi oleh proses radiasi panas dalam konveksi panas.
- Bagaimana mengatur penetrasi termokopel ke dalam ruang vakum agar tidak ada kebocoran.

### Aminus Salam

- Untuk memperoleh konduktivitas panas yang tidak dipengaruhi proses radiasi dan konveksi panas ialah sistem pengukur suhu yang mengalir

pada bahan ( $T_1$  dan  $T_2$ ) perlu disempurnakan sehingga proses yang terjadi hanya proses konduksi panas saja.

- Saat ini kebocoran pada unit dalam ruang vakum relative kecil tetapi untuk memperkuat sistem ukur supaya tidak ada kebocoran dapat ditambah lem araldit.

### Sunardi

- Fluks neutron berapa? Sehingga berapa lama aktivasinya?
- Bagaimana reaksi yang terjadi antara Al dengan neutron cepat?
- Dalam hal ini Al sebelum dan sesudah aktivasi akan berbeda, karena Al setelah diaktivasi akan menjadi isotop lain, sedang dalam abstrak nilai  $k$  pasti akan lain, karena Bapak menentukan antara Al dengan unsur lain?
- Apakah ini sudah mewakili dalam kesimpulan?

### Aminus Salam

- Fluks neutron  $10^{19}$  neutron/cm dt, selama 15 menit.
- Radiasi neutron dengan materi (Al) akan terjadi interaksi dengan inti atom diantaranya hamburan elastik, hamburan tidak elastik, reaksi fisi dan reaksi tangkapan inti Al setelah menyerap neutron menjadi tidak stabil dan meluruh sambil melepaskan partikel-partikel (proton, alpha, dll).
- Yang dilakukan ialah pengamatan satu bahan/ material reaktor fusi, dilakukan radiasi neutron cepat 14 MeV, kemudian dihitung konduktivitas panas bahan yang tidak diiradiasi dan  $k$  bahan yang sama diiradiasi neutron.
- Sudah, karena dari hasil yang diperoleh ada perubahan  $k$  pada bahan yang diiradiasi dan yang tidak diiradiasi.