

## Intisari

Aluminium paduan dewasa ini semakin luas penggunaannya dalam bidang teknik karena kombinasi dari sifatnya yang mempunyai kekuatan tinggi dan ringan disamping tahan terhadap korosi. Salah satunya adalah penggunaan aluminium paduan untuk pembuatan kapal laut. Aluminium paduan yang banyak digunakan untuk pembuatan kapal adalah seri 5xxx (Al-Mg-Mn) dan 6xxx (Al-Mg-Si). Pada kapal besar material ini digunakan pada struktur seperti untuk panel-panel ruang akomodasi, geladak bangunan atas, sekat, tangki bahan bakar dan tangki air tawar. Paduan aluminium AA5083 dikenal memiliki ketahanan korosi sedangkan AA6061 lebih dikenal karena kekuatan. Pada suatu struktur, penyambungan dengan pengelasan pada dua jenis paduan berbeda ini dipastikan akan terjadi. Hal ini menimbulkan beberapa permasalahan karena keduanya memiliki sifat yang berbeda, yaitu AA5083 bersifat *non heat treatable* sementara AA6061 bersifat *heat treatable*. Pengelasan dengan teknik pengelasan fusi konvensional seperti *tungsten gas arc welding* (GTAW) dan *gas metal arc welding* (GMAW) tidak direkomendasikan untuk digunakan, karena tidak tersedianya logam pengisi (*filler*) yang cocok dan terjadi retak akibat perbedaan pembekuan karena variasi komposisi kimia. Pemecahan dari masalah tersebut adalah dengan metode penyambungan dalam kondisi padat (*solid state*) dan *friction stir welding* (FSW) yaitu salah satu teknik pengelasan yang tepat dan efektif untuk menyambungkan paduan aluminium yang berbeda. FSW adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji sifat-sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro), fatik, korosi, *corrosion fatigue* dan *stress corrosion cracking* (SCC) sambungan las tak sejenis (*dissimilar joint*) FSW serta pengaruh penambahan inhibitor kromat dan molibdat terhadap laju korosi, fatik korosi dan SCC.

Material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah AA5083 dan AA6061-T6 yang disambungkan dengan menggunakan metode pengelasan FSW. Bentuk sambungan *butt joint* dengan posisi AA 6061-T6 berada pada sisi *advancing*, sedangkan AA 5083 berada pada sisi *retreating*. Proses FSW ini dilakukan menggunakan mesin frais dengan variasi kecepatan putaran *tool* 910, 1500 dan 2280 rpm, kecepatan gerak pengelasannya tetap 30 mm/min dan sudut kemiringan 3°. *Tool* yang digunakan adalah baja AISI H13 yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap *thermal fatigue* dan bentuk pin silinder dengan perbandingan D/d sama dengan 3. Selanjutnya kajian yang dilakukan meliputi : kajian sifat-sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro), uji fatik, uji korosi, pengujian *corrosion fatigue* dan *stress corrosion cracking* pada sambungan las tak sejenis (*dissimilar joint*) ini. Pengujian korosi, pengujian *corrosion fatigue* dan pengujian *stress corrosion cracking* dilakukan dengan menggunakan media larutan 3,5% NaCl serta inhibitor (0,1, 0,2 dan 0,3%). Inhibitor yang dipergunakan adalah kromat dan molibdat yang bertujuan untuk mengendalikan laju korosi yang akan terjadi pada sambungan lasan.

Daerah/zona yang terbentuk pada sambungan las hasil FSW yaitu *Nugget zone* (NZ), *thermomechanically affected zone* (TMAZ) and *heat affected zone* (HAZ). Perbedaan kecepatan putaran *tool* mempengaruhi sifat mekanis

sambungan yang dihasilkan. Panas yang dihasilkan putaran *tool* menyebabkan pertumbuhan butir pada daerah lasan (NZ dan HAZ) sehingga dari hasil uji kekerasan, tarik, korosi dan fatik pada daerah ini mengalami penurunan dibandingkan dengan kedua logam induk. Peningkatan kecepatan putaran *tool* dari 900 ke 2280 rpm juga menghasilkan peningkatan nilai kekerasan, kekuatan tarik, ketahanan korosi dan kekuatan fatik sambungan. Sifat mekanik terbaik diperoleh pada sambungan las FSW dengan kecepatan putaran *tool* 2280 rpm. Hasil FSW dengan putaran *tool* 2280 rpm selanjutnya dipergunakan untuk spesimen pengujian korosi, fatik korosi dan SCC. Hasil pengujian korosi dalam larutan 3,5% NaCl tanpa dan dengan variasi penambahan inhibitor diperoleh suatu kesimpulan bahwa penambahan inhibitor kedalam larutan 3,5% NaCl baik kromat maupun molibdat mampu menurunkan laju korosi pada sambungan FSW. Inhibitor kromat memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan molibdat, yang artinya kromat memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan laju korosi dibandingkan dengan molibdat. Menurut data pengujian korosi, kromat dan molibdat mampu memberikan penghambatan yang kuat terhadap laju korosi paduan aluminium dalam larutan 3,5% NaCl. Hasil pengujian fatik korosi pada sambungan las FSW yang menggunakan larutan 3,5% NaCl dengan berbagai kandungan inhibitor memperlihatkan bahwa lingkungan korosif menyebabkan penurunan umur fatik sambungan FSW bila dibandingkan dengan di udara. Penambahan inhibitor kedalam larutan 3,5% NaCl dapat mengurangi perambatan retak fatik sambungan las FSW. Efektivitas inhibitor dalam menghambat laju perambatan retak fatik korosi untuk konsentrasi yang sama dalam larutan 3,5% NaCl, molibdat lebih baik dibandingkan kromat. Hasil pengujian SCC dengan beban 225 kg tidak mampu membuat perambatan retak SCC bergerak hingga putus. Perambatan retak tertingi terjadi pada spesimen dalam larutan 3,5% NaCl tanpa inhibitor. Perambatan retak yang dihasilkan pada spesimen di udara dan dalam larutan 3,5% NaCl tanpa dan dengan inhibitor memiliki tren yang sama.

Kata kunci : FSW, Molibdat, Kromat, Inhibitor, Friction Stir Welding, Fatik, Corosi, SCC

## Abstract

Aluminum and its alloys have been widely used for engineering applications due to their strength, lightness and corrosion resistance. The aluminum alloys that are commonly used in the ship industry are 5xxx (Al-Mg-Mn) and 6xxx (Al-Mg-Si) series. In large boats, this material is used to build certain main structures such as accommodation room panels, upper deck, bulkheads, fuel tank, and fresh water tank. The AA5083 aluminum alloy is well known for its corrosion resistance while the AA6061 is for its strength. Joints between two different grade of aluminum alloys (AA5083 is non-heat treatable and AA6061 is heat treatable) by welding would be very difficult to obtain optimal results when using conventional welding methods such as TIG / MIG welding. Therefore, solid state joining technique is highly recommended to overcome this problems, one of which is friction stir welding (FSW). The purpose of this study is to investigate the effect of the rotation speed and inhibitors (chromate and molybdate) added on the mechanical properties, microstructure, fatigue, corrosion, corrosion fatigue, and stress corrosion cracking (SCC) of this dissimilar FSW joint.

Aluminum alloy AA5083 and AA6061-T6 plates with the thickness of 3.0 mm were used in this study. Friction stir welding (FSW) was performed with the tool rotating speed of 910, 1500 and 2280 rpm, tool traveling speed of 30 mm / min and tilt angle of 3° using milling machine. The AA6061-T6 was located on the advancing side, while AA 5083 on the retreating side. The metallographic analysis of joints showed the presence of various zones such as BM (base material), HAZ (heat affected zone), TMAZ (thermo-mechanically affected zone) and NZ (nugget zone) were observed and analyzed by means of optical and scanning electron microscope. The corrosion behaviors were analyzed by using polarization resistance and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques. The corrosion fatigue test was done using a servo-hydraulic testing machine with a load ratio ( $R$ ) = 0.1, a frequency of 11 Hz and stress level used was 20% of yield stress. The SCC was observed by using constant load test. The corrosion, corrosion fatigue, and SCC measurements were taken from the weld regions in 3.5% NaCl solution containing 0.1, 0.3 and 0.5% sodium chromate ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) and 0.5% sodium molybdate ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) inhibitors.

The results showed that increasing the rotation speed from 900 to 2280 rpm made grain coarsening in NZ and the mass distribution of the material is more evenly distributed, as well as increased hardness and tensile strength of the joint. The highest values in microhardness in NZ and tensile strength at the joint were found at the speed of 2280 rpm and 1500 rpm which was similar to 2280 rpm, respectively. The addition of chromate and molybdate able to reduce the corrosion rate, fatigue crack propagation and SCC performance of the dissimilar FSW joints between AA5083 and AA6061-T6. An increased concentration from 0.1 % to 0.5 % of the inhibitor is not always accompanied by a decrease in corrosion rate.

**Keywords:** friction stir welding, molybdate, chromate, , fatigue, corrosion, stress corrosion crack