

## PLASTISITAS PADUAN V-Y PADA SUHU TINGGI

Hadi Suwarno

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Serpong

### ABSTRAK

**PLASTISITAS PADUAN V-Y PADA SUHU TINGGI.** Komponen material struktur untuk reaktor fusi harus memiliki karakter yang baik, diantaranya ketahanan plastisitas tinggi pada kenaikan suhu yang tinggi. Paduan vanadium-itrium dibuat dengan komposisi V-1,6% berat Y dan V-2,6% berat Y untuk pengembangan material struktur reaktor fusi. Pembuatan paduan dilakukan pada sebuah mesin *hot isostatic press* pada suhu 1173 K dan tekanan 200 MPa. Hasil analisis material dengan difraktometri sinar-X dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) menunjukkan bahwa paduan bercampur dengan sempurna dan tidak dijumpai adanya senyawa baru. Uji material dalam bentuk uji tarik pada suhu tinggi dengan menggunakan spesimen mini menunjukkan bahwa adanya itrium dapat memperbaiki plastisitas vanadium.

**KATA KUNCI:** plastisitas, paduan vanadium -itrium, reaktor fusi, *hot isostatic press*, *Transmission Electron Microscopy* (TEM)

### ABSTRACT

**PLASTICITY OF V-Y ALLOY AT HIGH TEMPERATURE.** *Structural material components for fusion reactor must possess good characters, one of which is high plastic resistance under moderate temperature. Vanadium and yttrium metals are alloyed at a composition of V-1.6%wt Y and V-2.6%wt Y in order to develop the structural materials for fusion reactors. Alloying of the materials is conducted in a hot isostatic press machine at the temperature of 1173 K and pressure of 200 MPa. Analytical measurements of the alloys using X-ray Diffractometry and Transmission Electron Microscopy (TEM) indicated that no new compounds were observed. Tensile test measurement at high temperatures using mini specimen tests showed that the presence of yttrium improved the plasticity of vanadium.*

**FREE TERMS:** *plasticity, vanadium-yttrium alloy, fussion reactor, hot isostatic press, Transmission Electron Microscopy (TEM)*

## I. PENDAHULUAN

Energi dari penggabungan inti atom memiliki potensi dan kontribusi besar pada kebutuhan akan pertumbuhan energi di masa yang akan datang. Dengan semakin berkembangnya teknologi fusi, untuk waktu 40 tahun ke depan energi tenaga fusi diramalkan sudah bisa diwujudkan secara komersial sebagai pembangkit listrik tenaga fusi (PLTF)<sup>[1]</sup>. Dari awal pengembangan energi fusi yang dilakukan, telah ditunjukkan bahwa masalah utama untuk pembangkitan energi fusi adalah tersedianya material yang memadai, yaitu mampu digunakan sebagai media berlangsungnya reaksi fusi yang terjadi pada suhu tinggi. Baja austenit yang diharapkan bisa mengatasi hal ini ternyata tidak bisa memenuhi syarat yang diperlukan seperti *swelling* yang terlalu tinggi, sifat termal yang rendah, helium *embrittlement* serta ketidakstabilan mikrostrukturnya sehingga mendorong penelitian lanjut untuk pengembangan material terkait. Baja feritik/martensitik dalam bentuk *reduced activation (RAFM)*, yaitu

banyak mengandung vanadium, sudah banyak diteliti dan ternyata memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan baja austenit, meskipun belum terlalu signifikan<sup>[2]</sup>. Keramik dalam bentuk komposit SiC/SiC, paduan vanadium, kromium juga dilaporkan cukup menjanjikan untuk digunakan sebagai dinding reaktor fusi<sup>[3]</sup>.

Paduan vanadium memiliki sifat yang menarik bila digunakan untuk bahan struktur reaktor fusi karena memiliki ketahanan tinggi terhadap pengaruh radioaktivitas dan memiliki keuletan bahan yang baik pada suhu rendah<sup>[4-8]</sup>. Namun, bahan ini menjadi rapuh akibat iradiasi neutron pada suhu di bawah 400 °C<sup>[9-10]</sup>. Karena bidang batas butir dan bidang batas (*interface*) dari mikrostruktur secara umum merupakan lokasi terjadinya cacat dislokasi, maka perbaikan mikrostruktur pada bidang-bidang batas tersebut diharapkan akan memperbaiki sifat bahan, terutama terhadap panas dan iradiasi.

Itrium difungsikan sebagai bahan isian yang diharapkan akan mengeliminasi sifat rapuh yang dialami oleh vanadium pada suhu tinggi yaitu diharapkan akan memperbaiki mikrostruktur vanadium. Karena itrium tidak difungsikan sebagai bahan isian, maka material ini tidak ditambahkan dalam bentuk senyawa tetapi merupakan sebagai bahan isian sehingga ikatan yang terjadi adalah ikatan logam. Cara ini ditempuh untuk menghindari terbentuknya senyawa V-Y yang akan mengubah sifat vanadium. Maksud penelitian ini adalah untuk mempelajari sifat mekanik paduan V-Y pada suhu tinggi.

## II. TATA KERJA

Logam paduan V-1,6Y dan V-2,6Y dibuat dari serbuk vanadium dengan 1,6 % dan 2,6% berat Y dengan mencampur secara mekanik (*mechanical alloying*) pada *high energy planetary ball mill* dengan ukuran partikel bervariasi <500 nm. Hasil *ball milling* kemudian dipres dengan *hot isostatic pressing* pada suhu 1173 K dan tekanan 200 MPa selama 3 jam dalam atmosfer argon dengan tujuan agar tidak terbentuk senyawa baru yang akan mengubah karakter vanadium. Hasil pres kemudian dibubut dan dipotong menjadi specimen uji tarik mini dengan *gage length* 50 mm dan tebal 0,5 mm. Tabel 1 memuat komposisi kimia paduan V-Y yang diperoleh dari hasil analisis unsur. (Penulis tidak terlibat dalam analisis kimia). Kandungan tungsten dan kobalt berasal dari bola-bola dan dinding baja selama *mechanical alloying* berlangsung, sedangkan argon yang terlarut sangat kecil.

Analisis mikrostruktur dilakukan dengan *Transmission Electron Microscopy* dan difraktometri sinar-X. Specimen untuk TEM dibuat dari *foil* dengan *twin-jet electropolishing* menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan CH<sub>3</sub>OH dengan perbandingan volum masing-masing 5% dan 95%. Preparasi dilakukan pada suhu 5 °C dan tegangan 20 volt. Kekerasan bahan diukur dengan metode kekerasan mikro *Vicker* dengan beban 1,96 N pada 20 detik.

Uji tarik dilakukan pada mesin buatan *Instron* model 1362 yang dilengkapi dengan pemanas jenis RF yang bisa memanaskan sistem hingga suhu 3073 K. Untuk membaca suhu di dalam sistem digunakan *pyrometer* digital yang diletakkan di depan kaca pengamat. Untuk mengendalikan suhu di luar titik ukur, sistem dilengkapi dengan pendingin air.

Tabel 1. Komposisi kimia paduan V-Y dalam % berat

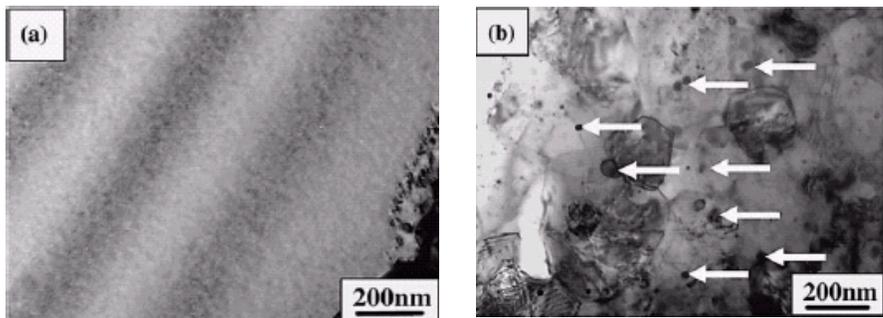
Komposisi	Y	O	N	C	H	W	Co	Ar	V
V-1,6Y	1,56	0,141	0,075	0,022	0,0004	0,09	-	0,0012	<i>sisia</i>
V-2,6Y	2,57	0,175	0,300	-	-	0,03	<0,003	-	<i>sisia</i>

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Mikrostruktur Paduan V-Y

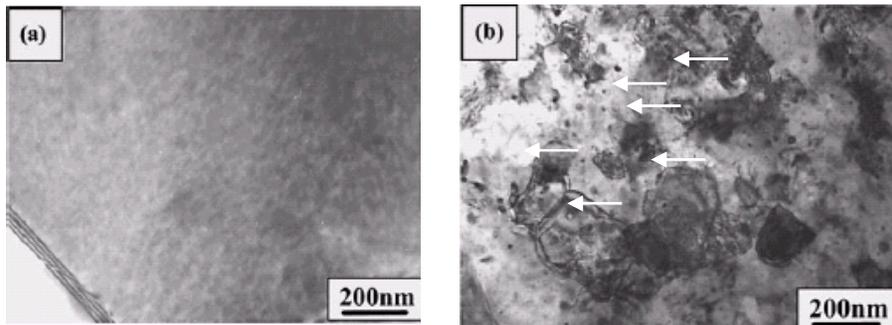
Paduan V-Y yang dipilih pada studi ini mengandung butiran halus dengan ukuran diameter beberapa ratus nanometer dan sejumlah kecil butiran kasar yang berdiameter beberapa mikron. Campuran paduan V-Y ini dengan besar butir  $< 1 \mu\text{m}$  dikategorikan sebagai butiran halus dengan rata-rata besar butir adalah 303 nm dan 170 nm untuk V-1,6Y. Gambar 1(a) dan 1(b) menampilkan mikrostruktur paduan V-1,6Y untuk daerah butiran kasar dan butiran halus. Dari Gambar 1(a) tampak tidak ada kandungan partikel bebas yang menunjukkan bahwa konsentrasi itrium dan impuritas sebagai logam sisipan sangat rendah. Dari hasil analisis dengan X-ray difraktometer (data tidak ditampilkan dalam makalah ini) dijumpai adanya  $\text{Y}_2\text{O}_3$  pada daerah butiran halus yang ditunjukkan oleh tanda panah pada Gambar 1(b).

Diindikasikan pula adanya YN di dalam kedua paduan V-Y karena adanya kenaikan nilai kekerasan paduan, meskipun hal ini sulit dibuktikan dengan bantuan analisis difraktometri sinar-X maupun TEM. Sedangkan tidak adanya pengaruh W pada paduan tersebut, meskipun komposisinya cukup tinggi, menunjukkan bahwa pengepresan pada suhu 1173 K tidak menyebabkan terbentuknya larutan padat Y-W.



Gambar 1. Mikrostruktur paduan V-1,6Y diambil pada (a) daerah butiran kasar (*coarse grain*) dan (b) daerah butiran halus (*fine region*). Tanda panah adalah partikel  $\text{Y}_2\text{O}_3$ .

Gambar 2(a) dan 3(b) adalah mikrostruktur paduan V-2,6Y untuk daerah butiran kasar dan butiran halus. Seperti halnya Gambar 1, partikel  $\text{Y}_2\text{O}_3$  hanya dijumpai pada daerah butiran partikel halus. Jumlah partikel di dalam paduan V-2,6Y lebih besar dibanding dengan hal yang sama pada paduan V-1,6Y. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan nitrogen di dalam paduan V-2,6Y lebih besar dibanding paduan V-1,6Y. Ukuran butir partikel rata-rata untuk paduan V-2,6Y sedikit lebih besar dibanding dengan paduan V-1,6Y. Pada Gambar 2(a) seperti halnya Gambar 1(a), juga tidak tampak ada kandungan partikel bebas yang menunjukkan bahwa konsentrasi itrium dan impuritas sebagai logam sisipan sangat rendah. Pada paduan V-2,6Y juga dicurigai adanya senyawa YN karena kandungan nitrogen di dalam paduan relatif tinggi dibanding dengan paduan V-1,6Y. Namun hal ini juga tidak bisa dibuktikan dengan analisis difraktometri sinar-X maupun TEM (data tidak dapat ditampilkan dalam makalah ini).



Gambar 2. Mikrostruktur paduan V-2,6Y diambil pada (a) daerah butiran kasar (*coarse grain*) dan (b) daerah butiran halus (*fine region*). Tanda panah adalah partikel  $Y_2O_3$ .

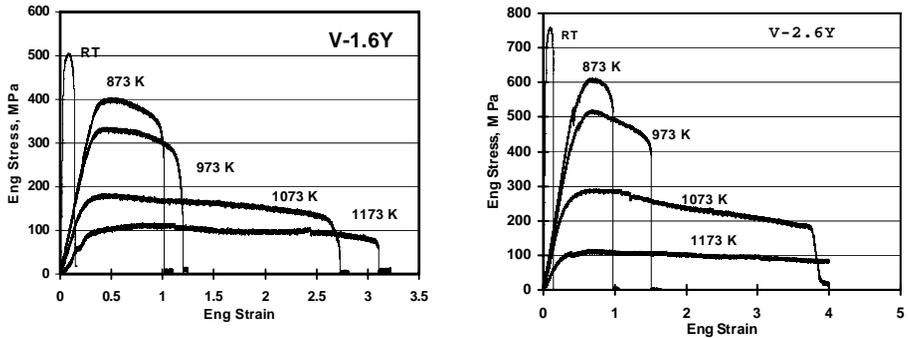
### 3.2 Uji Kekerasan Mikro

Hasil pengukuran kekerasan mikro paduan V-1,6Y dan V-2,6Y masing-masing adalah 185 dan 278 menurut bilangan Vickers, sedikit lebih tinggi dibanding logam vanadium. Dari hasil analisis komposisi kimia, pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa kandungan N cukup besar di dalam paduan dan hal ini diperkirakan berasal dari impuritas gas argon yang digunakan dalam penelitian ini. Adanya N menyebabkan naiknya nilai kekerasan bahan. Karena belum ada data lain yang menunjukkan bahwa adanya Y menaikkan kekerasan bahan, maka kenaikan kekerasan pada paduan ini hanya disebabkan adanya N.

### 3.3 Uji Tarik Panas

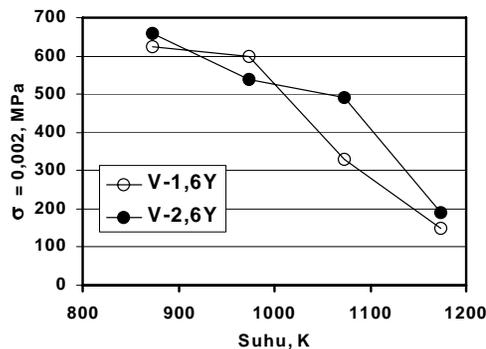
Gambar 3 menampilkan hasil uji tarik paduan V-1,6Y (Gambar 3(a)) dan V-2,6Y (Gambar 3(b)) pada suhu kamar hingga 1173 K. Dari Gambar 3 tampak bahwa plastisitas bahan semakin besar pada suhu yang semakin tinggi, baik untuk paduan V-1,6Y dan V-2,6Y dan sebagai konsekuensinya menurunkan sifat elastis material. Selain itu, pengaruh kandungan itrium menaikkan elastisitas paduan dan semakin besar kandungan itrium sifat plastis bahan semakin besar pula. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh adanya itrium akan memperbaiki sifat material. Dari Gambar 3 juga menunjukkan bahwa peristiwa *necking* yang terjadi pada masing-masing paduan terjadi pada harga *plastic strain* yang relatif tidak jauh berbeda meskipun berlangsung pada suhu yang bervariasi, kecuali pada suhu kamar, yaitu terjadi pada harga  $\epsilon_{0,002} = 0,3 \sim 0,4$ .

Dari Gambar 3(b) tampak ada garis terputus, yaitu data uji tarik untuk suhu 1173 K. Garis terputus ini disebabkan oleh kapasitas simpan data yang terbatas selama percobaan berlangsung. Meskipun demikian dapat diperkirakan bahwa harga  $\epsilon$  tidak melebihi 5.



Gambar 3. Hasil uji tarik paduan (a) V-1,6Y dan (b) V-2,6Y pada suhu yang bervariasi

Gambar 4 menampilkan *yield stress* yang diambil pada *plastic strain*  $\epsilon = 0,002$  terhadap suhu. Dari Gambar 4 tampak bahwa penurunan *yield stress* tampak linier kecuali pada suhu 973 K untuk paduan V-1,6Y dan pada suhu 1073 K untuk paduan V-2,6Y, yaitu masing-masing tampak melonjak terlalu tinggi. Dari hasil analisis terhadap kedua paduan tampak bahwa kandungan itrium akan mempengaruhi harga *yield stress* paduan, yaitu semakin besar kandungan itrium semakin turun harga *yield stress* paduan. Penurunan harga *yield stress* sewaktu suhu dinaikkan menunjukkan fenomena wajar karena terjadi perubahan sifat plastis paduan. Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa penambahan itrium ke dalam logam vanadium memperbaiki sifat plastis bahan, sehingga paduan V-Y, terutama V-2,6Y dapat dipromosikan sebagai struktur pendukung untuk dinding pertama reaktor.



Gambar 4. *Yield stress* diukur pada *plastic strain*,  $\epsilon_{0,002}$ , paduan V-Y pada suhu bervariasi

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis uji kekuatan tarik paduan pada suhu yang bervariasi menunjukkan bahwa penambahan itrium pada vanadium dapat memperbaiki plastisitas vanadium.
2. Kecurigaan terbentuknya paduan YN yang diindikasikan dengan kenaikan harga kekerasan paduan tidak dapat dibuktikan dengan analisis difraktometri sinar-X maupun TEM.
3. Metode spesimen mini merupakan metode uji yang sedang berkembang dan belum ada standar uji yang diakui secara internasional. Namun, korelasi hasil uji spesimen mini dengan metode *full size* akan segera terwujud dalam waktu tidak lama lagi.
4. Analisis *Luders band* terhadap *work-hardening rate* perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci tentang karakter paduan ini.

#### V. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. H. Kurishita dan Prof. H. Matsui, *The Oarai Branch, Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University*, yang telah mengundang penulis untuk melakukan penelitian dalam paket *post-doctoral program*. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Sengo Kobayashi, *Department of Material Science and Engineering, Ehime University*, yang telah melibatkan Penulis dalam penelitian paduan ini. Akhirnya ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf *IMR*, khususnya staf administrasi, yang telah membantu Penulis selama melaksanakan penelitian ini.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

1. LAKO, P., YBEMA, J.R., and SEEBREGTS, A.J., “The Long-term Potential of Fusion Power in Western Europe”, RCN-C-98-071, December 1998.
2. HISHINUMA, A., et al., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 193, 1998, p.258.
3. SHAMARDIN, V., *Proceedings of the IEA Working Group Meeting on RAFM Steels*, JAERI, Tokyo, 3-4 November 1997.
4. RICHTER, D., FORREST, R.A., FREIESLEBEN, H., KOVALCHUCK, V.D., MARKOVSKIJ, D.V., SEIDLE, K., TERESHKIN, V.I., and UNHOLZER, S., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 283-287, 2000, p.1434.
5. MATSUI, H., FUKUMOTO, K., SMITH, D.L., CHUNG, H.M., VAN WITZENBURG, W., and VOTINOV, S.N., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 233-237, 1996, p.92.
6. SMITH, D.L., LOOMIS, B.A., and DIERCKS, D.R., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 135, 1985, p.125.
7. ZINKLE, S.J., MATSUI, H., SMITH, D.L., ROWCLIFFE, A.F., VAN OSCH, E., ABE, K., and KAZANOV, V.A., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 258-263, 1998, p.205.
8. MUROGA, T., NAGASAKA, T., ABE, K., CHERNOV, V.M., MATSUI, H., SMITH, D.L., Xu, Z.Y., and ZINKLE, S.J., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 307-311, 2002, p.547.
9. CHUNG, H.M., and SMITH, D.L., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 258-263, 1998, p.1442.
10. VAN OSH, E.V., and DE VRIES, M.I., *Journal of Nuclear Material*, Vol. 271-272, 1999, p.162.