

KAJIAN METODE PRODUKSI SERBUK PADUAN LOGAM URANIUM-MOLYBDENUM

M. Husna Al Hasa

Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan
Daur Ulang – Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK — KAJIAN METODE PRODUKSI SERBUK PADUAN LOGAM URANIUM-MOLYBDENUM. Paduan uranium logam U-Mo merupakan kandidat bahan bakar dispersi berdensitas tinggi dengan pengkayaan uranium rendah. Paduan ini relatif ulet dan tidak dapat dikonversikan menjadi bentuk serbuk menggunakan proses penggerusan dengan *ball-mill*, seperti yang dilakukan pada Uranium silisida. Pembuatan serbuk paduan uranium logam U-Mo dapat dilakukan dengan beberapa metode proses, yaitu proses penggerindaan, atomisasi dan proses hidridasi-dehidrasi. Proses penggerindaan relatif tidak efisien dan tingkat kontaminasi relatif tinggi. Proses atomisasi menghasilkan serbuk dalam bentuk *spherical* yang cenderung bersegregasi dari bahan matrik. Proses hidridasi-dehidrasi dapat menghasilkan serbuk yang relatif halus dan relatif lebih sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar dispersi. Proses hidridasi-dehidridasi ini relatif memungkinkan dikembangkan untuk memproduksi serbuk ingot paduan uranium ulet, seperti paduan U-Mo.

ABSTRACT — *A STUDY ON THE METHODS OF URANIUM-MOLYBDENUM POWDER PRODUCTION. U-Mo alloy is a potential candidate of dispersed fuel with high density and low uranium enrichment. Unlike U-Si fuel type, this alloy is relatively ductile and not able to be converted into powder by ball-milling process. The production process of U-Mo powder can be performed by several methods, i.e. mechanical grinding, atomization, and hydriding-dehydriding. Mechanical grinding is relatively inefficient with high contamination degree, while atomization method may result in spherical form powder which tends to segregate readily from the matrix. Hydriding-dehydriding method, on the other hand, results in relatively finer and irregular powder which is more suitable for dispersed-type nuclear fuel. The hydriding-dehydriding process seems to be more feasible for the production of U-Mo alloy powder.*

I. PENDAHULUAN

Proses produksi bahan bakar densitas tinggi U-Mo menggunakan serbuk sebagai bahan bakar dasar. Pengembangan bahan bakar densitas tinggi ini dibutuhkan untuk mengkonversi reaktor berdaya tinggi yang akan menggunakan paduan logam dari bahan bakar pengkayaan tinggi ke bahan bakar berpengkayaan rendah^[1]. Pada pengalaman sebelumnya dengan bahan bakar uranium oksida atau logam relatif mudah memfabrikasi serbuk dengan metode penggerusan. Metode penggerusan dengan *ball-mill* umumnya digunakan untuk memfabrikasi serbuk bahan yang bersifat getas atau *brittle*, sedangkan bahan yang bersifat ulet atau lunak cenderung mengalami kesulitan. Dalam metalurgi serbuk, ukuran dan bentuk serbuk serta keuletannya merupakan parameter yang sangat menentukan dalam proses

fabrikasi serbuk^[2]. Distribusi ukuran partikel serbuk menentukan pula kemampuan kompaksi serbuknya dalam pengepresan; ukuran yang relatif kecil akan menghasilkan kekuatan/kepadatan yang lebih besar^[2,3]. Selain itu, bentuk serbuk akan mempengaruhi kekuatan hasil kompaksi pengepresan dan tingkat segregasi campuran serbuk. Bentuk serbuk *spherical* relatif kecil terjadi interaksi gesekan dan cenderung terjadi segregasi^[4]. Sementara itu, bahan logam yang relatif ulet akan lebih cepat berdeformasi menghasilkan ikatan adesi yang relatif baik untuk kompaksi hasil pengepresan^[4]. Namun, bahan yang ulet relatif sukar dalam memfabrikasi menjadi serbuk dengan menggunakan metode penggerusan di atas. Meskipun demikian, memfabrikasi serbuk bahan yang ulet dapat dilakukan dengan berbagai metode lain, seperti dengan penggerindaan mekanik, atomisasi dan metode hidridasi-

dehidridasi. Proses pembuatan serbuk dengan penggerindaan mekanik dapat dilakukan dengan cara sederhana menggunakan mesin bubut. Metode ini sangat sederhana, biaya relatif murah, pengoperasian dan waktu yang diperlukan relatif cepat. Sementara itu, pembuatan serbuk dengan proses atomisasi dapat dilakukan dengan cara menggunakan metode sentrifugal *disk* berputar dan metode fluida bertekanan tinggi. Metode atomisasi ini cenderung berbiaya tinggi karena memerlukan investasi awal yang besar untuk pengadaan peralatan yang secara khusus hanya dimiliki hak patennya oleh KAERI. Dalam kondisi ingot paduan U-Mo ber-fasa γ sifatnya relatif ulet dan relatif tidak mudah dibentuk menjadi serbuk dengan proses penggerindaan. Proses yang memungkinkan dilakukan untuk memperoleh serbuk antara lain adalah dengan metode hidridasi-dehidridasi. Proses hidridasi-dehidridasi ini merupakan salah satu metode yang didasari atas sifat uranium berfasa α dengan struktur orthorombik yang relatif mudah berreaksi dengan hidrogen membentuk senyawa UH_3 ^[5]. Pembentukan senyawa hidrida ini memungkinkan terjadi penggetasan dan perubahan volume yang akhirnya cenderung akan relatif mudah membentuk serbuk^[4,5]. Proses hidridasi dilakukan pada suhu antara 250-300 °C pada tekanan dan waktu tertentu hingga spesimen menyerap hidrogen membentuk UH_3 ^[5]. Setelah proses hidridasi kemudian dilakukan proses dehidridasi pada suhu 500 °C sehingga terjadi disosiasi UH_3 dengan lepasnya hidrogen secara perlahan-lahan yang mengakibatkan keretakan struktur butir terutama pada daerah batas butir yang langsung akan membentuk serbuk^[5].

II. METODOLOGI FABRIKASI

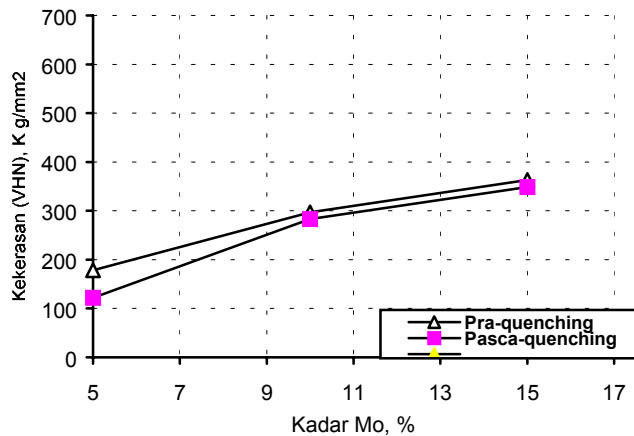
Produksi serbuk paduan diperoleh dengan dua tahapan proses, yaitu diawali dengan pembuatan ingot paduan dan pembuatan serbuk. Pembuatan ingot paduan diperoleh melalui beberapa proses yang dimulai dengan pemotongan, *degreasing*, *pickling*, penimbangan dan peleburan. Logam U dan Mo hasil pemotongan sebelum ditimbang terlebih dahulu dibersihkan permukaannya dengan cara *degreasing* dan *pickling* untuk menghilangkan kontaminan dan oksida. Penimbangan dilakukan sesuai dengan berat yang dikehendaki menggunakan timbangan analitik. Peleburan logam U bersama Mo dilakukan berulang-ulang dan dibolak-balik menggunakan pengarah busur listrik sebanyak 4 kali pengulangan. Sifat kekerasan ingot paduan hasil peleburan dilakukan pengukuran

dengan metode Vickers dan nilai kekerasan ditentukan secara merata.

Produksi serbuk dapat dilakukan dengan metode penggerindaan mekanik, atomisasi dan terutama dengan hidridasi-dehidridasi. Proses pembuatan serbuk dengan metode mekanik dapat dilakukan dengan cara pengirisan menggunakan mesin bubut. Pembuatan serbuk dengan metode atomisasi dapat dilakukan dengan cara menggunakan *disk* berputar dalam suasana gas *inert*. Proses pembuatan serbuk dengan metode hidridasi-dehidridasi dilakukan dalam tungku yang berisi gas hidrogen. Spesimen dipanaskan dalam tungku yang berisi gas hidrogen hingga mencapai suhu 250 °C dengan waktu tertentu dan tekanan tertentu sampai hidrogen terserap seluruhnya oleh spesimen. Penyerapan hidrogen oleh spesimen dikontrol dengan tekanan atau *flow* meter. Penyerapan hidrogen tersebut sekaligus terjadi reaksi antara uranium dengan hidrogen membentuk senyawa UH_3 . Spesimen dipanaskan kembali dalam tungku tanpa aliran gas hidrogen pada suhu 500 °C sehingga mengakibatkan hidrogen lepas dari spesimen karena terjadi disosiasi UH_3 . Akibat pelepasan hidrogen yang meninggalkan spesimen menyebabkan terjadinya keretakan butir bagian dalam (*intergranular cracking*). Sebagai akibatnya spesimen tersebut secara langsung menjadi serbuk dengan variasi bentuk dan ukuran butir.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil peleburan logam uranium-molibdenum dengan berat 10 gram menghasilkan ingot paduan U-Mo berukuran diameter berkisar 1,2 cm. Sifat kekerasan ingot paduan U-Mo relatif bersifat lunak, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 memperlihatkan juga bahwa perubahan komposisi paduan memberi dampak terhadap sifat ingot paduan yang cenderung kekerasannya meningkat. Demikian pula pengaruh perlakuan *quenching* memberi dampak perubahan sifat yang cenderung kekerasannya menurun. Dampak dari kedua perlakuan tersebut di atas terhadap sifat ingot paduan relatif masih dalam kondisi lunak atau ulet. Kondisi sifat ingot paduan yang demikian ini akan memberi dampak kesukaran pada saat melakukan fabrikasi ingot menjadi serbuk, terutama dengan cara penggerusan menggunakan *ball-mill*. Hal ini karena ingot paduan U-Mo di atas relatif bersifat ulet yang jauh lebih lunak sifat kekerasannya dibandingkan dengan ingot silisida yang memiliki sifat kekerasannya mencapai 850 HV. Penggerusan ingot menjadi serbuk dengan *ball-mill* relatif mudah dilakukan apabila ingot bersifat getas



Gambar 1. Variasi sifat kekerasan ingot paduan U-Mo

(*brittle*), seperti silisida. Sifat getas dan ulet ingot paduan relatif sangat dipengaruhi oleh sifat kekerasan paduan. Fabrikasi ingot paduan logam yang relatif ulet seperti ingot paduan U-Mo untuk diproses menjadi serbuk dapat dilakukan dengan menggunakan metode lain sebagaimana yang akan dikemukakan berikut ini.

Teknologi pembuatan serbuk paduan logam ulet U-Mo dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain dengan cara penggerindaan mekanik, atomisasi dan hidridasi-dehidridasi. Produksi serbuk paduan U-Mo yang telah dilakukan oleh Clark C.R dkk. (1999) dengan metode penggerindaan mekanik menggunakan mesin bubut menghasilkan serbuk dalam bentuk beram, seperti ditunjukkan pada Gambar 2a^[4]. Hasil pengamatan dan analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa produksi serbuk dengan metode penggerindaan mekanik ini menghasilkan serbuk dalam bentuk dan ukuran yang kurang sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini karena ukuran serbuk yang dihasilkan tersebut relatif lebih besar dari ukuran yang dipersyaratkan sebagai bahan dasar bahan bakar berkisar antara 40-180 μm . Metode penggerindaan mekanik ini memiliki kekurangan lain karena tingkat kontaminasi yang relatif tinggi dan deformasi mekanik yang relatif besar. Deformasi mekanik yang relatif besar akan berdampak terhadap peningkatan kerapatan dislokasi yang tinggi dan hal ini akan memberi peluang daerah nukleasi untuk memacu pembentukan gelembung gas selama iradiasi. Selain itu, jumlah serbuk yang dihasilkan dengan menggunakan metode penggerindaan mekanik ini relatif kurang memenuhi persyaratan untuk skala produksi karena laju produksinya yang relatif rendah.

Produksi serbuk dengan metode atomisasi dapat dilakukan dengan beberapa cara yang berbeda, antara lain dengan proses atomisasi menggunakan metode fluida bertekanan tinggi dan metode sentrifugal dengan elektroda berputar. Proses atomisasi dengan metode atomisasi sentrifugal elektroda berputar telah dikembangkan oleh KAERI^[6]. Produksi serbuk dengan metode atomisasi sentrifugal tersebut telah dilakukan oleh Ki Hwan Kim dkk. (1996) yang menghasilkan serbuk dalam bentuk *spherical* (berbentuk bola), seperti ditunjukkan pada Gambar 2b^[6]. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa produksi serbuk dengan metode atomisasi ini mampu menghasilkan serbuk berukuran 50-180 μm yang relatif masih sesuai dengan ukuran serbuk produksi bahan bakar dispersi^[6]. Metode atomisasi memiliki kelemahan karena serbuk yang dihasilkan umumnya berbentuk bola (*spherical*) yang relatif lebih mudah bersegregasi dari bahan matrik aluminium selama dan sesudah pencampuran.

Alternatif lain yang memungkinkan dipertimbangkan sebagai metode produksi serbuk untuk digunakan masa mendatang adalah metode hidridasi-dehidridasi. Metode hidridasi-dehidridasi ini memberi peluang optimisme yang relatif memuaskan sebagaimana yang telah dilakukan uji-coba oleh berbagai pihak yang terlibat dalam program RERTR^[7]. Proses hidridasi-dehidridasi telah digunakan sebagai metode produksi serbuk uranium sejak tahun 1950. Proses hidridasi-dehidridasi ini digunakan karena dipandang metode ini relatif sangat baik untuk menghasilkan serbuk hingga serbuk berukuran 25 μm . Produksi serbuk paduan uranium yang telah dilakukan oleh Clark C.R dkk. (1999) dengan metode hidridasi-dehidridasi menghasilkan serbuk dalam bentuk balok (*block*) yang *irregular*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2c^[4]. Hasil analisis ayakan

menunjukkan bahwa serbuk yang dihasilkan dengan metode hidridasi-dehidridasi ini memiliki ukuran yang bervariasi antara 45-150 μm yang relatif sesuai dengan ukuran serbuk yang diharapkan untuk bahan bakar dispersi. Perhatian khusus yang perlu diberikan kepada serbuk hasil metode ini adalah berkenaan dengan penanganannya yang harus dalam suasana kondisi gas *inert*. Sementara itu, produksi serbuk dengan metode hidridasi-dehidridasi yang dilakukan oleh Balarts, dkk (2000) menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan serbuk diawali dengan keretakan butir pada permukaan dan berlangsung terus hingga ke bagian dalam^[5]. Mekanisme *intergranular cracking* ini telah mulai terjadi pada saat proses hidridasi yang berlangsung pada suhu 250 $^{\circ}\text{C}$, seperti ditunjukkan pada Gambar 3^[5]. Hal ini dimungkinkan terjadi karena ingot paduan telah bereaksi dengan hidrogen membentuk senyawa hidrida. Ingot paduan dalam bentuk senyawa hidrida ini cenderung mengalami penggetasan akibat *hydrogen embrittlement* yang sangat berpotensi mengarah kepada keretakan^[8]. Pembentukan serbuk secara sempurna yang mengakibatkan seluruh ingot paduan berubah menjadi serbuk akan terjadi pada saat proses dehidridasi yang berlangsung pada suhu 500 $^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut senyawa hidrida (UH_3) akan mengalami disosiasi dengan keluarnya hidrogen dari ingot paduan dan yang tinggal hanya paduan uranium dalam bentuk serbuk.



a

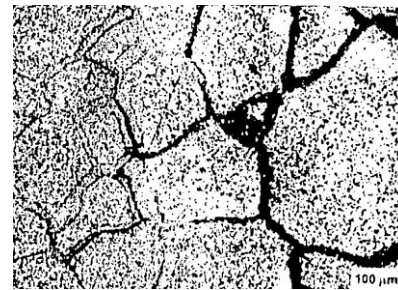


b



c

Gambar 2. Variasi bentuk serbuk hasil dari beberapa metode proses: a) Metode penggerindaan mekanik, b) Metode atomisasi, c) Metode hidridasi-dehidridasi^[4].



Gambar 3. Ingot paduan U-Mo hasil proses hidridasi^[5].

IV. KESIMPULAN

Ingot paduan U-Mo relatif bersifat lunak atau ulet dan akan memberi dampak kesukaran dalam pembuatan serbuk dengan proses penggerusan menggunakan *ball-mill*. Pembuatan serbuk dengan metode penggerindaan mekanik relatif kurang praktis untuk skala produksi. Selain itu, tingkat kontaminasi relatif tinggi dan dampak deformasi mekanik terhadap ingot paduan yang relatif besar yang berpotensi memacu pembentukan gelembung gas. Produksi serbuk hasil atomisasi cenderung berbentuk bola dan relatif mudah bersegregasi dari aluminium matrik. Metode hidridasi-dehidridasi mampu menghasilkan serbuk berukuran halus mencapai 25 μm . Metode hidridasi-dehidridasi ini relatif memungkinkan dikembangkan untuk memproduksi serbuk ingot paduan uranium ulet, seperti paduan U-Mo.

DAFTAR ACUAN

- [1] DAVID, G.H, "United States Policy Initiatives in Promoting The RERTR Program", Proceedings, The 19th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Seoul, Korea, 1996, p.14.

- [2] GOETZEL, C.C., "Treatise on Powder Metallurgy", Interscience Publishers Inc, New York, 1990, p.37.
- [3] DIETER, G.E., "Mechanical Metallurgy", 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 1981, p.210.
- [4] CLARK, C.R., et al., "Fuel Powder Production From Ductile Uranium Alloys", Proceedings, The 23rd International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, USA, 2000.
- [5] BALART, S., et al., "U-Mo Alloy Powder Obtained By A Hydride-Dehydride Process", Proceedings, The 23rd International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Las Vegas, USA, 2000.
- [6] KI HWAN KIM, et al., "Development of High Loading U-Mo Alloy Fuel by Centrifugal Atomization", Proceedings, The 19th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Seoul, Korea, 1996, p.127.
- [7] SOLONIN, M.I., et al., "Development of The Method of High Density Fuel Comminution By Hydride-Dehydride Processing", Proceedings, The 23rd International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Las Vegas, USA, 2000.
- [8] BENJAMIN, M.M.A., "Nuclear Reactor Material and Applications", VNR Company Inc, USA, 1983, pp. 133, 149.

DISKUSI

Ade Yunus

- Mengapa pada saat pembuatan bubuk dengan metode gerinda, kontaminasi yang terjadi relatif tinggi?

M. Husna Al Hasa

- Pembuatan serbuk paduan U-Mo dengan metode penggerindaan relatif tinggi tingkat kontaminasinya karena penambahan unsur atom asing yang berasal dari lingkungan peralatan maupun mata pahatnya dan kontaminan lainnya.

Tonny Siahaan

- Bagaimana pembuatan serbuk U-Mo?
- Mengapa harus dibentuk serbuk, bagaimana kalau dibuat melalui proses pengecoran?

M. Husna Al Hasa

- Paduan U-Mo dapat dibentuk menjadi serbuk dengan menggunakan beberapa metode, antara lain dengan metode penggerindaan, metode atomisasi, dan metode hidridasi-dehidridasi.
- Untuk memproduksi bahan bakar harus menggunakan U-Mo dalam bentuk serbuk sebagai bahan bakar dasar yang akan

dicampur dengan serbuk matriks aluminium dengan perbandingan tertentu. Sepengetahuan kami untuk membuat serbuk bahan bakar U-Mo melalui proses pengecoran relatif sukar karena spesifikasi serbuk yang diharapkan berukuran relatif halus dan kecil berkisar 40 µm. Selain itu, proses pengecoran memungkinkan terjadinya kontaminasi pada serbuk U-Mo. Apabila digunakan bahan bakar monolitik (bukan dispersi), maka memungkinkan dapat menggunakan proses pengecoran.

Nada Marnada

- Apa kelebihan dan kekurangan bahan bakar densitas tinggi U-Mo dibandingkan dengan bahan bakar yang umumnya dipakai?

M. Husna Al Hasa

- Kelebihan bahan bakar U-Mo antara lain memiliki densitas tinggi, meningkatkan tingkat muat U, dan dapat memperpanjang masa pakai bahan bakar serta burn-upnya relatif tinggi. Namun demikian, bahan bakar U-Mo bersifat relatif lunak, sehingga dalam proses fabrikasi serbuk tidak dapat menggunakan metode yang ada seperti dengan penggerusan.