

KARAKTERISASI LAPISAN Ni-Cr BAJA PADA ASME SA 210 C TERHADAP EROSI SUHU TINGGI

Slamet Prasetyo Utomo¹, Djarot B. Darmadi², Teguh Dwi Widodo³

¹Mahasiswa Pascasarjana Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, slametpras90@student.ub.ac.id

²Dosen Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, bdarmadi_djarot@ub.ac.id

³Dosen Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, widodoteguhdwi@ub.ac.id

Keywords:

*Semprotan termal,
High Temperature
Erosion,
Metal Alloy,*

Abstract: *Combustion in a high-temperature circulating fluidized bed boiler produces pressurized circulation with silica sand and fly ash particles which can cause damage to pipes due to high-temperature erosional wear. Combustion oxy fuel thermal spray coating method is an alternative to overcome wear and tear. Variations of NiCr alloys were investigated to obtain compositions that could withstand temperatures of 600 °C with a fly ash impact speed of 200 m/s. The main compositions of the metal alloys that have been studied are NiCr, NiCrCo, and NiCrWc. The results of this study indicate that the coating is able to stick to the substrate and survive at 600 °C with a particle impact of 200 m/s in the high temperature erosion test. The highest hardness value obtained by the composition of the NiCr alloy was 177.79 HV and the lowest was found in the composition of the NiCrCo alloy 161.71 HV. The NiCrWc layer is the best layer compared to NiCr and NiCrCo with a weight loss ratio value of -0.00253 gram.*

Kata Kunci:

Katakunci1,
Erosi suhu tinggi,
Logam paduan,

Abstrak: Pembakaran dalam circulating fluidized bed boiler bersuhu tinggi menghasilkan sirkulasi bertekanan dengan partikel pasir silika dan fly ash yang dapat menyebabkan kerusakan pada pipa disebabkan keausan erosi suhu tinggi. Metode pelapisan combustion oxy fuel thermal spray merupakan alternatif mengatasi keausan. Variasi logam paduan NiCr diteliti untuk mendapatkan komposisi yang mampu bertahan pada suhu 600 °C dengan kecepatan tumbukan fly ash 200 m/s. Komposisi utama paduan logam yang telah diteliti adalah NiCr, NiCrCo, dan NiCrWc. Hasil penelitian ini menunjukkan coating mampu menempel pada substrat dan bertahan pada suhu 600 °C dengan tumbukan partikel 200 m/s pada pengujian erosi suhu tinggi. Nilai kekerasan yang didapat komposisi logam paduan NiCr paling tinggi sebesar 177,79 HV dan terendah terdapat pada komposisi paduan NiCrCo 161,71 HV. Lapisan NiCrWc merupakan lapisan terbaik dibanding NiCr dan NiCrCo dengan nilai rasio weight loss sebesar -0.00253 gram.

Article History:

Received: 27-03-2023

Online : 05-04-2023



This is an open access article under the **CC-BY-SA** license



A. LATAR BELAKANG

Pembangkit listrik dengan tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkitan listrik yang dihasilkan dari putaran turbin uap. Dimana turbin uap digerakkan dengan uap bertekanan hasil dari pemanasan air di ketel uap atau boiler (Agarwal & Suhane, 2017). Boiler dengan bahan bakar utama batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (steam) yang dihasilkan dari pembakaran batubara di dalam boiler (Glushkov et al., 2021). Jenis pipa dalam boiler yang digunakan untuk menghasilkan uap adalah tipe wall tube boiler (Vigraman et al., 2020). Circulating fluidized bed (CFB) boiler adalah salah satu metode yang menghasilkan energi dengan cara yang bersih dan efisien dari berbagai bahan bakar (Matthews et al., 2013). Namun, pembakaran CFB menghasilkan sirkulasi partikel pasir silika dan fly ash dengan ukuran rata-rata 73 μm pada suhu tinggi dengan kecepatan 2-200 m/s. Kondisi tersebut dapat menyebabkan keausan erosi suhu tinggi pada wall tube boiler (Kumar et al., 2021) (H. S. Sidhu et al., 2007). Uap air superheater yang masuk turbin uap memiliki suhu tinggi juga memberikan dampak berkurangnya usia dari penggunaan pipa (Huttunen-Saarivirta et al., 2009). Hasil penelitian didapatkan bahwa pada permukaan dalam pipa tidak lagi halus, terdapat cekungan-cekungan kecil yang searah pada permukaannya dan adanya penipisan pada dinding pipa (Lukito et al., 2016). Berdasarkan pengamatan wall tube boiler yang mengalami patah ulet disebabkan oleh kegagalan adalah erosi korosi. Hal ini terjadi di banyak komponen dalam ruang bakar unggun terfluidisasi dampak dari erosi suhu tinggi oleh partikel batubara, SiO_2 dan debu besar (100 μm) dengan kecepatan hingga 2 m/s saat beroperasi pada suhu 850-900C (Lukito et al., 2016)(Matthews et al., 2013). Saat pasir silika dan fly ash yang terperangkap dalam gas pembakaran mencapai kecepatan hingga 30 m/s, menyebabkan erosi komponen tubing. Kegagalan komponen karena erosi suhu tinggi adalah masalah serius (Vigraman et al., 2020). Keausan erosi adalah jenis kerusakan permukaan yang disebabkan oleh tumbukan partikel-partikel halus yang keras pada permukaan material dengan momentum yang cukup dan frekuensi yang cukup (Vigraman et al., 2020)(Roy, 2008).

Meminimalkan efek merugikan dari erosi suhu tinggi metode pelapisan thermal spray merupakan salah satu alternatif mengatasi masalah tersebut (Roy, 2008)(Roy, 2008). Pelapisan yang disemprotkan dengan metode thermal spray telah menunjukkan pemanfaatan yang efektif di lingkungan bersuhu tinggi (Holmberg & Matthews, 2009). Varian combustion oxy fuel umumnya digunakan dalam minyak dan gas, pembangkit listrik, otomotif, dan banyak lagi industri lainnya. Teknik thermal spray merupakan metode yang dikembangkan dan menghilangkan masalah erosi (Holmberg & Matthews, 2009). Metal powder berukuran kecil dengan kisaran 1-50 μm dibuat sebagai bahan untuk proses pelapisan melalui nozzle jet pada kecepatan supersonik, bersama dengan gas pembawa terkompresi (Helium/Nitrogen/Udara). Metal powder dengan ukuran kecil memiliki peran penting dalam proses thermal spray, sehingga diperlukan perhatian khusus.

Metal powder superalloy adalah kelompok paduan berbasis Fe-Ni, Ni, dan Co yang digunakan dalam aplikasi suhu tinggi. Lapisan nikel kromium dapat digunakan untuk melindungi tabung penukar panas dari fluidized bed combustors (T. S. Sidhu et al., 2006). Logam-logam ini menunjukkan ketahanan oksidasi/korosi yang sangat baik, sifat tahan panas dan mempertahankan kekakuan, ketangguhan, kekuatan, dan stabilitas dimensinya pada suhu tinggi [24][13]. Peneliti melaporkan bahwa kandungan krom dan karbon efektif untuk membentuk karbida M_7C_3 , dimana semakin banyak krom dan karbon yang ditambahkan ke dalam besi maka semakin banyak M_7C_3 yang terbentuk di dalam matriks dan akan meningkatkan ketahanan aus [8]. Ketahanan yang unggul dari kromium karbida memungkinkan pelapis semprot termal $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ digunakan dalam aplikasi hingga 900°C (Hooda & Ma, 2010). Sementara sejumlah penelitian lain telah mengkarakterisasi erosi dengan lapisan berbasis Cr_3C_2 , beberapa telah dilakukan pada suhu tinggi. Sementara banyak juga penelitian menyajikan erosi suhu tinggi dari komposisi pelapis thermal spray yang berbeda (T. S. Sidhu et al., 2006). Beberapa percobaan juga telah membahas erosi-oksidasi lapisan semprot termal di bawah suhu tinggi, kondisi kecepatan tinggi (Walsh et al., 1993)(Brady et al., 2004).

Faktor komposisi utama Ni-Cr pada pelapisan combustion oxy fuel thermal spray perlu diteliti lebih lanjut. Sehingga penelitian ini mengkarakterisasi lapisan dengan komposisi utama Ni-Cr dengan tambahan paduan tungsten/wolfram (WC) dan Cobalt (Co) dan karakteristik pada erosi suhu tinggi. Paduan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang cukup dan mendalam tentang fenomena keausan erosi pada suhu tinggi pada lapisan Ni-Cr.

B. METODE

Material yang digunakan adalah pipa baja karbon rendah standart ASTM A210 atau ASME SA210 Grade C yang digunakan pada boiler (SA210, 1996). Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia dan sifat mekanik ASTM A210 Grade C

| Chemical Composition | | Mechanical Properties | |
|------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| Carbon Max: 0.35% | Silicon Min: 0.10% | Tensile Strength | ksi: 70 MPa: 485 |
| Manganese*: 0.29-1.06% | Nickle: N/A | Yield | ksi: 40 MPa: 275 |
| Phosphorus Max: 0.035% | Chromium: N/A | Maximum Hardness | |
| Sulfur Max: 0.035% | Molybdenum: N/A | Rockwell B | 89 HRB Max. |
| | | Brinell | 179 HB Max. |

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan proses yang dilakukan. Tahap pertama melakukan coating dengan combustion oxy fuel thermal spray pada pipa ASTM A210. Tahap kedua proses pengujian erosi suhu tinggi dengan *Hight Temperature Erosion Test Apparatus*. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini terletak pada lapisan coating dengan komposisi utama Ni-Cr dengan tambahan paduan tungsten/wolfram (WC) dan Cobalt (Co).

1. Coating combustion oxy fuel

Sebelum proses coating hal yang dilakukan penyiapan metal powder sebagai bahan pelapisan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan. Variasi pada komposisi metal powder terdapat pada tabel 2. Paduan Ni-Cr dengan prosentase 80-20 merupakan variasi yang digunakan untuk kontrol data. Proses penimbangan menggunakan timbangan digital ketelitian 1/10.000 sedangkan proses pencampuran metal powder diaduk dengan mesin penguncang rotab DIN 4188 (ASTM E11-13, n.d.).

Tabel 2. Variasi komposisi metal powder coating

| No | Paduan | Persentase Berat (%wt) | | | | | | | | | Particle Size |
|----|--------|------------------------|----|----|----|----|----|----|---|----|---------------|
| | | Ni | Cr | Fe | WC | Co | Al | Si | B | Mo | |
| 1 | NiCr | 80 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 μ m |
| 2 | NiCrCo | 52 | 45 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 μ m |
| 3 | NiCrWc | 52 | 45 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 μ m |

Material pipa dengan panjang 20 cm berdiameter 50 mm dilakukan *preparation surface roughness dan surface cleanliness*. Surface roughness dilakukan dengan sand blasting dengan standart ASTM C418 bertujuan untuk mengasihkan luasan permukaan coating yang sesuai agar proses bonding bisa maksimal. Pada proses surface cleanliness dilakukan pengecekan pada permukaan substrat dengan pengujian dust level. Material yang sudah siap dilakukan coating standart ASTM E3-11 (ASTM, 2011)

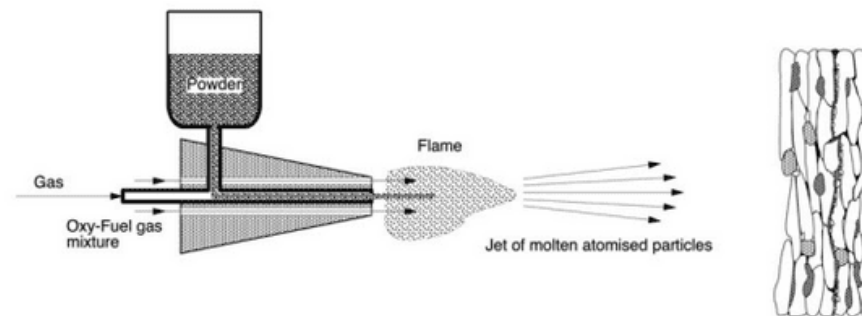
Seminar Nasional LPPM UMMAT

Universitas Muhammadiyah Mataram
 Mataram, 05 April 2023
 ISSN 2964-6871 | Volume 2 April 2023
 pp. 1071-1081

dengan gun Powderjet 86 combustion. Adapun parameter yang digunakan pada proses coating adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Parameter proses coating

| Jarak Semprot | Suhu | Bahan Bakar | Tekanan Udara |
|---------------|---------|--------------------|-----------------------|
| 10-15 cm | 1200° C | Oksigen : 10 kg/s | 10 kg/cm ² |
| | | Asitelin : 20 kg/s | |



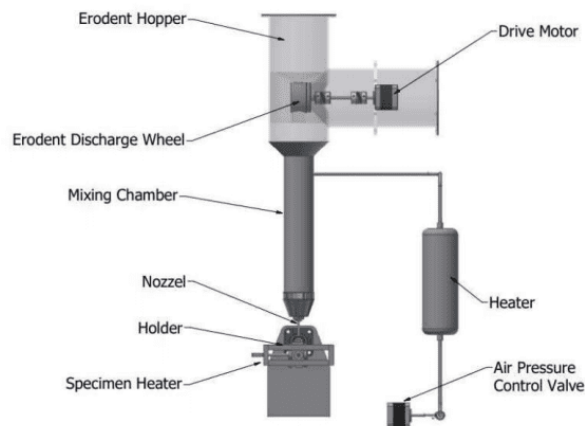
Gambar 1. Skema proses coombustion oxy fuel dengan bahan powder

2. Pengujian Erosi Suhu Tinggi

Pengujian erosi suhu tinggi menggunakan standart ASTM ASTM G76-18 (ASTM Standard, 2013) dan HT G211-14 (Astm, 2013). Skema proses pengujian erosi suhu terdapat pada gambar 2. Media abrasi yang digunakan fly ash coal dengan rata-rata besar butiran 73 μm. Proses pengujian dilakukan pada material yang telah di-coating dengan ukuran 3.5 x 3.5 cm. Setiap pengujian menggunakan parameter pada tabel 4. Pengujian erosi suhu tinggi akan menghasilkan kehilangan berat (W) selama proses erosi.

Tabel 4. Parameter pengujian erosi suhu tinggi

| Velocity | Suhu | Sudut Cekam | Jarak Nozzle | Lama Uji | Feed Rate |
|----------|--------|-------------|--------------|-----------|-----------|
| 200 m/s | 600° C | 90° | 1,4 cm | 120 s x 5 | 3,00 gr/s |



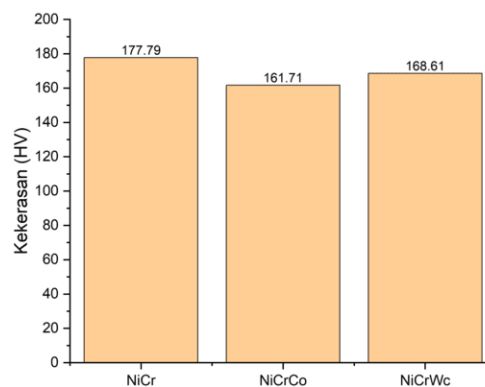
Gambar 2. Skema pengujian erosi suhu tinggi

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan destructive testing dan non-destructive testing. Pengujian destructive testing menggunakan pengujian kekerasan Vickers ASTM-E384 (Moore & Booth, 2015) dan pengujian erosi suhu tinggi ASTM G76-18 dan HT G211-14, sedangkan pengujian non-destructive testing sebagai karakterisasi hasil coating dan pasca pengujian erosi suhu tinggi menggunakan SEM-EDS ASTM E1920-03 dan XRD. Pengujian dilakukan di Lab. Pengecoran Logam Teknik Mesin UB, Lab. Sentral Universitas Negeri Malang, Lab. Sentral ITS, dan Lab. Sentral Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

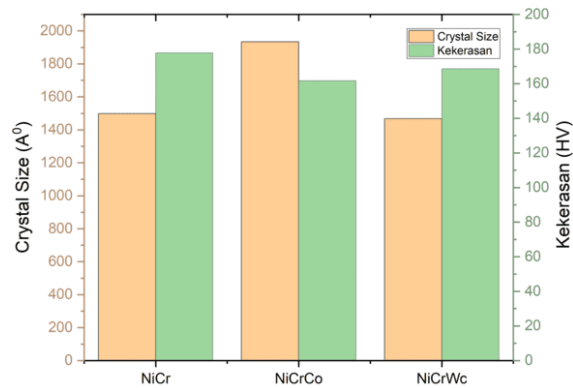
1. Analisis Hasil Uji Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan Vickers dengan beban 5 kgf dapat dilihat pada grafik kekerasan gambar 3. Hasil pengujian menunjukkan komposisi NiCr memiliki nilai tertinggi sebesar 177,79 HV. Dibanding dengan komposisi NiCrCo nilai kekerasan sebesar 161,71 HV dan komposisi NiCrWc memiliki nilai kekerasan 166,61 HV.



Gambar 3. Grafik nilai kekerasan disetiap variasi komposisi metal powder

Tingkat kekerasan pada lapisan coating dipengaruhi beberapa faktor antara lain, ukuran butiran kristal, ketebalan coating, homogenitas senyawa yang terbentuk, serta wetting effect. Faktor ukuran butiran pada lapisan coating tidak menjadi faktor yang dominan untuk mempengaruhi nilai kekerasan. Terlihat pada gambar 4 terlihat perbandingan antara ukuran kristal dibanding kekerasan. Pada lapisan NiCr dengan ukuran kristal 1498.1069 paling besar justru memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Lapisan NiCrCo dengan ukuran kristal 1934.0583 terkecil memiliki kekerasan yang paling rendah. Sedangkan lapisan NiCrCo dengan ukuran kristal 1467.2397 memiliki nilai kekerasan sedang. Faktor ketebalan mempengaruhi nilai kekerasan pada coating, coating yang tebal akan cenderung menghasilkan catat inklusi dan porositas yang semakin banyak, sehingga dapat mempengaruhi nilai kekerasan. Sedangkan wetting effect merupakan dampak dari kualitas coating dilihat dari bentuk lapisan yang terjadi. Lapisan yang wetting effect nya baik memiliki kriteria menyatunya logam paduan yang dihasilkan proses thermal spray. Logam paduan yang tidak menyatu akan membentuk butiran yang mudah terlepas dari logam paduan maupun substrat

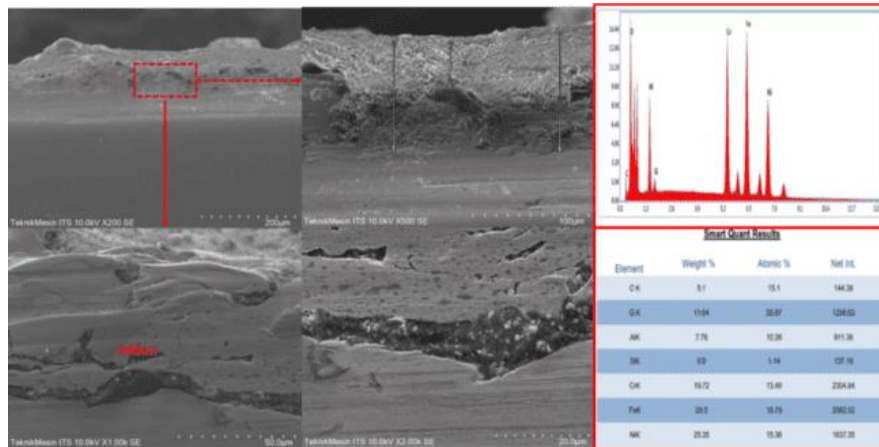


Gambar 4 Grafik hubungan ukuran butiran dibanding kekerasan coating

2. Analisa SEM-EDS Coating

a. Coating Ni-Cr

Hasil SEM-EDS pada cross section lapisan Ni-Cr secara morfologi tampak garis batas antara substrat SA 210 dengan lapisan Ni-Cr. Dalam lapisan Ni-Cr terdapat beberapa porositas yang tampak memisahkan antara lapisan maupun antara lapisan dengan substrat. Bonding yang terjadi antara metal powder Ni-Cr juga tampak dipisahkan garis tipis. Pada lapisan terdapat beberapa nilai ketebalan yang dihasilkan, pada puncak dengan nilai 96,1 μm sedangkan pada lembah memiliki nilai ketebalan 62,1 μm . Elemen profil pada lapisan didominasi oleh logam Ni dan Cr. Terdapat elemen Fe yang merepresentasikan kandungan pada substrat. Namun pada perbesaran 500x terlihat bahwa penampang yang lebih kasar pada lapisan sehingga terlihat adanya perbedaan kasar dan halus. Saat diperbesar lapisan terlihat beberapa inklusi dan porositas dan alur bonding interface.

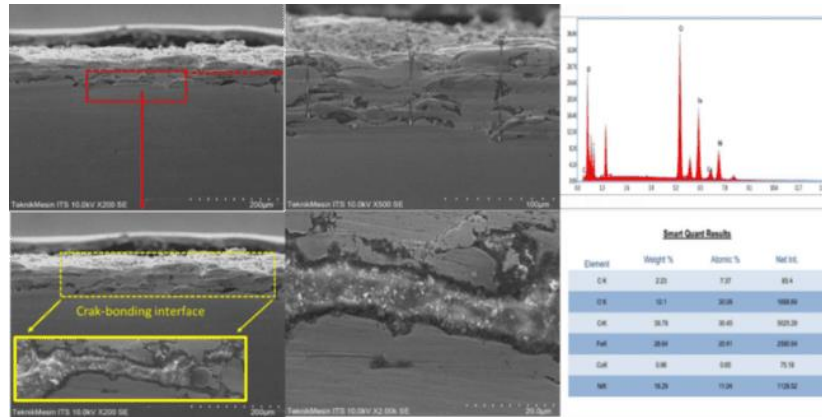


Gambar 5. Morfologi penampang lapisan Ni-Cr

b. Coating NiCrCo

Lapisan NiCrCo secara morfologi tampak garis batas antara substrat SA 210 C dengan lapisan. Dalam lapisan NiCrCo terdapat beberapa inklusi dan porositas yang tampak memisahkan antara lapisan maupun antara lapisan dengan substrat. Bonding yang terjadi antara metal powder NiCrCo juga tampak dipisahkan garis tipis. Pada lapisan terdapat beberapa nilai ketebalan yang dihasilkan, pada puncak dengan nilai 148 μm sedangkan pada lembah memiliki nilai ketebalan 88,7 μm . Elemen yang terdapat pada lapisan NiCrCo adalah Ni, Cr, Fe, dan Co. Pada gambar 6, perbesaran 200x sudah terlihat adanya perbedaan morfologi antara substrat dan lapisan. Saat perbesaran ditingkatkan menjadi 500x dan

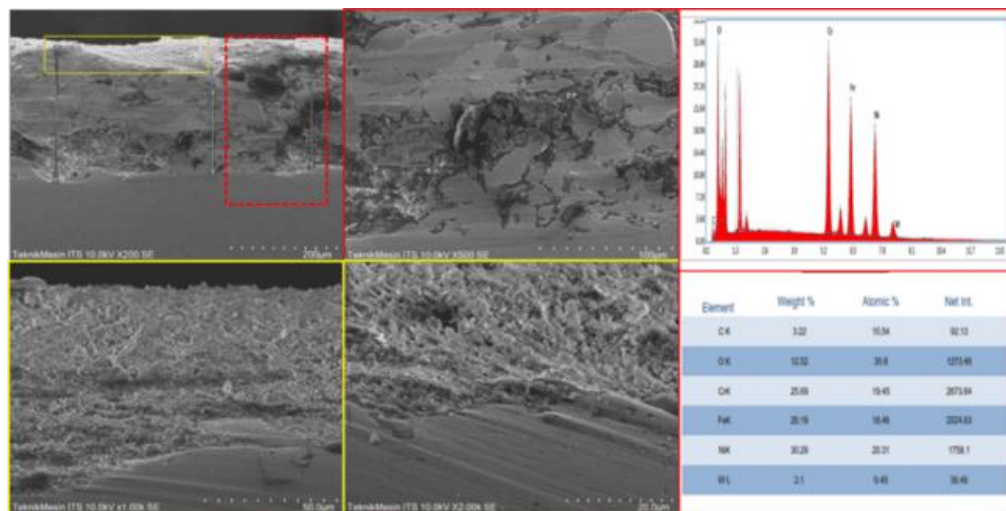
1000x terlihat jelas adanya crack sepanjang bonding interface. Hal ini menunjukkan tidak menyatunya lapisan dengan substrat unsur Co teridentifikasi jelas pada lapisan yang terbentuk.



Gambar 6. Morfologi penampang lapisan NiCr-Co

c. Coating NiCrWc

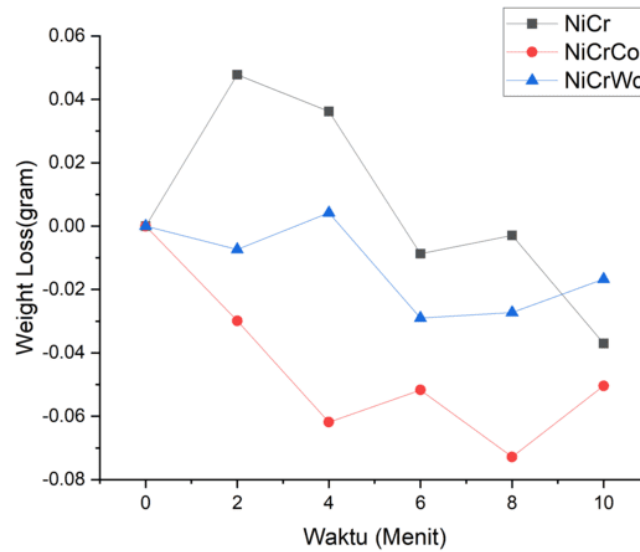
Lapisan NiCrWc secara morfologi tampak garis batas antara substrat SA 210 C dengan lapisan. Dalam lapisan NiCrWc terdapat beberapa inklusi dan porositas yang tampak memisahkan antara lapisan maupun antara lapisan dengan substrat. Bonding yang terjadi antara metal powder NiCrCo juga tampak dipisahkan garis tipis. Pada lapisan terdapat beberapa nilai ketebalan yang dihasilkan, pada puncak dengan nilai 258 μm sedangkan pada lembah memiliki nilai ketebalan 158 μm. Elemen yang terdapat pada lapisan NiCrCo adalah Ni, Cr, Fe, dan Co. Pada gambar 4.3 pada perbesaran 200x terlihat perbedaan mencolok antara lapisan dan substrat. pada perbesaran 500x terlihat adanya inklusi di beberapa bagian dari lapisan NiCr+WC. Adanya unsur W terlihat jelas dengan hasil EDS membuktikan adanya penambahan unsur W pada lapisan paduan Ni-Cr.



Gambar 7. Morfologi penampang lapisan NiCrWc

3. Analisis Hasil Uji Erosi Suhu Tinggi

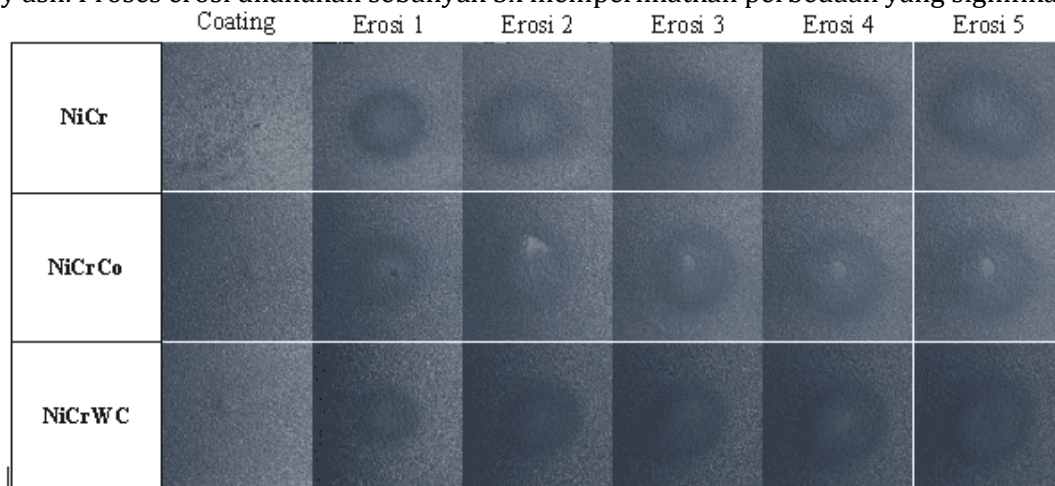
Hasil pengujian erosi suhu tinggi ditunjukkan dengan gambar 8 berupa laju erosi yang didapatkan dari data weight loss selama 10 menit uji erosi. Proses uji erosi dilakukan pada suhu 600 °C dengan kecepatan 200 m/s. Data menunjukkan kehilangan masa NiCr sebesar -0.3687 gram, NiCrCo -0.2667 gram, dan NiCrWc -0.0761 gram. Weight loss logam paduan paling sedikit adalah NiCrWc.



Gambar 8 Laju erosi tsuhu tinggi

Lapisan NiCrWc merupakan lapisan yang memiliki laju erosi laing rendah dengan nilai -0.00253 gram/menit dengan weight loss terkecil. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tersebut merupakan lapisan yang memiliki ketahanan terhadap erosi paling baik dibanding dengan lapisan NiCr dan NiCrCo. Lapisan NiCrWc memiliki weeting effect yang baik. Terlihat pada gambar 7 logam paduan menyatu dengan baik meskipun cacat inklusi dan porositas terdapat pada lapisan tersebut.

Spesimen yang telah dilakukan erosi suhu tinggi tampak sangat jelas perbedaannya terlihat pada gambar 9 melalui kamera optik. Setiap lapisan terlihat bekas luka yang dihasilkan tumbukan dengan partikel fly ash. Proses erosi dilakukan sebanyak 5x memperlihatkan perbedaan yang signifikan.



Gambar 9. proses erosi pada permukaan coating dengan 5 tahapan erosi

Adapun detail perbedaan sebelum dan sesudah uji erosi permukaan coating bisa dilihat pada gambar 10. Terlihat jelas lapisan sebelum erosi permukaan lebih kasar dibanding dengan sesudah erosi yang lebih halus. Lapisan NiCrCo yang memiliki laju erosi lebih besar, terlihat lapisan yang tererosi hingga baja substrat. Artinya lapisan ini dapat tembus akibat bentukan dengan fly ash. Sedangkan lapisan NiCrCw dengan laju erosi terkecil terlihat permukaan yang tererosi masih terlihat kasar. Ini menunjukkan lapisan NiCrWc lebih tahan terhadap erosi pada suhu tinggi.

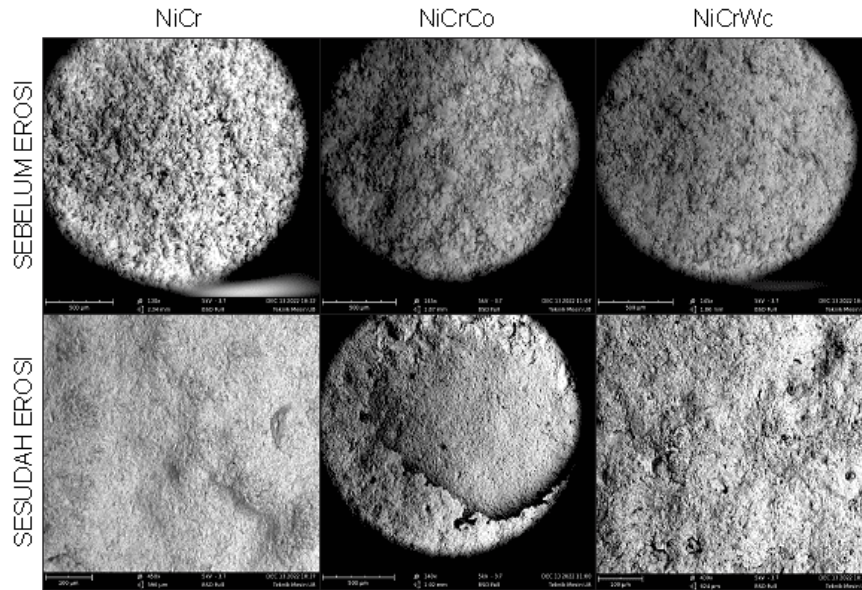
Seminar Nasional LPPM UMMAT

Universitas Muhammadiyah Mataram

Mataram, 05 April 2023

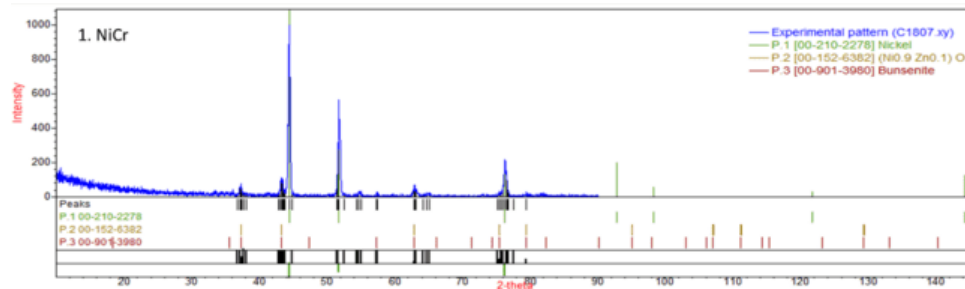
ISSN 2964-6871 | Volume 2 April 2023

pp. 1071-1081

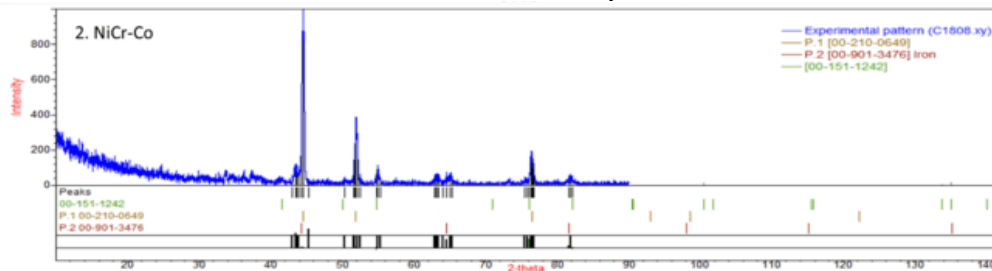


Gambar 10. Permukaan sebelum dan sesudah pengujian erosi suhu tinggi

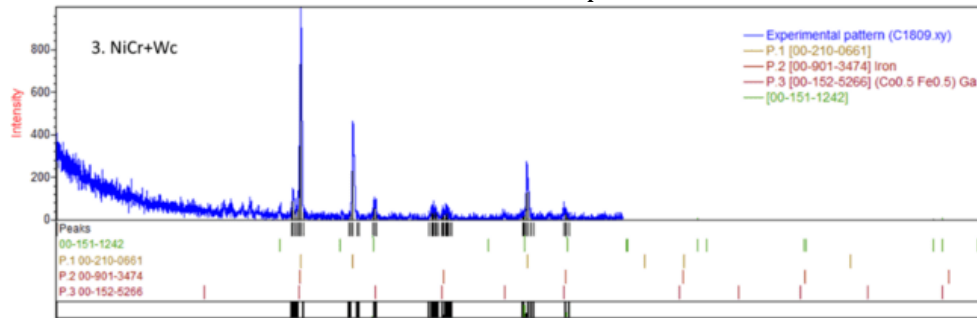
4. Hasil Analisis XRD



Gambar 11. Analisa XRD Lapisan Ni-Cr



Gambar 12. Analisa XRD Lapisan Ni-Cr-Co



Gambar 13. Analisa XRD Lapisan NiCr+Wc

Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa fase utama adalah Ni-Cr, dari grafik plot XRD dapat diketahui bahwa lapisan Ni-Cr memang didominasi oleh senyawa Ni-Cr, lainnya adalah TiO, bensunite, magnesiute. Sistem kristal yang dimiliki oleh keempat pipa ini adalah cubic dengan space group Im-3m. Hal tersebut bersesuaian dengan peak XRD literatur yang menyatakan bahwa senyawa yang dianalisa. Dari Analisa XRD dapat ditunjukkan bahwa senyawa didominasi Ni-Cr dan adanya beberapa senyawa pengikat oksida pada Ni-Cr seperti NiO, Fe Ni, dan beberapa teridentifikasi solid solution FeMI, Xn. Cacat material yang terjadi pada spesimen dapat dianalisis menggunakan pengamatan makrostruktur dan dapat ditentukan jenis cacat materialnya, berikut adalah analisis dari cacat material dari beberapa spesimen pengujian.

Tabel 5. Sebaran senyawa pada lapisan

| Keterangan | Rumus Senyawa | Sistem Kristal | Space-group |
|------------|---|----------------|-------------|
| 1a | NiO | kubik | Fm-3m |
| 1b | Ni _{0,9} Zn _{0,1} | Trigonal | R3-m h |
| 1c | Ni 0.995 O | cubic | Fm-3m |
| 2a | NiO | cubic | Fm-3m |
| 2b | Fe | Cubic | Im-3m |
| 3a | NiO | kubik | Fm-3m |
| 3b | (Co _{0,5} Fe _{0,5}) Ga | cubic | Pm 3 m |

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan. Lapisan coating dengan metode *combustion oxy fuel thermal spray* menghasilkan *interface locking* pada substrat dengan baik dan mampu bertahan pada erosi suhu 600 C dengan kecepatan tumbukan partikel fly ash 200 m/s. Lapisan NiCrWc merupakan lapisan yang mampu bertahan lebih baik dibanding dengan lapisan NiCr dan NiCrCO dengan laju erosi sebesar -0.00761 gram/menit. Faktor yang dominan terhadap kekuatan lapisan adalah *wetting effect*. Sedangkan faktor kekerasan lapisan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap erosi suhu tinggi seperti lapisan NiCr dengan kekerasan 177,79 HV dengan laju erosi lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Departemen Teknik, Universitas Brawijaya, Nusantara Power atas fasilitas yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian sampai penulisan karya tulis ini selesai.

REFERENSI

- Agarwal, S., & Suhane, A. (2017). Study of Boiler Maintenance for Enhanced Reliability of System A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1542–1549. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.177>
- Astm. (2013). G76-07, Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets. *ASTM International*, i, 1–6. <https://doi.org/10.1520/G0076-18.2>
- ASTM. (2011). E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1. *ASTM Copyright*, i(Reapproved), 1–12. <https://doi.org/10.1520/E0003-11.2>
- ASTM E11-13. (n.d.). *STANDARD SPECIFICATION FOR WOVEN WIRE TEST SIEVE CLOTH AND TEST SIEVES*. 1, 41.
- ASTM Standard, G. 76-13. (2013). Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets. *ASTM International*, i, 1–6. <https://doi.org/10.1520/G0211-14.2>

Seminar Nasional LPPM UMMAT

Universitas Muhammadiyah Mataram

Mataram, 05 April 2023

ISSN 2964-6871 | Volume 2 April 2023

pp. 1071-1081

- Brady, G. S., Clauser, H. R., & Vaccari, J. a. (2004). Materials Handbook: An Encyclopedia for Managers, Technical Professionals, Purchasing and Production Managers, Technicians and Supervisors. In *Chemistry & ...* <http://books.google.com/books?id=b44c1SXmJhYC&pgis=1>
- Glushkov, D. O., Matiushenko, A. I., Nurpeiis, A. E., & Zhuikov, A. V. (2021). An experimental investigation into the fuel oil-free start-up of a coal-fired boiler by the main solid fossil fuel with additives of brown coal, biomass and charcoal for ignition enhancement. *Fuel Processing Technology*, 223(June), 106986. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106986>
- Holmberg, K., & Matthews, A. (2009). *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. <https://books.google.com/books?id=SuTrD-AHpyUC&pgis=1>
- Hooda, P. S., & Ma, Y. (2010). Chromium, nickel and cobalt. *Trace Elements in Soils*, 461–479.
- Huttunen-Saarivirta, E., Kalidakis, S., Stott, F. H., Perez, F. J., & Lepistö, T. (2009). High-temperature erosion-oxidation of uncoated and FB-CVD aluminized and aluminized-siliconized 9Cr-1Mo steel under fluidized-bed conditions. *Wear*, 267(12), 2223–2234. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.08.039>
- Kumar, S., Handa, A., Chawla, V., Grover, N. K., & Kumar, R. (2021). Performance of thermal-sprayed coatings to combat hot corrosion of coal-fired boiler tube and effect of process parameters and post-coating heat treatment on coating performance: a review. *Surface Engineering*, 37(7), 833–860. <https://doi.org/10.1080/02670844.2021.1924506>
- Lukito, N. A., P. Hidayat, M. I., & Nurdiansah, H. (2016). Analisa Kegagalan Pipa Desuperheater Spray pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 4 PT. PJB UP. Gresik. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18236>
- Matthews, S., James, B., & Hyland, M. (2013). High temperature erosion-oxidation of Cr₃C₂-NiCr thermal spray coatings under simulated turbine conditions. *Corrosion Science*, 70, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.01.030>
- Moore, P., & Booth, G. (2015). Mechanical testing of welds. *The Welding Engineer's Guide to Fracture and Fatigue*, 113–141. <https://doi.org/10.1533/9781782423911.2.113>
- Roy, M. (2008). Tribological degradation at elevated temperature. *Developments in High-Temperature Corrosion and Protection of Materials*, 117–163. <https://doi.org/10.1533/9781845694258.1.117>
- SA210, A. (1996). *Standard Specification for Seamless Carbon Steel Boiler Tubes for. 91*(Reapproved), 6–7.
- Sidhu, H. S., Sidhu, B. S., & Prakash, S. (2007). Solid particle erosion of HVOF sprayed NiCr and Stellite-6 coatings. *Surface and Coatings Technology*, 202(2), 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.05.035>
- Sidhu, T. S., Prakash, S., & Agrawal, R. D. (2006). Hot corrosion performance of a NiCr coated Ni-based alloy. *Scripta Materialia*, 55(2), 179–182. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.03.054>
- Vigraman, T., Venkatesh, R., & Pradeep, N. (2020). Characterisation of SA210 Grade A1 virgin and failed boiler steel tube materials. *Materials Today: Proceedings*, 43(xxxx), 838–843. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.554>
- Walsh, P. N., Quets, J. M., & Tucker, R. C. (1993). Coatings for the protection of turbine blades from erosion. *ASME 1993 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, GT 1993, 3B*(January 1995), 152–155. <https://doi.org/10.1115/93-GT-291>