

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Zircaloy atau paduan logam zirkonium merupakan material yang banyak digunakan dalam komponen struktur pendukung instalasi nuklir, terutama pada bagian struktur kelongsong bahan bakar. Hal ini dikarenakan paduan zirkonium mempunyai karakteristik yang dibutuhkan dalam pembuatan kelongsong bahan bakar, seperti sedikit mengabsorpsi neutron, kekerasan yang baik, serta tahan terhadap korosi meskipun berada pada temperatur tinggi (Benjamin, 1983; Ivanov dan Grigorovich, 1958; Mardon *et al.*, 2000; Eagleson, 1994).

Zirlo adalah paduan zirkonium generasi baru yang terdiri dari Zr, Sn, Nb, dan Fe. Zirlo dikembangkan sebagai pengganti *zircaloy-4* karena tahan terhadap korosi pada temperatur yang lebih tinggi (Murty dan Charit, 2006; Anghel, 2006; Lambert dan Strain, 1994; Nikulina *et al.*, 1996), memiliki ketahanan mulur yang tinggi, serta tahan terhadap radiasi (Yan, 2005; Garde, 2010; Sabol *et al.*, 1994; Sabol *et al.*, 1989; Isobe dan Matsuo, 1991; Harada *et al.*, 1991).

Berdasarkan karakteristik unggulan tersebut maka zirlo berpotensi untuk dikembangkan seiring dengan program peningkatan efisiensi daya reaktor air

bertekanan (PWR). Pengembangan bahan struktur kelongsong berbasis zirkonium ini bertujuan untuk mendapatkan paduan logam yang memiliki kekuatan, daya hantar panas, serta ketahanan korosi yang relatif lebih baik dari paduan sebelumnya (Garzarolli *et al.*, 1996; Sabol, *et al.*, 1989; Shishov *et al.*, 2002).

Salah satu langkah yang mungkin dapat dilakukan dalam proses pengembangan zirlo adalah menambahkan molibdenum (Mo) sehingga terbentuk paduan zirlo-Mo. Tujuan dilakukan penambahan ini karena Mo merupakan unsur pepadu yang mampu meningkatkan karakteristik paduan zirkonium yang telah ada sebelumnya, seperti pada *zircaloy-2* dan *zircaloy-4*. Beberapa peningkatan karakteristik tersebut dapat berupa peningkatan kekuatan tarik (Chun *et al.*, 2001; Williams *et al.*, 1972; Carpenter dan Waters, 1974), distribusi fasa dan homogenitas (Sabol *et al.*, 2000), ketahanan korosi (Lee dan Hwang, 2003), serta kekerasannya (Sugondo, 2005).

Untuk mengetahui karakteristik zirlo-Mo yang kemudian akan digunakan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir maka sebelumnya dibutuhkan studi mengenai karakteristik plat zirlo-Mo. Hal ini dikarenakan pembuatan plat zirlo-Mo merupakan dasar dari proses pembuatan kelongsong zirlo-Mo. Adapun proses fabrikasi yang dilakukan dalam pembuatan plat zirlo-Mo terdiri dari proses peleburan, β -quenching, pengerolan, dan penganilan (Foster *et al.*, 1993).

Pada proses peleburan akan terjadi pemaduan unsur-unsur yang ditambahkan, yaitu Sn, Nb, Fe, dan Mo dalam zirkonium. Peleburan dilakukan dengan

menggunakan tungku busur listrik (*arc furnace*) pada arus 150 A dengan peleburan ulang sebanyak 5 kali. Peleburan ini didasarkan pada penelitian Susanto (2010) yang mendapatkan paduan zirkonium dengan kualitas baik melalui metode tersebut. Proses kemudian dilanjutkan dengan β -*quenching* yang bertujuan untuk memperoleh fasa β -Zr karena fasa tersebut memiliki kelarutan lebih tinggi dibandingkan fasa α -Zr (Harbottle dan Stasser, 1994). Seperti pada logam lainnya dengan melakukan proses *quenching* akan terjadi proses pelarutan padat lewat jenuh dan peningkatan kekerasan (Chaidir *et al*, 2008).

Proses dilanjutkan dengan pengerolan yang bertujuan untuk menipiskan paduan zirlo-Mo. Namun, berdasarkan penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa pengerolan dapat meningkatkan kekerasan paduan zirkonium (Marjono, 1991; Bandriyana *et al.*, 2008). Sedangkan proses anil berfungsi untuk menghilangkan tegangan sisa akibat ketidakseragaman deformasi plastis yang muncul pada perlakuan mekanis. Adanya tegangan sisa ini akan mengurangi umur pakai bahan karena memicu atau mempercepat terjadinya korosi (Sugondo dan Futichah, 2007). Dengan demikian proses anil ini perlu dilakukan pada zirlo-Mo setelah proses pengerolan.

Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh penambahan unsur pepadu Mo dan fabrikasi yang dilakukan terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo. Untuk pengkarakterisasian tersebut dilakukan dengan menggunakan *micro hardness Vickers tester* pada uji kekerasan, mikroskop optik dan *scanning electron microscopy/energy dispersive*

spectrometry (SEM/EDS) untuk melihat mikrostruktur dan homogenitas, serta difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang telah dikemukakan maka dapat dibuat rumusan masalah secara lebih rinci sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil proses β -*quenching* terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo.
2. Bagaimana hasil proses pengerolan panas terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo.
3. Bagaimana hasil proses anil terhadap kekerasan dan mikrostruktur yang terbentuk pada zirlo-Mo.
4. Bagaimana hasil proses pengerolan dingin terhadap kekerasan dan mikrostruktur yang terbentuk pada zirlo-Mo.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pengaruh penambahan Mo pada fabrikasi zirlo-Mo adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo hasil dari β -*quenching*.
2. Untuk mengetahui kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo hasil dari pengerolan panas.
3. Untuk mengetahui kekerasan dan mikrostruktur yang terbentuk pada zirlo-Mo hasil dari anil.

4. Untuk mengetahui kekerasan dan mikrostruktur yang terbentuk pada zirlo-Mo hasil dari pengerolan dingin.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian dan pengamatan dengan penekanan kepada:

1. Sampel uji berupa zirlo dengan komposisi Zr-1%Sn-1%Nb-0,1%Fe dan diberi tambahan Mo dengan variasi 0,3%, 0,4%, dan 0,5% kemudian diproses sehingga didapatkan plat zirlo-Mo.
2. Proses β -quenching dilakukan pada temperatur 980°C.
3. Proses pengerolan terdiri dari pengerolan panas yang dilakukan pada temperatur 850°C dan pengerolan dingin.
4. Proses anil dilakukan pada temperatur 760°C, 650°C, dan 500°C.
5. Penelitian ini tidak meneliti pengaruh Mo terhadap penampang serap neutron, ketahanan korosi, ketahanan mulur, dan kerusakan akibat radiasi pada zirlo-Mo.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan Mo terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo.
2. Dapat mengetahui hasil dari setiap proses fabrikasi zirlo-Mo terhadap kekerasan, mikrostruktur, dan fasa yang terbentuk pada zirlo-Mo.

3. Dapat mengetahui jumlah penambahan Mo yang relatif baik berdasarkan sifat kekerasannya serta kemudahan untuk proses fabrikasi (ditunjukkan oleh sedikitnya retak pada plat).
4. Sebagai referensi ilmiah yang menjelaskan bagaimana pengaruh penambahan Mo terhadap karakteristik zirlo-Mo.