

ARTIKEL RISET

Pengaruh Penambahan $MoO_3 - SiO_2$ pada *Coating AlNiCrCu* yang difabrikasikan dengan Metode Paduan Mekanik

Hariyati*, D. Aryanto, P.K. Karo and Syafriadi

Ringkasan

Telah dilakukan penelitian tentang sintesa lapisan komposit $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ pada pelat baja karbon rendah. Material *coating AlNiCrCu-(MoO₃ - SiO₂)* dicampur dan dimiling untuk menjadi serbuk halus dengan menggunakan metode paduan *mechanical alloying* (MA). Hasil penampang lintang (*cross-section*) dapat memperlihatkan bahwa *coating AlNiCrCu-(MoO₃ - SiO₂)* telah berhasil terdepositasi dengan baik pada substrat baja karbon rendah dengan menggunakan metode paduan *mechanical alloying* (MA) dan memiliki nilai rata-rata ketebalan lapisan permukaan sebesar $38,162\mu m - 52,662\mu m$. Hasil analisa *surface morfology* permukaan dengan penambahan ($MoO_3 - SiO_2$) pada penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42% memiliki paduan morfologi yang paling baik daripada sampel yang lain karena memiliki poros yang lebih sedikit. Hasil uji oksidasi *cyclic* pada suhu $800^\circ C$ selama 10 siklus selama 200 jam (perhari 20 jam) dengan menggunakan *muffle furnace* menunjukkan bahwa semakin meningkat pertambahan massa maka difusi oksigen yang masuk pada permukaan semakin cepat.

Kata Kunci : baja karbon rendah, pelapis, *mechanical alloying* (MA), oksidasi siklik.

Abstract

Research on the synthesis of $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ composite layers on low carbon steel plates has been carried out. $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ coating material is mixed and milled to become a fine powder using the mechanical alloying (MA) alloy method. Cross-section results can show that the $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ coating has successfully deposited well on low carbon steel substrates using the mechanical alloying (MA) alloying method and has an average surface layer thickness of $38.162\mu m - 52.662\mu m$. The results of surface morphology analysis with the addition ($MoO_3 - SiO_2$) at the addition of concentration ($MoO_3 - SiO_2$) of 42% have the best morphological alloys than the other samples because they have fewer shafts. The results of the cyclic oxidation test at $800^\circ C$ for 10 cycles for 200 hours (20 hours per day) using muffle furnace showed that the more mass increases the oxygen diffusion that enters the surface is faster.

Keywords: low carbon steel; coating; mechanical alloying (MA); cyclic oxidation.

PENDAHULUAN

Baja karbon rendah memiliki peran penting dalam aplikasi struktural karena harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan paduan logam lainnya dan memiliki sifat mekanik yang baik serta mudah diproduksi dan dibentuk. Namun, ketahanan ketahanan oksidasi pada suhu tinggi

menjadi kelemahan material baja karbon rendah sehingga diperlukan teknik khusus untuk memperbaiki ketahanan oksidasi tersebut. Ketahanan yang rendah terhadap oksidasi pada suhu tinggi juga menjadi salah satu faktor yang membatasi penggunaan baja karbon rendah pada aplikasi yang lebih luas (Nisa dkk., 2016)[5].

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi pada baja karbon rendah, khususnya penerapan lapisan logam pada permukaan baja karbon rendah atau biasa disebut dengan pelapisan (*coating*). Dalam teknologi *coating* telah dikembangkan yaitu

*Correspondence: hariyati1597@gmail.com

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

†Equal contributor

untuk melindungi struktur baja karbon rendah dari ketahanan oksidasi. Keuntungan utama dari pelapisan adalah dapat mempertahankan sifat mekanik baja karbon rendah. Oleh karena itu, metode ini sering digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi baja karbon rendah (Aryanto dan Sudiro, 2018)[1].

Pada penelitian telah melakukan penelitian tentang ketahanan oksidasi siklik suhu tinggi pada lapisan $50Cr - 50Al$ paduan mekanik terhadap baja karbon rendah. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk melapisi baja karbon rendah adalah Aluminium (Al) karena material yang memiliki sifat mekanik yang baik, densitas rendah dan dapat memberikan ketahanan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi dengan membentuk lapisan oksida Al_2O_3 serta harganya murah (Zhang dkk., 2006)[11]. Pada material lainnya yaitu kromium (Cr) juga memiliki ketahanan oksidasi korosi yang baik dengan membentuk oksida protektif yaitu Cr_2O_3 .

Penambahan bahan lain yang memiliki potensi sebagai bahan pelapis adalah SiO_2 karena bahan ini yang relatif murah dan tidak beracun, mempunyai suhu leleh tinggi dan ketahanan oksidasi yang baik pada temperatur tinggi (Yu dkk., 2016)[10]. Pada penelitian lain, penambahan unsur *Molibdenum* (Mo) dapat bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi dengan membentuk MoO_3 . Seperti pada penelitian yang telah dilakukan tentang ketahanan oksidasi terus meningkat dengan bertambahnya kandungan *Molibdenum* (Mo) dalam paduan (Schaefer dkk., 2017)[8]. Beberapa teknik telah digunakan dalam teknologi *coating* yaitu dengan menggunakan teknik paduan *mechanical alloying* (MA).

Teknik paduan *mechanical alloying* (MA) telah dikembangkan untuk meningkatkan sifat permukaan dari material. Metode ini dapat diaplikasikan secara luas untuk sintesis serbuk komposit yang berbeda. Dalam beberapa tahun terakhir, teknik paduan (MA) digunakan untuk melapisi permukaan baja karbon rendah yaitu tumbukan antara bola-serbuk dan substrat yang menyebabkan terbentuk lapisan pada permukaan substrat. Proses *mechanical alloying* (MA) dapat membuat struktur multikomponen tebal dengan kemampuan ikat yang tinggi pada substrat. Paduan MA adalah pencampuran dan penghalusan serbuk-serbuk dengan bola-bola berenergi tinggi untuk mendapatkan serbuk yang homogen. Pada paduan mekanik MA ini prosesnya mudah, biaya rendah, dan efisiensi waktu menjadi keunggulan metode ini dibandingkan metode lainnya (Mohammadnezhad dkk., 2012)[4].

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan sebagai substrat adalah pelat baja karbon rendah dengan dimensi $10 \times 8 \times 3mm^3$. Sebelum proses *coating* dengan menggunakan teknik paduan mekanik, substrat dipoles secara mekanik menggunakan kertas *SiC* sampai tingkat No.1200. Selanjutnya, dibersihkan dengan standar pembersihan yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor dari permukaan substrat dan setelah itu dikeringkan dengan semprotan udara. *Coating* intermetalik $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ difabrikasi dengan menggunakan *high speed shaker mill* dengan frekuensi osilasi 700/min. Langkah pertama, serbuk $AlNiCrCu$ dimasukkan ke dalam 125mL *vial grinding* dengan bola *grinding stainless-steel* ($\varnothing = 4mm$). Perbandingan berat bola dan serbuk adalah 10:1. Setelah itu, serbuk dicampur-aduk dengan teknik paduan mekanik selama 11 jam. Selanjutnya, serbuk $AlNiCrCu$ dicampur dengan serbuk $MoO_3 - SiO_2$ dan dimiling kembali selama 3 jam. Terakhir, beberapa plat baja karbon rendah dimasukkan ke dalam *vial grinding* tersebut dan dilakukan milling selama 1 jam. Selanjutnya sampel di oksidasi pada temperatur $800^\circ C$ selama 10 siklus dengan waktu 200 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penampang Lintang (*cross-section*)

Penampang lintang (*cross-section*) *coating* $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%, 15%, 29% dan 42% ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil analisa penampang lintang *coating* $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ menunjukkan bahwa pada permukaan penampang lintang tidak adanya celah dan kerusakan yang terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan *coating* $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ yang diendapkan pada substrat baja karbon rendah memiliki struktur yang padat. Terlihat jelas bahwa pelapis tertutup dan melekat dengan baik pada permukaan dan substrat baja karbon rendah dapat terdeposisi dengan baik. Pada hasil permukaan *coating* terlihat kasar dan memiliki ketebalan yang tidak seragam. Pada penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0% diperoleh rata-rata ketebalan lapisan *coating* sebesar $38,162\mu m$. Pada penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 15% diperoleh rata-rata ketebalan permukaan lapisan sebesar $41,802\mu m$. Pada penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 29% diperoleh rata-rata ketebalan permukaan lapisan sebesar $52,662\mu m$. Pada penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42% diperoleh rata-rata ketebalan permukaan lapisan sebesar $48,484\mu m$.

Hal ini menegaskan penelitian sebelumnya dimana material yang di *coating* dengan teknik paduan

mechanical alloying (MA) memiliki kemampuan ikat yang tinggi pada substrat. Prinsip dasar pelapisan menggunakan teknik paduan mekanik (MA) didasarkan pada tumbukan antara bola, serbuk dan substrat menyebabkan fraktur bubuk, tetapi tidak menyebabkan interdifusi antara partikel bubuk. Tumbukan antara bola-serbuk dan substrat selama proses pelapisan menyebabkan kontak partikel yang lebih baik dan menyebabkan penebalan lapisan. Selain itu tampak bahwa pelapisan menjadi lebih padat, melekat dengan kuat dan ikatan yang baik pada permukaan lapisan baja karbon rendah (Sudiro dkk., 2018)[10].

Hasil *Optical Microscopy* (OM) sebelum oksidasi

Hasil OM sebelum oksidasi *coating* $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%, 15%, 29% dan 42% ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan hasil dari pengujian OM dengan perbesaran 100x menunjukkan perbedaan terhadap masing-masing sampel. Pada Gambar 2 (a) menunjukkan hasil uji OM dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 2 (a) terlihat poros yang terbentuk banyak dan merata pada setiap permukaan.

Gambar 2 (b) merupakan hasil uji OM dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 15%. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 2 (b) terlihat gumpalan yang terbentuk lebih sedikit dan tidak merata dibandingkan dengan penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%. Hal ini menandakan serbuk *coating* lebih merata karena sampel ini konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) ditambah menjadi 15%.

Gambar 2 (c) menunjukkan hasil uji OM sampel dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 29%. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 2 (c) terlihat terbentuk poros yang lebih sedikit dan tidak merata pada permukaan jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0% dan 15%.

Gambar 2 (d) menunjukkan hasil uji OM sampel dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42%. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 2 (d) terlihat terbentuk poros sangat halus sehingga seperti tidak terlihat pada permukaan jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%, 15% dan 29%. Hal ini menandakan seiring dengan meningkatnya variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) pada permukaan baja karbon rendah poros semakin tidak terlihat. Karena pada saat proses *mechanical alloying* (MA) tidak tercampur rata antara serbuk logam $AlNiCrCu$ dan

serbuk keramik ($MoO_3 - SiO_2$) pada pelapisan baja karbon rendah. Pada Gambar 2 permukaan yang berwarna putih lebih banyak menandakan terdapat unsur logam yaitu $AlNiCrCu$ dan terlihat lebih rapat. Sedangkan permukaan yang berwarna hitam menandakan terdapat banyak unsur keramik yaitu ($MoO_3 - SiO_2$).

Hasil Kekasaran (*Roughness*)

Hasil nilai kekasaran *coating* $AlNiCrCu-(MoO_3 - SiO_2)$ dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%, 15%, 29% dan 42% ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil nilai kekasaran menunjukkan perbedaan terhadap masing-masing sampel. Pada Tabel 1 (a) dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0% menunjukkan hasil nilai kekasaran diperoleh sebesar $20,71\mu m$. Pada Tabel 1 (b) dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 15% menunjukkan hasil nilai kekasaran diperoleh sebesar $18,62\mu m$. Pada Tabel 1 (c) dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) meningkat menjadi 29% menunjukkan hasil nilai kekasaran diperoleh sebesar $31,86\mu m$. Pada Tabel 1 (d) dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42% menunjukkan hasil nilai kekasaran diperoleh sebesar $16,84\mu m$. Menurut penelitian (Beck dkk., 2013)[2] peningkatan hasil nilai kekasaran permukaan terhadap masing-masing sampel hal ini menandakan bahwa pada proses teknik *mechanical alloying* (MA) merupakan efek dari bola berenergi tinggi yang timbul dari tumbukan bola, serbuk dan substrat yang berulang pada saat dimiling. Sehingga, sampel yang digunakan terkena dinding media substrat.

Hasil Uji Oksidasi Siklik

Hasil uji oksidasi siklik menunjukkan pertambahan massa pada masing-masing sampel terhadap waktu oksidasi dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%, 15%, 29%, 42% dan substrat. Hasil uji oksidasi siklik dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil dari pengujian oksidasi siklik pada temperatur $800^\circ C$ selama 10 siklus dengan waktu 200 jam (20 jam perhari) menunjukkan pertambahan massa terhadap masing-masing sampel. Pada Gambar 3 (a) menunjukkan hasil uji oksidasi siklik dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 0%. Berdasarkan Gambar 3 (a) menunjukkan pertambahan massa meningkat pada siklus ketiga diperoleh sebesar $1,7834 \times 104mg/cm^2$, kenaikan pertambahan massa terus meningkat pada siklus keenam sebesar $3,2392 \times 104mg/cm^2$ dan pertambahan massa meningkat secara signifikan lagi pada siklus terakhir sebesar $4,1893 \times 104mg/cm^2$.

Pada Gambar 3 (b) menunjukkan hasil uji oksidasi siklik dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$)

sebesar 15% pertambahan massa meningkat pada siklus ketiga diperoleh sebesar $1,1231 \times 104mg/cm^2$, kenaikan pertambahan massa terus meningkat yaitu pada siklus keenam sebesar $2,1885 \times 104mg/cm^2$ dan pertambahan massa meningkat secara signifikan lagi pada siklus terakhir sebesar $2,8007 \times 104mg/cm^2$.

Pada Gambar 3 (c) menunjukkan hasil uji oksidasi siklik dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 29% pertambahan massa meningkat pada siklus ketiga sebesar $3,3779 \times 104mg/cm^2$, kenaikan pertambahan massa terus meningkat pada siklus keenam sebesar $3,8316 \times 104mg/cm^2$ dan pertambahan massa meningkat secara signifikan lagi pada siklus terakhir sebesar $7,5311 \times 104mg/cm^2$.

Pada Gambar 3 (d) menunjukkan hasil uji oksidasi siklik dengan variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42% menunjukan pertambahan massa meningkat pada siklus ketiga diperoleh sebesar $4,9591 \times 104mg/cm^2$, kenaikan pertambahan massa terus meningkat lagi pada siklus keenam sebesar $8,2071 \times 104mg/cm^2$ dan pertambahan massa meningkat secara signifikan lagi yaitu pada siklus terakhir sebesar $10,4535 \times 104mg/cm^2$.

Pada Gambar 3 (e) menunjukkan hasil uji oksidasi siklik substrat tidak terlapsi pertambahan massa meningkat pada siklus ketiga diperoleh sebesar $7,6620 \times 104mg/cm^2$, kenaikan pertambahan massa terus meningkat lagi pada siklus keenam sebesar $10,9383 \times 104cm^2$ dan pertambahan massa meningkat secara signifikan lagi pada siklus terakhir sebesar $13,5578 \times 104mg/cm^2$.

Peningkatan yang signifikan dari pertambahan massa dalam setiap siklus menunjukan kurva oksidasi siklik. Hal ini menandakan difusi oksigen yang masuk ke dalam sampel lebih cepat. Sehingga, pertambahan massa terus meningkat. Pada grafik di atas dari masing-masing sampel membentuk kurva parabola. Kurva ini menandakan ketahanan oksidasi siklik yang baik dan protektif. Selain itu kurva parabola ini juga menunjukan pertambahan massa yang tidak konsisten. Artinya terjadi penurunan pertambahan massa dari siklus. Hal ini menandakan penurunan permukaan yang bersifat resisten terhadap oksidasi. Sehingga mengakibatkan berkurangnya difusi oksigen kedalam sampel yang dipengaruhi oleh lamanya waktu oksidasi serta temperatur yang berfungsi mempercepat difusi oksigen logam (Saber dkk., 2017)[7].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu hasil penampang lintang dapat memperlihatkan bahwa *coating AlNiCrCu-(MoO₃ - SiO₂)* telah berhasil terdposisi dengan baik pada substrat baja karbon

rendah dengan menggunakan metode mekanik *mechanical alloying* (MA) dan memiliki rata-rata ketebalan lapisan permukaan berkisaran antara $38,162\mu m - 52,662\mu m$. Hasil analisis *surface morfology* permukaan *coating AlNiCrCu-(MoO₃ - SiO₂)* dengan penambahan konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) sebesar 42% memperlihatkan bahwa semakin besar konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$) yang digunakan maka poros yang terlihat pada permukaan semakin sedikit. Hasil uji oksidasi siklik memperlihatkan semakin meningkatnya pertambahan massa maka oksigen yang berdifusi masuk ke permukaan semakin cepat.

PENULIS

1 Hariyati

Dari :

(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

2 D. Aryanto

Dari :

(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

3 P.K. Karo

Dari :

(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

4 Syafriadi

Dari :

(1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

Pustaka

1. Aryanto, D., dan Sudiro, T. 2018. Preparation of ferrosilicon-aluminium coating using a mechanical alloying technique: Study of thermal annealing on their structural characteristics. *Surface and Coatings Technology*, 337, 35-43.
2. Beck, T., Schweda, M., dan Singheiser, L. 2013. Influence of interface roughness, substrate and oxide-creep on damage evolution and lifetime of plasma sprayed zirconia-based thermal barrier coatings. *Procedia Engineering*, 55, 191-198.
3. Fargas, G., Roa, J. J., Sefer, B., Pederson, R., Antti, M. L., dan Mateo, A. 2018. Influence of cyclic thermal treatments on the oxidation behavior of Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo alloy. *Materials characterization*, 145, 218-224.
4. Mohammadnezhad, M., Shamanian, M., dan Enayati, M. H. 2012. Formation of nanostructured NiAl coating on carbon steel by using mechanical alloying. *Applied Surface Science*, 263, 730-736.

5. Nisa, K., Aryanto, D., Sudiro, T., Sebayang, P., dan Aji, M. P. 2016. Karakterisasi Struktur Coating Fe-25Al Yang Difabrikasi Dengan Metode Paduan Mekanik [Structure Characterization of Fe-25Al Coating Fabricated by Mechanical Alloying Method]. *Metalurgi*, 31(2), 95-102.
6. Rosita, N., Sudiro, T., Aryanto, D., dan Aji, M. P. 2018. Studi x-ray diffractometry pada struktur coating aluminium yang dipreparasi dengan metode mechanical alloying. *Jusami— Indonesian Journal of Materials Science*, 17(1), 15-21.
7. Saber, D., Emam, I. S., dan Abdel-Karim, R. 2017. High temperature cyclic oxidation of Ni based superalloys at different temperatures in air. *Journal of Alloys and Compounds*, 719, 133-141.
8. Schaefer, M. V., Handler, R. M., dan Scherer, M. M. 2017. Fe (II) reduction of pyrolusite ($\beta - MnO_2$) and secondary mineral evolution. *Geochemical transactions*, 18(1), 7.
9. Sudiro, T., Hia, A. I. J., Aryanto, D., Hermanto, B., Wismogroho, A. S., dan Sebayang, P. 2018. High temperature cyclic oxidation resistance of 50Cr-50Al coatings mechanically alloyed on low carbon steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 732, 655-665.
10. Yu, C., Nguyen, T. D., Zhang, J., dan Young, D. J. 2016. Sulfur effect on corrosion behavior of Fe-20Cr-(Mn, Si) and Fe-20Ni-20Cr-(Mn, Si) in $CO_2 - H_2O$ at $650^\circ C$. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(3), C106-C115.
11. Zhang, Z. G., Gesmundo, F., Hou, P. Y., dan Niu, Y. 2006. Criteria for the formation of protective Al_2O_3 scales on Fe-Al and Fe-Cr-Al alloys. *Corrosion Science*, 48(3), 741-765.

DAFTAR TABEL

Tabel 1: Hasil nilai kekasaran

No	Nilai kekasaran	
	Variasi konsentrasi ($MoO_3 - SiO_2$)	Nilai rata-rata kekasaran (μm)
1	0%	20,71
2	15%	18,62
3	29%	31,86
4	42%	16,84

DAFTAR GAMBAR

