

## PEMBAKUAN METODE UJI LAPISAN PADA PERMUKAAN BAHAN STRUKTUR

Sungkono, Maman Kartaman Ajiriyanto, Sri Ismarwanti, Anditania Sari Dwi Putri  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Pemilihan bahan pelapis dan metoda pelapisan permukaan yang tepat dibutuhkan untuk mendapatkan produk lapisan permukaan bahan struktur yang mempunyai ketahanan korosi dan aus yang tinggi terhadap lingkungan operasinya. Tujuan penelitian adalah mendapatkan karakter mikrostruktur, ketebalan, kekerasan mikro, dan komposisi kimia lapisan pada permukaan baja. Metode yang digunakan adalah pengamatan struktur mikro, kekerasan, dan komposisi kimia terhadap lapisan permukaan baja produk Jepang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrostruktur base metal tersusun dari fasa ferit dan perlit, antarmuka logam-lapisan terlihat jelas, serta lapisan kompak dan homogen dengan ketebalan rerata 624,071  $\mu\text{m}$ . Kekerasan lapisan adalah 943 VHN atau 3,96 lebih keras dibandingkan *base metal*. Dari komposisi kimia diketahui *base metal* adalah baja paduan rendah. Komposisi kimia lapisan tidak dapat dianalisis dengan XRF. Karakter lapisan yang diperoleh belum dapat mengidentifikasi bahan pelapis dan metode proses pelapisan pada permukaan baja paduan.

**Kata kunci:** metode baku uji, lapisan permukaan, bahan struktur, mikrostruktur, kekerasan, komposisi kimia.

### PENDAHULUAN

Bahan struktur berfungsi sebagai wadah secara fisik (proteksi bahan bakar), memberikan kekuatan mekanik, dan struktur penyangga untuk berbagai komponen reaktor nuklir. Bahan struktur yang utama adalah kelongsong bahan bakar, bejana tekan, kanal pendingin bahan bakar, plat penyangga teras, dan sistem pipa pendingin<sup>[1]</sup>. Baja paduan banyak digunakan sebagai bahan struktur terutama untuk komponen struktur, bejana reaktor, sudu turbin, nozel, dan peralatan dukung lainnya<sup>[1]</sup>. Selama pengoperasian reaktor nuklir, komponen seperti sudu turbin dan nozel akan mengalami pembebanan dinamis yang berfluktuasi. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya cacat pada permukaan material sehingga memicu terjadinya pemusatan tegangan lokal pada material baja. Kondisi tersebut memungkinkan komponen struktur mengalami penurunan ketahanan lelah dan ketahanan aus<sup>[2]</sup>. Dengan bertambahnya waktu pengoperasian reaktor nuklir, sudu turbin dan nozel dapat mengalami kegagalan dini karena patah lelah. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah meningkatkan sifat ketangguhan permukaan bahan struktur yaitu dengan metoda perlakuan permukaan pada baja<sup>[3]</sup>. Perlakuan permukaan diharapkan dapat meningkatkan sifat permukaan baja sehingga memiliki kekerasan tinggi, ketahanan aus, ketahanan korosi, dan ketahanan terhadap beban dinamis yang tinggi.

Selain itu, faktor utilisasi seperti kelelahan mekanik, tegangan termal serta faktor lingkungan seperti radiasi partikel neutron, sinar gama, lingkungan dan temperatur air

pendingin dapat mempercepat penuaan komponen struktur reaktor nuklir. Degradasi material dapat terjadi karena penuaan yang akan menimbulkan retak korosif, degradasi korosif atau *irradiation assisted stress corrosion cracking* (IASCC). Sinar gama yang diterima bahan struktur pendukung teras reaktor akan menyebabkan perubahan potensial listrik. Oleh karena bahan struktur berada pada lingkungan air dengan temperatur dan tekanan tinggi, maka bahan tersebut akan terserang korosi dan menimbulkan retakan yang prosesnya dinamakan *Intergranular Stress Corrosion Cracking*<sup>[3]</sup>.

*Plasma nitriding* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pelapisan permukaan bahan struktur. *Plasma nitriding* atau nitridasi ion adalah proses nitridasi gas yang ditandai dengan adanya pelepasan plasma pada bagian yang akan dinitridasikan. Dalam hal ini, benda kerja berfungsi sebagai katoda dan dinding tungku sebagai anoda, yang keduanya dihubungkan dengan tegangan antara 0,3 dan 1 kV. Partikel gas dipercepat dan menumbuk katoda sehingga dapat mentransfer semua energi kinetik dan kemudian memanaskannya. Tekanan yang digunakan pada proses nitridasi plasma biasanya antara 100 – 1.000Pa<sup>[5]</sup>.

Terres et. al (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh waktu nitridasi gas terhadap ketahanan aus baja 42CrMo4. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa untuk waktu nitridasi gas yang pendek, laju keausan baja bergantung pada dua mekanisme yaitu deformasi plastis dan *adhesive wear*. Untuk waktu nitridasi gas yang lebih lama, laju keausan baja dikendalikan oleh mekanisme *adhesive* dan *oxidative wear*. Permukaan baja yang aus ditandai dengan 4 mode aus, yaitu adhesi, abrasi, delaminasi, dan oksidatif<sup>[6]</sup>.

Doan et. al (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan plasma Nitriding, Nitrocarburizing and Nitriding/Manganese Phosphating Duplex terhadap ketahanan aus permukaan baja C45. Mereka mendapatkan bahwa ketahanan aus permukaan baja C45 terbaik diperoleh dengan proses nitrocarburizing, sedangkan ketahanan aus permukaan baja C45 terburuk dengan proses nitridasi plasma. Mangan fosfat yang terbentuk pada lapisan permukaan baja C45 dapat mengurangi koefisien gesekan sehingga meningkatkan ketahanan aus lapisan nitrida<sup>[7]</sup>.

Sehubungan hal tersebut, maka pemilihan bahan pelapis dan metoda pelapisan permukaan yang tepat sangat dibutuhkan untuk mendapatkan lapisan permukaan bahan struktur yang mempunyai ketahanan tinggi di dalam lingkungan operasi reaktor nuklir. Untuk maksud tersebut, maka dilakukan karakterisasi terhadap baja berlapis produk Jepang. Dari karakter lapisan permukaan dapat diidentifikasi bahan pelapis dan metoda proses pelapisan permukaan baja. Untuk keperluan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode baku uji mikrostruktur, ketebalan, kekerasan mikro, dan komposisi kimia lapisan pada permukaan baja.

## METODOLOGI

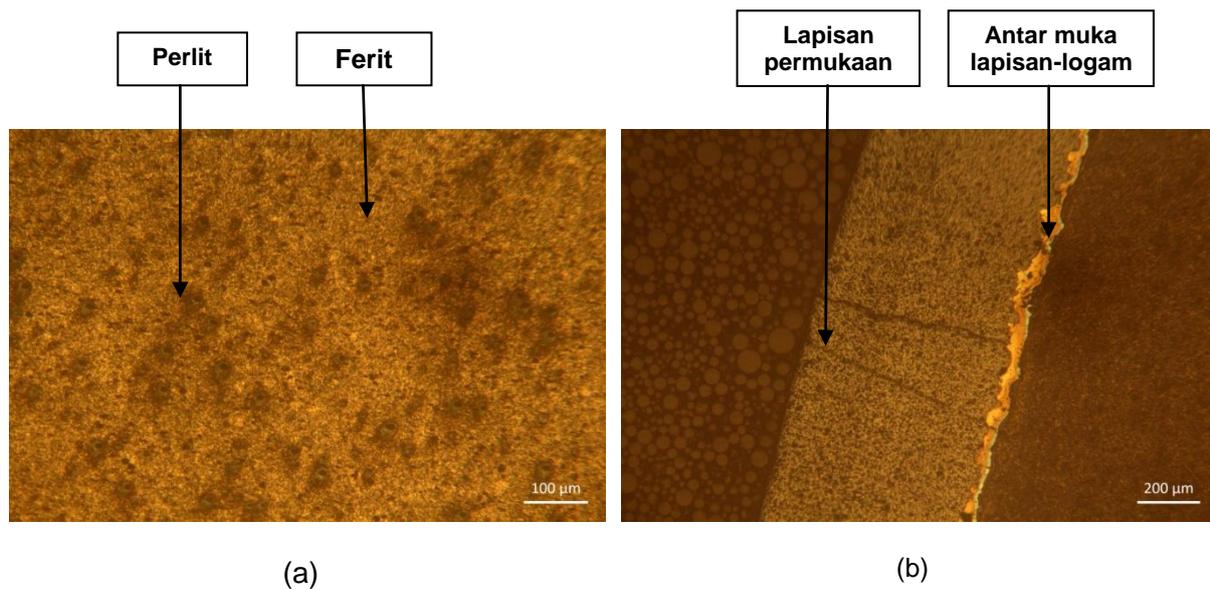
Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah baja berlapis, resin acryfic dan pengeras, kertas ampelas, pasta intan, dan bahan etsa . Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah mesin *accutom*, mesin gerinda dan poles, mikroskop optik, *microvickers hardness tester*, *X-ray fluorescence (XRF)*.

Karakterisasi terhadap lapisan permukaan baja dilakukan dengan tahapan sebagai berikut : (1) baja berlapis dipotong dengan mesin *accutom* menjadi 2 bagian masing-masing untuk sampel metalografi dan kekerasan, serta sampel uji XRF; (2) sampel metalografi dibingkai dengan resin acryfic dan pengeras, kemudian diampelas dengan kertas ampelas grit 320 hingga 1.200 untuk mendapatkan sampel dengan permukaan rata dan bebas goresan, selanjutnya dipoles dengan pasta intan untuk mendapatkan permukaan rata dan mengkilap, dan berikutnya dietsa; (3) pengamatan mikrostruktur sampel *base metal*, antarmuka (*interface*) logam-lapisan, dan lapisan permukaan baja menggunakan mikroskop optik; (4) pengujian kekerasan mikro sampel *base metal*, antarmuka logam-lapisan, dan lapisan permukaan baja menggunakan *microvickers hardness tester*; dan (5) pengujian komposisi unsur kimia penyusun *base metal* dan lapisan menggunakan XRF. Data yang diperoleh dari karakterisasi lapisan baja digunakan untuk mengetahui karakter lapisan baja yaitu mikrostruktur *base metal*, *interface*, lapisan; ketebalan lapisan; kekerasan dan komposisi kimia *base metal* dan lapisan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Mikrostruktur

Gambar 1 menunjukkan mikrostruktur lapisan permukaan baja. Pada Gambar 1 (a) terlihat bahwa mikrostruktur *base metal* dari sampel dengan fasa ferit dan perlit. Gambar 1 (b) memperlihatkan mikrostruktur lapisan yang terbentuk pada permukaan baja. Pada Gambar 1 tersebut terlihat adanya antar muka logam-lapisan yang nampak jelas membatasi logam dan lapisan, serta lapisan yang kompak dan homogen. Tipe lapisan ini sulit untuk dilewati anion ( $O^{2-}$  dan  $Cl^-$ ) berdifusi ke permukaan logam dan ion positif logam berdifusi dari arah permukaan logam ke lapisan, sehingga anion dan kation tidak dapat berinteraksi untuk membentuk senyawa oksida atau khlorida. Dengan demikian, adanya tipe lapisan permukaan tersebut dapat meningkatkan ketahanan korosi baja berlapis dalam media air pada temperatur tinggi<sup>[8]</sup>. Selain itu, dari antarmuka lapisan-logam terlihat bahwa daya rekat antara bahan pelapis dan *base metal* sangat baik. Untuk mengetahui kekuatan rekat lapisan perlu dianalisis mikrostrukturnya dengan menggunakan mikroskop elektron skaning (SEM).



Gambar 1. Mikrostruktur baja berlapis pada permukaannya.  
 a) *Base metal* . Perbesaran 100x  
 b) Antarmuka lapisan-logam. Perbesaran 100x.

Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran lapisan permukaan baja, dimana ketebalan minimum lapisan adalah 600,91  $\mu\text{m}$ , ketebalan maksimum lapisan adalah 636,92  $\mu\text{m}$ , dan ketebalan rerata lapisan adalah 624,071  $\mu\text{m}$  (Tabel 1). Lapisan yang cukup tebal ini mengindikasikan jarak relatif jauh anion untuk mencapai permukaan logam, demikian pula kation logam untuk mencapai permukaan lapisan sehingga kemungkinan kecil terjadi proses elektrokimia<sup>[8]</sup>. Dengan demikian lapisan yang terbentuk pada permukaan baja dapat berfungsi sebagai isolator elektrik yang mencegah kontak antara permukaan logam dengan lingkungan sehingga korosi tidak terjadi.



Gambar 2. Pengukuran ketebalan lapisan pada permukaan baja.

Tabel 1. Ketebalan lapisan pada permukaan baja.

No	Ketebalan lapisan ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan maksimum ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan minimum ( $\mu\text{m}$ )	Ketebalan rerata ( $\mu\text{m}$ )
1	623,015	636,962	600,910	624,071
2	636,962			
3	622,522			
4	636,948			
5	600,910			

### Kekerasan

Kekerasan mikro logam induk, antarmuka logam-lapisan, dan lapisan permukaan baja dapat diketahui dengan menggunakan peralatan *Vickers Micro Hardness Tester*. Pada uji kekerasan mikro ini digunakan beban indenter sebesar 100 gf, yang dilakukan pada 4 (empat) titik di lokasi *base metal*, antarmuka logam-lapisan, di dekat *interface*, dan lapisan permukaan baja. Kekerasan mikro rata-rata *base metal*, antarmuka logam-lapisan, dan lapisan permukaan baja ditunjukkan Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa kekerasan lapisan permukaan baja sangat tinggi, yaitu 943 VHN lebih tinggi dibandingkan kekerasan *base metal* (= 238 VHN), kekerasan pada daerah antarmuka logam-lapisan (= 278 VHN) dan kekerasan di dekat *interface* (= 268 VHN). Kekerasan lapisan sekitar 3,96 kali kekerasan *base metal*. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan lapisan yang tinggi akan meningkatkan ketahanan aus baja terhadap lingkungan oksidatif, korosi dan erosi.

Tabel 2. Kekerasan lapisan pada permukaan baja

No	Lokasi sampel	Kekerasan, VHN
1	Logam induk ( <i>base metal</i> )	238
2	Dekat interface	268
3	Antarmuka logam-lapisan	278
4	Lapisan permukaan	943

### Komposisi Kimia

Komposisi kimia *base metal* ditentukan dengan Spektrometer Pendaran Sinar-X (XRF). Hasil pengolahan data spektrum dari XRF ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa unsur-unsur pemadu yang terdapat dalam baja yaitu Si, S, Mn, Cr, V, Ni, Mo dengan jumlah total rata-rata 1,5639 % berat. Spektrometer XRF tidak dapat

menentukan unsur karbon (C). Oleh karena persentase berat unsur padu rata (=1,5639) kurang dari 8 % berat maka *base metal* adalah baja paduan rendah.

Tabel 3. Komposisi kimia *base metal* (baja)

Sampel	Persentase berat (% wt)							
	Si	S	Mn	Cr	V	Ni	Mo	$\Sigma$
1	0,2805	0,0109	0,9422	0,1931	0,0933	0,0455	0,0124	1,5780
2	0,2824	0,0110	0,9292	0,1914	0,0904	0,0368	0,0117	1,5529
3	0,2700	0,0111	0,9422	0,1977	0,0904	0,0368	0,0126	1,5608

Komposisi kimia lapisan pada permukaan baja tidak dapat ditentukan dengan spektrometer XRF. Namun, komposisi kimia lapisan tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan difraktometer sinar-X. Sementara itu, daya rekat lapisan pada permukaan baja dapat diketahui dari hasil analisis mikrostruktur pada daerah antarmuka logam-lapisan yang diamati dengan SEM. Dengan demikian, pada penelitian berikutnya akan dilakukan analisis terhadap lapisan permukaan baja menggunakan SEM dan difraktometer sinar-X untuk mengetahui metode baku proses pelapisan pada permukaan baja paduan.

## KESIMPULAN

Karakter mikrostruktur, ketebalan, kekerasan mikro, dan komposisi kimia lapisan yang dilakukan belum dapat mengidentifikasi bahan pelapis dan metoda proses pelapisan permukaan baja paduan.

Karakterisasi lapisan dilanjutkan dengan menggunakan SEM dan difraktometer sinar-X guna mengidentifikasi bahan pelapis dan metode proses pelapisan pada permukaan baja paduan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rosika Kriswarini, Helmi Fauzi Rahmatullah, dan Junaedi yang telah membantu pelaksanaan karakterisasi komposisi kimia pada lapisan permukaan baja.

## DAFTAR PUSTAKA

1. P. Yvon, F. Carré, (2009). *Structural materials challenges for advanced reactor systems*, J. of Nuclear Materials, 385, 217–222.

2. Andresen, P. L., (2013). *Stress Corrosion Cracking of Current Structural Materials in Commercial Nuclear Power Plants*, J. Corrosion Science, October.
3. Allen, T., H. Burlet, R.K. Nanstad, and M. Samaras, (2009). *Advanced Structural Materials and Cladding*, J. of MCANES, 34, (1), 20-27.
4. Almeida, N. C. Et. al., (2016). *Laser Cladding and Thermal Spray Coatings on Steel Pipe Serving the Oil and Gas Industry*, J. of Material Sciences & Engineering, 5 (5), 2-6.
5. Kuppuraj, P., S. Gunasekaran, P. Puliarasan (2014). *Plasma (Ion) Nitriding of Low Alloy Steel (EN19 grade) and Investigation of Its Physico-Mechanical Properties*, Int. J. of Science, Technology, and Humanities, 1, 93-98.
6. Terres, M. A., L. Ammari, and A. Chérif, (2017). *Study of the Effect of Gas Nitriding Time on Microstructure and Wear Resistance of 42CrMo4 Steel*, J. Materials Sciences and Applications, 8, 493-507.
7. Doan, T. V., D Kusmič, M Pospíchal, D Dobrocký, (2017). *Improvement of Wear Resistance for C45 Steel Using Plasma Nitriding, Nitrocarburizing and Nitriding/Manganese Phosphating Duplex Treatment*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 179, 1-8.
8. Sastri V. S, E. Ghalli, and M. Elboujidaini, (2007). *Corrosion Prevention and Protection Practical Solutions*, John Willey & Sons, 204-210.