

## KORELASI ANTARA PERSEN KANDUNGAN Si DENGAN LAJU KOROSI DALAM UAP AIR PADA INGOT PADUAN Zr-1,5w%Nb-Si

Heri Hardiyanti<sup>(1)</sup> dan Futichah<sup>(1)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir PTBN – BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

### ABSTRAK

**KORELASI ANTARA PERSEN KANDUNGAN SI DENGAN LAJU KOROSI DALAM UAP AIR PADA INGOT PADUAN ZR-1,5W%NB-SI.** Silikon dapat ditambahkan pada paduan Zr tanpa mengurangi sifat ekonomi neutron termal. Dalam jumlah kecil Si meningkatkan ketahanan korosi pada sistem paduan biner (Zr dan Si). Penambahan Si yang lebih besar terhadap paduan akan mengakibatkan kerusakan korosi lebih cepat. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh kandungan Si terhadap laju korosi ingot Zr-1,5w%Nb-Si. Sampel hasil leburan dengan variasi kandungan silikon berturut turut 0,1% Si; 0,2% Si dan 0,25% Si, dianil pada temperatur 400°C, 600°C dan 800°C selama 4 jam dan 6 jam. Sampel hasil anil kemudian di-*pikling*, dicuci dan ditimbang. Selanjutnya dilakukan proses korosi menggunakan *autoclave* dengan tekanan 8 bar, pada temperatur 350 °C dan ditahan selama 8 jam, 15 jam dan 24 jam. Setelah dilakukan uji korosi sampel ditimbang kembali. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh kandungan Si pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si terhadap laju korosi menunjukkan bahwa dengan penambahan Si sampai 0,2% pertambahan berat hasil pengujian korosi pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si semakin menurun. Penambahan kadar Si lebih dari 0,2% mengakibatkan kerusakan korosi lebih lanjut pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si sehingga ketahanan korosinya menurun. Ditinjau dari penambahan kandungan Si, diperoleh laju korosi terendah dengan kandungan Si 0,2% temperatur 350°C dan waktu korosi 24 jam dan terjadi pada sampel yang mengalami anil 800°C dan waktu penahanan 6 jam. Dengan korelasi adalah  $Y = 1.1165 X^{0.9969}$  dimana, Y= Pertambahan berat (mm/dm<sup>2</sup>) dan X= Kadar Si (%)

**Kata Kunci :** Paduan Zr-Nb-Si, Korosi

### ABSTRACT

**CORRELATION BETWEEN SILICON CONTENT AND IN-STEAM CORROSION RATE OF ZR-1.5WT%-SI INGOT.** Silicon is normally added in a small amount to a Zr-alloy to improve its corrosion resistance without having to sacrifice its neutronic property. An excessive amount of silicon addition is known to have caused faster corrosion rate. The objective of this research was to observe the effect of silicon content on the corrosion rate of Zr-1.5wt%Nb-Si ingot. The ingot specimens had various silicon contents of 0.1 wt%, 0.2 wt%, and 0.25 wt%. All of them were annealed at 400°C, 600°C, and 800°C for four and six hours. The corrosion test was conducted in an autoclave at 8 bars and 350°C for 8, 15, and 24 hours. The results showed that for a silicon addition of up to 0.2 wt% the weight gain due to corrosion was decreasing. A silicon addition of greater than 0.2 wt% had shown to have caused a reduction in the corrosion resistance of the

specimen. The specimens that showed the smallest corrosion rate under a testing condition of 350°C for 24 hours were those whose silicon contents were up to 0.2 wt% and were annealed at 800°C for six hours. The correlation followed an equation of  $Y = 1.1165 X^{-0.9969}$  where, Y= Weight gain (mm/dm<sup>2</sup>) and X= Si Content (%).

**Key words:** Zr-Nb-Si alloy, corrosion

## PENDAHULUAN

Teknologi proses pembuatan logam paduan zirkonium untuk bahan kelongsong terus dikembangkan dalam upaya untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi dalam air/uap air. Salah satu upaya yang dilakukan yaitu dengan penambahan unsur niobium dan silicon dalam paduan untuk meningkatkan kekuatan paduan dan ketahanan korosi dalam air dan uap air pada temperatur tinggi. Alasan pemakaian unsur tersebut sebagai kelongsong didasarkan atas sifat fisis dan mekanik yang dimilikinya, yaitu tampang lintang serapan neutron rendah, kekuatan mekanis stabil pada tekanan dan temperatur tinggi, tahan korosi pada tekanan dan temperatur tinggi (<400°C), tahan terhadap kerusakan akibat radiasi, mudah dikerjakan dan difabrikasi<sup>[1]</sup>.

Berdasarkan kajian pustaka terhadap logam paduan Zr-Si diketahui bahwa penambahan Si antara 0,015% sampai 0,3% ke dalam logam induk zirconium, yang mana Si terdistribusi secara merata sebagai impuritas serta menutup seluruh permukaan butir, dapat meningkatkan ketahanan korosi selama pendinginan perlahan-lahan dalam areal ( $\alpha+\beta$ )<sup>[2]</sup>. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh kandungan Si terhadap laju korosi ingot Zr-1,5w%Nb-Si hasil anil dengan variasi kandungan Si 0,1%; 0,2% dan 0,25 %, dan waktu korosi 8 jam, 15 jam dan 24 jam. Pada penelitian ini diharapkan penambahan Si pada paduan zirkonium akan meningkatkan ketahanan korosi paduan tersebut.

## TEORI

### • Zirkonium dan paduannya

Zirkonium memiliki tampang lintang serapan neutron termal yang rendah yaitu 0,180

barn, titik lebur tinggi (1850 °C), kekuatan mekanik tinggi pada temperatur tinggi, daya tahan korosi terhadap air dan uap air serta keberadaan dan kelimpahan di alam cukup besar. Hal ini memberikan peluang bagi zirkonium untuk digunakan sebagai kelongsong elemen bakar dan bahan struktur pada reaktor air ringan (LWR) atau air berat (HWR). Biasanya zirkonium yang digunakan ini dipadu dengan unsur lain sehingga membentuk paduan zirconium (zirkaloi) yang mempunyai sifat-sifat yang lebih baik seperti yang diinginkan<sup>[3]</sup>

Bahan kelongsong yang berada di dalam reaktor mengalami radiasi neutron termal dan dapat mengalami kerusakan. Zirkaloi mempunyai kekuatan mekanik yang relatif stabil terhadap radiasi neutron serta tahan terhadap korosi dalam air temperatur tinggi (400°C). Berdasarkan sifat-sifat di atas, zirkaloi memiliki nilai lebih untuk diaplikasikan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir reaktor daya.

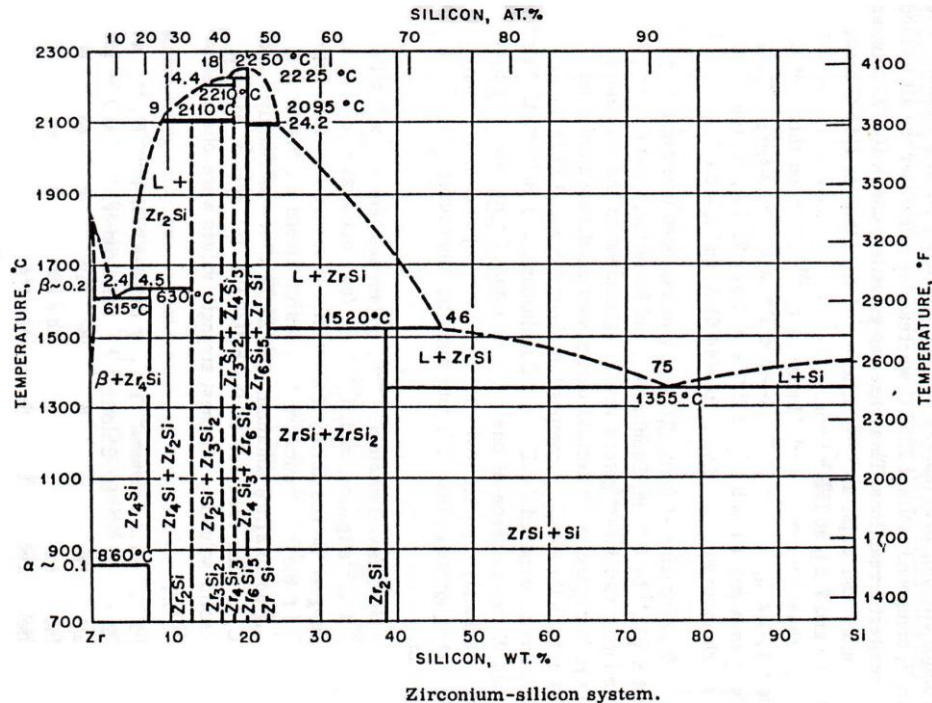
### •Pengaruh silikon

Silikon dapat ditambahkan pada paduan Zr dalam jumlah sampai dengan 0.3% Si tanpa mengurangi sifat ekonomi neutron termal, karena Si mempunyai tampang lintang serapan neutron termal yang kecil yaitu 0,16 barn. Dalam jumlah kecil Si akan meningkatkan ketahanan korosi pada paduan biner Zr- Si. Diagram fasa sistem paduan biner Zr- Si dapat dilihat pada Gambar 1. Penambahan Si yang lebih besar dari 0,3% berat pada paduan ini, akan mengakibatkan kerusakan korosi lebih cepat.<sup>[2]</sup>

Di USA dipatenkan paduan Zr yang mengandung 0.015% -0.3% Si, yang mana Si akan terdistribusi secara merata sebagai impuritas yang menutup seluruh permukaan

butir dan meningkatkan ketahanan korosi selama pendinginan perlahan-lahan dalam areal ( $\alpha+\beta$ ). Pada diagram fasa Zr-Si dapat

dilihat bahwa dengan penambahan konsentrasi Si 0.1% - 0.25% pemanasan sampai 800° C akan terjadi fase  $\alpha$  Zr.



Gambar 1. Diagram fasa Zr-Si <sup>[10]</sup>

#### • Pengaruh Oksidasi

Oksidasi adalah suatu proses di mana materi yang bereaksi kehilangan elektron-elektron valensi, yang digambarkan dengan rumus: <sup>[9]</sup>



Proses ini paling sering terjadi karena reaksi antara suatu logam dengan oksigen, tetapi uap belerang (*sulfur*) dan halogen dalam keadaan gas atau cair juga dapat menimbulkan efek yang sama.

Reaksi antara logam dengan oksigen membentuk oksida, yang kadang-kadang komposisinya bisa berbeda-beda tergantung pada temperatur dan tekanan dari medium pengoksidasi (*oxydizing medium*). Sifat lapisan oksida tersebut akan mempengaruhi kinetika pembentukan dan pertumbuhannya. <sup>[9]</sup> Pada oksida dengan hantaran ion, laju pertumbuhan dapat dihambat dengan adanya

kekurangan pasokan elektron dari logam menuju antarmuka gas-oksida akibat sifat hantaran elektron yang rendah pada oksida. Pada oksida dengan hantaran elektron, laju pertumbuhan tergantung pada perpindahan dan pasokan ion yang terus-menerus ke permukaan oksida atau antarmuka oksida-logam. <sup>[8]</sup>

Berdasarkan mekanisme pertumbuhan lapisan oksida, ketahanan terhadap oksidasi suatu logam memungkinkan untuk ditingkatkan dengan menambahkan unsur-unsur pepadu yang sesuai. <sup>[8]</sup>

Dalam pelaksanaannya, luas permukaan sampel diperoleh dengan mengukur dimensi panjang, lebar, ketebalan, dan diameter lubang pada sampel. Hasil pengukuran tersebut dimasukkan ke persamaan berikut <sup>[11]</sup> :

$$\dots\dots(1)$$

dengan :

- A = luas permukaan spesimen, mm<sup>2</sup>
- p = panjang spesimen, mm
- l = lebar spesimen, mm
- t = ketebalan spesimen, mm
- d = diameter lubang pada spesimen, mm

Uji oksidasi dilaksanakan dalam *autoclave* berisi air pada temperatur 350 °C dengan tekanan 8 bar. Pertambahan berat karena pertumbuhan lapisan oksida dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta w = \frac{(w_2 - w_1)}{A} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- Δw = pertambahan berat, mg/dm<sup>2</sup>
- w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub> = berat spesimen sebelum dan sesudah uji oksidasi, mg
- A = luas permukaan total spesimen, dm<sup>2</sup>

**TATA KERJA**

● **Bahan**

Bahan yang digunakan adalah ingot paduan Zr-1,5w%Nb-Si dengan variasi Si 0,1% ; 0,2% ; 0,25% .

● **Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: peralatan preparasi sampel, timbangan analitik, jangka sorong, *autoclave*

● **Cara Kerja**

Ingot paduan Zr-1,5w%Nb-Si dengan variasi Si 0,1% ; 0,2% ; 0,25% hasil anil temperatur 400 °C, 600 °C dan 800 °C dikenai proses pikling dengan metode ASTM G 2M. Setelah itu dicuci dengan air bebas mineral dan dikeringkan kemudian ditimbang sebelum diuji korosi. Selanjutnya sampel diuji korosi dengan alat *autoclave* pada tekanan 8 bar dan temperatur 350 °C dengan waktu

penahanan berturut turut 8 jam, 15 jam dan 24 jam. Sampel hasil uji korosi kemudian ditimbang lagi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari ketiga gambar yakni Gambar 2, 3 dan 4 yang menampilkan hubungan antara laju korosi dengan variasi kandungan Si ditinjau dari perlakuan panas pada sampel sebelum diuji korosi, diperoleh laju korosi terendah pada perlakuan anil dengan waktu penahanan 6 jam. Pada waktu korosi 8 jam, korosi terendah terjadi pada sampel anil 400 °C, 6 jam, dengan persamaan laju korosi  $Y = 2.7875 X^{-0.1776}$ . Pada waktu korosi 15 jam laju korosi terendah diperoleh pada sampel dengan temperatur anil 600 °C, 6 jam dengan persamaan laju korosi  $Y = 2.6748X^{-0.2583}$ . Sementara itu, untuk waktu korosi 24 jam diperoleh laju korosi terendah terjadi pada sampel dengan temperatur anil 800 °C, waktu 6 jam dengan persamaan laju korosi  $Y = 1.1165 X^{-0.9969}$ . Hal ini dapat dijelaskan bahwa perlakuan panas (anil) yang semakin lama akan mengurangi bahkan menghilangkan cacat - cacat yang terdapat dalam bahan<sup>[8,9]</sup>, sehingga berpengaruh terhadap ketahanan korosi bahan yaitu semakin meningkatnya ketahanan korosi paduan Zr-1,5w%Nb-Si.

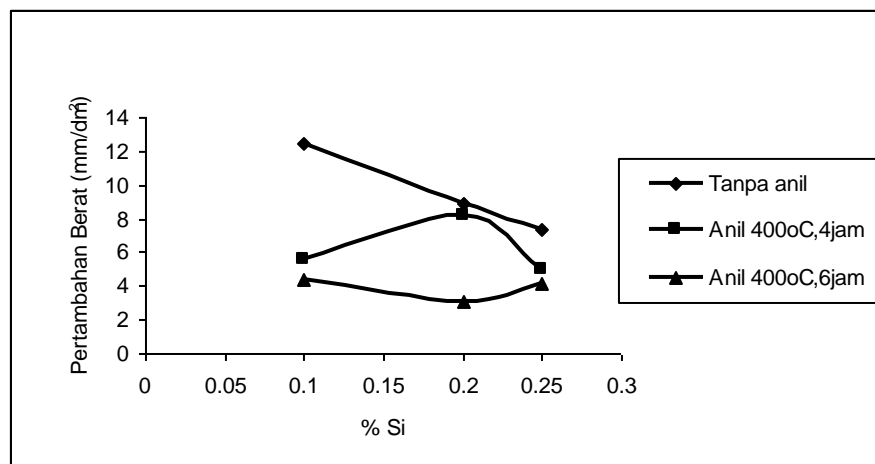
Ditinjau dari waktu korosi yang berbeda, pengaruh kandungan Si terhadap laju korosi diperoleh laju korosi yang terendah dengan waktu korosi 15 jam sekitar 3-8 mg/dm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi pada sampel dengan kondisi anil temperatur 600 °C dan waktu 6 jam dengan korelasi  $Y = 2.6748X^{-0.2583}$ . Menurut literatur<sup>[8,9]</sup> semakin tinggi temperatur dan waktu anil pada suatu logam, maka cacat-cacat dislokasi pada logam tersebut semakin berkurang. Oleh karena itu seharusnya laju korosi terendah terjadi pada sampel dengan temperatur anil 800°C, bukan pada temperatur anil 600°C. Hal ini disebabkan kemungkinan terjadinya

pelepasan lapisan oksida korosi pada saat uji korosi berlangsung, sehingga dapat mengurangi berat sampel uji korosi dengan temperatur anil 800°C.

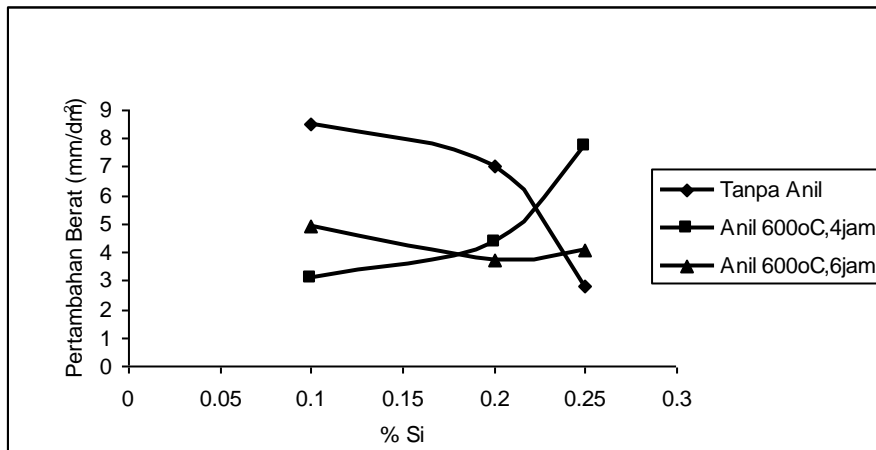
Apabila ditinjau dari penambahan unsur Si, dari ketiga gambar yakni Gambar 2, 3 dan 4 dapat dilihat bahwa dengan semakin lama waktu korosi maka semakin meningkat pertambahan berat sampel uji, disebabkan jumlah oksida yang terbentuk semakin banyak. Penambahan unsur Si sampai 0,2 % menghasilkan pertambahan berat pada hasil uji korosi pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si semakin menurun disebabkan jumlah oksida yang terbentuk semakin sedikit.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan Si sampai 0,2% ke dalam

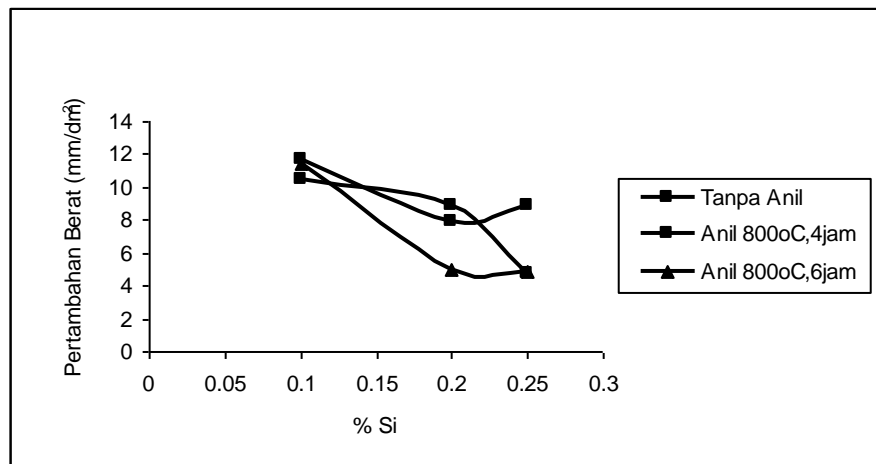
paduan akan membentuk fase kedua Zr-Si. Penambahan kadar Si lebih dari 0,2 % mengakibatkan kelebihan Si yang tidak sempat membentuk senyawa Zr-Si. Unsur Si yang berdiri sendiri akan mengakibatkan kerusakan korosi lebih lanjut pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si sehingga ketahanan korosinya menurun<sup>[2]</sup>. Ditinjau dari penambahan kadar Si, diperoleh laju korosi terendah dengan temperatur 350°C dan waktu korosi 24 jam yaitu pada penambahan kadar Si sampai 0,2%, dan terjadi pada sampel yang mengalami anil pada temperatur 800 °C dan waktu penahanan 6 jam seperti tampak pada Gambar 4. Kurva tersebut mempunyai persamaan  $Y = 1.1165 X^{-0.9969}$



Gambar 2. Korosi pada temperatur 350°C, waktu 8 jam



Gambar 3. Korosi pada temperatur 350°C, waktu 15 jam



Gambar 4. Korosi pada temperatur 350°C, waktu 24 jam

### SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh kandungan Si pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si terhadap laju korosi menunjukkan bahwa dengan penambahan Si sampai 0,2% pertambahan berat hasil uji korosi pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si semakin menurun. Penambahan kadar Si lebih dari 0,2 % mengakibatkan kerusakan korosi lebih lanjut pada paduan Zr-0,5w%Nb-Si sehingga ketahanan korosinya menurun. Ditinjau dari penambahan kadar Si, diperoleh laju korosi terendah dengan temperatur 350°C dan waktu korosi 24 jam

yaitu pada penambahan kadar Si sampai 0,2%, dan terjadi pada sampel yang mengalami anil 800 °C dan waktu penahanan 6 jam.

### DAFTAR PUSTAKA

1. SIGIT, WIDJAKSANA, MUCHLIS. B,R.A.SURYANA.: Analisis Fenomena Proses Pengompakan Serbuk Zircaloy-4, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PPNY-BATAN, Buku II,ISSN 0216-3128, Yogyakarta, April 1995, hal 125-130.

2. PARVENOV B.G., GERASIMOV V.V., IVENEDIKTOVA G.: *Corrosion Zirconium and Zirconium Alloys*, Israel Program for Scientific Translation Jerusalem, 1969, Hal 10,18-23.
3. SIGIT.: *Bahan Dukung dan Struktur*, Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir, Serpong, 10-26 juli 1995, hal 11.
4. SUGONDO, MUCHLIS.B.: *Optimasi Karakteristik Ketahanan Korosi Zirkaloi melalui variabel pemadu*, Seminar FTUI, PEBN-BATAN, 4-7 Agustus 1998, hal 3-4.
5. THADEUS B.MASSAKI, HIROAKI OKAMATO, P.RSUBRAMANIAN, LINDA KACPZAK.: *Binary Alloy Phase Diagrams.*: ASM International Second Edition, Vol 2-3.
6. DALGAARD,S.B.: *Ibid* , hal 159
7. ELLS,C.E.et al.: *Prosedings of the Third UN International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, Geneva, 1964.
8. JASTRZEBSKI, Z.D., 1987.: *The Nature and Properties of Engineering Materials*, John Wiley & Sons, New York
9. SEDLACEK, V., 1986.: *Non-ferrous Metal and Alloys*, Elsevier, Praha, hal. 415.
10. BENJAMIN LUSTMAN,1955.: *The Metallurgy of Zirconium*", New york, p.469-472, 537-545
11. ...., 1993.: *Standard Test Method for Corrosion Testing of Zirconium, Hafnium, and Their Alloys in Water at 633°K or in Steam at 673°K [Metric]*, G 2M, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 02.04, ASTM, Philadelphia, Hal. 811-817.