

Tinjauan Perlakuan Panas Permukaan Untuk Meningkatkan Ketahanan Aus Baja Tahan Karat

E. Haruman¹⁾, Erry Y.T. Adesta²⁾

¹⁾Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jl. H.R. Rasuna Said Kav.C-22, Jakarta 12640, Indonesia

²⁾ Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia, Jalan Gombak 53100, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstrak

Melalui tulisan ini perlakuan panas termokimia temperatur rendah, yaitu: nitridisasi, karburisasi, dan hibrida, terhadap baja tahan karat jenis austenitik dan dupleks dijelaskan secara komprehensif dalam upaya meningkatkan kekerasan permukaannya. Penelitian yang telah dilakukan beberapa tahun terakhir oleh penulis diungkap yang telah memberikan hasil memuaskan, yaitu terjadinya peningkatan yang sangat signifikan pada permukaan baja tahan karat kedua jenis tersebut tanpa menurunkan sifat dasarnya berupa ketahanan karat yang baik. Berdasarkan data hasil eksperimen laboratorium yang diungkap pada tulisan ini, maka disimpulkan perlakuan panas termokimia temperatur rendah 350-450 °C layak dikaji pada skala industri.

Pendahuluan

Baja tahan karat merupakan salah satu material penting dari kelompok logam besi yang digunakan di berbagai aplikasi industri keunggulannya yaitu ketahanan terhadap korosi akibat reaksi elektrokimia terhadap lingkungan logam tersebut berada. Berdasarkan komposisi kimia dan mikrostrukturnya baja tersebut dapat diklasifikasikan kepada beberapa kategori, yaitu: baja tahan karat austenitik, bajatahan karat feritik (ferritic), bajatahan karat martensitik (martensitic), baja tahan karat dupleks (duplex), dan baja tahan karat pengerasan presipitasi (precipitation hardening). Karakteristik masing-masing jenis baja tahan karat berikut aplikasinya ditunjukkan pada Tabel 1. Dari kelompok baja tahan karat tersebut, yang paling banyak digunakan adalah baja tahan karat austenitik yaitu sekitar 70% dari total produksi dunia (Gb. 1).

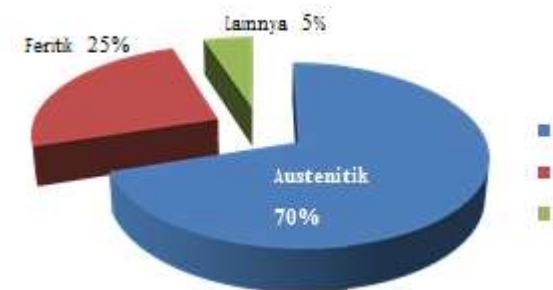
Kelebihan dari baja tahan karat jenis austenitik adalah memiliki kemampuan untuk dibentuk dan dilas atau sering disebut fabricability yang sangat baik dan relatif murah dibandingkan jenis lainnya bersama jenis feritik. Oleh karena pertimbangan biaya tersebut, maka dua jenis austenitik dan

feritik paling banyak digunakan untuk berbagai aplikasi sebagai tabung larutan kimia, peralatan rumah tangga, aksesoris dan hiasan, bahan bangunan, peralatan kedokteran, komponen kendaraan, dan lainnya yang memerlukan ketahanan karat. Disamping keunggulan di atas, kelemahan baja tahan karat austenitik ini adalah memiliki kekerasan yang rendah sehingga sulit dimanfaatkan untuk aplikasi komponen struktur ataupun mesin yang memerlukan kekuatan dan ketahanan aus tinggi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka ilmuwan di Eropa (khususnya: *United Kingdom*) telah mengembangkan perlakuan permukaan khusus untuk jenis baja tahan karat ini dengan metoda termokimia (*thermochemical treatment*) dimulai oleh perlakuan nitridisasi (*nitriding*). Keberhasilan meningkatkan kekerasan permukaan baja tahan karat jenis austenitik membawa kemungkinan aplikasi material ini lebih luas, seperti: perkakas potong industri, peralatan bedah kedokteran, sudu turbin, dan komponen lainnya yang selama ini terbuat dari jenis martensitik ataupun pengerasan presipitasi. Teknologi perlakuan panas permukaan untuk baja tahan karat serta pengembangan prosesnya berkaitan dengan hasil riset terkini dijelaskan pada bagian berikut.

Tabel 1. Baja tahan karat berikut karakteristiknya

| Kelompok | Komposisi kimia (% berat) | Kekerasan (VHN) | Sifat | Harga*) |
|------------|---------------------------|-----------------|-------------------------------------|---------|
| Austenitik | Cr 16-26, Ni ≥8, C ≤ 0.2 | 200-220 | Ulet dan mampu las baik, tahan asam | 1 |

| | | | | |
|-----------------------|--|---------|--|-------|
| Feritik | Cr 16-20, C \leq 0.25% | 200-220 | Tahan terhadap asam, rapuh. | 1 |
| Duplex | Cr 20-30, Ni ~5%, C \leq 0.03%, plus minor ferritizer (Si, Mo, V, Al, Nb, Ti, W), and austenitizers (Ni, Co, Mn, Cu, C, N) | 280-310 | Ketahanan terhadap klorida lebih baik dan lebih kuat dari austenitik | 2-3 |
| Martensitik | Cr 12-18, Ni ~ 0, C _{max} 1.2 | 280-350 | Rentan terhadap keretakan hidrogen | 1.5-2 |
| Pengerasan presipitat | Martensitik: Cr-Ni 13-8, 15-5, 17-4, Semi austenitik: Cr-Ni 17-7, 15-7, C \leq 0,1 | 340-450 | Sangat keras tetapi ketahan korosi terendah diantara jenis lainnya | 2-3 |



Gambar 1. Persentase penggunaan baja tahan karat hasil produksi dunia

Sejarah Penelitian

Penelitian untuk melakukan perlakuan panas permukaan pada baja tahan karat dimulai pertengahan

1980'an yang dimulai oleh Zhang dan Bell [1], dengan mendifusikan nitrogen ke permukaan baja tahan karat austenitik (AISI 304) pada temperatur sekitar 550 °C yang menghasilkan peningkatan kekerasan pada permukaan mencapai 5 kali lipat dari sekitar skala kekerasan ~200 VHN menjadi ~1000 VHN. Hal serupa dilakukan oleh Ichii dkk. [2], namun pengujian korsi menemukan baja tersebut kehilangan ketahanan karatnya terutama ketahanan terhadap korosi batas butir (*intergranular corrosion*), yang diakibatkan baja tahan karat ini kekurangan elemen kromium (Cr) pada larutan padat austenitik, sehingga fungsinya untuk membentuk lapisan pasif Cr₂O₃ pada permukaan menjadi hilang. Fenomena ini diakibatkan efek sensitifitas (*sensitivity effect*), yaitu terjadinya pengurangan elemen kromium pada fasa induk austenit yang disebabkan oleh pembentukan nitrida / karbonitrida krom selama proses perlakuan panas berlangsung. Pada tahun 1990'an keberhasilan meningkatkan kekerasan permukaan baja tahan

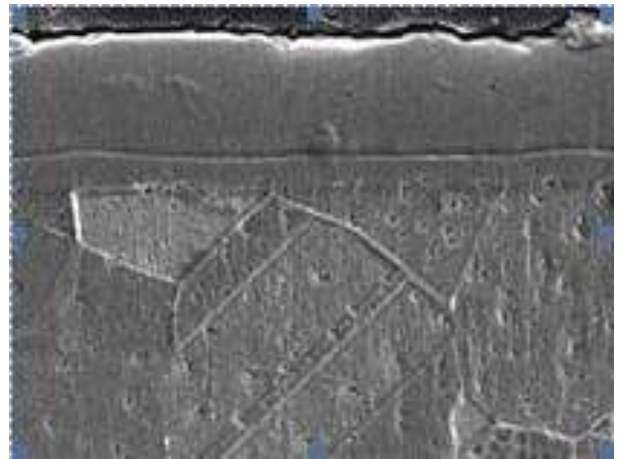
karat austenitik tanpa mengurangi ketahanan karatnya telah diklaim oleh beberapa peneliti [3-5], yaitu dengan menggunakan metoda *plasma nitriding* pada temperatur sekitar 350-400 °C yang menggunakan komposisi atmosfer gas bervariasi 75-90 vol.% NH₃ + 25-10 vol.% N₂, dan waktu perlakuan 4-20 jam. Hasil pengukuran kekerasan permukaan spesimen hasil nitridisasi pada temperatur relatif rendah tersebut menunjukkan peningkatan angka skala kekerasan mencapai 1450 VHN (*Vickers Hardness Number*). Dari hasil pengamatan *X-ray Diffractometry* dan mikrostruktur terbukti peningkatan kekerasan yang signifikan tersebut terjadi akibat terbentuknya lapisan fasa austenit jenuh oleh nitrogen pada permukaan spesimen yang disebut sebagai *expanded austenite phase*, atau sering disebut *S-phase*. Dalam hal ini nitrogen (N) menempatkan diri sebagai atom interstitisi diantara atom induk besi (Fe) dan mengakibatkan efek distorsi kristal yang mengekspansi parameter kisi (*lattice parameter*) sebesar 3-11 %, sehingga kekerasan bahan menjadi sangat tinggi. Pada saat ini pemanfaatan perlakuan nitridisasi temperatur rendah telah mencapai

aplikasi industri, khususnya di Eropa, yaitu dengan menggunakan teknik atmosfer plasma. Disamping keunggulan parameter proses yang presisi yang dimiliki oleh metoda plasma ini kelemahannya adalah biaya investasi yang tinggi terutama untuk reaktor komponen ukuran besar, dan juga kecepatan produksi yang rendah akibat karakteristik *batch process* yang dimilikinya

Pengembangan Proses.

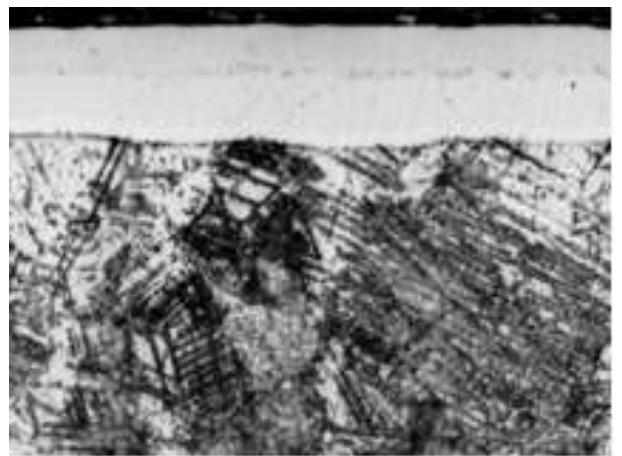
Pada tahun 2005, Haruman dkk. [6], mencoba perlakuan nitridisasi temperatur rendah terhadap baja tahan karat austenitik AISI 316 L dengan menggunakan dapur fluidised bed. Hasil percobaan menunjukkan lapisan *expanded austenite phase* (*S-phase*) dengan ketebalan ~20 µm dan kekerasan 1400 VHN dapat terbentuk melalui temperatur perlakuan 450 °C dan waktu 4-6 jam,

tanpa mengurangi ketahanan korosinya akibat *sensitation effect* yaitu pembentukan presipitasi nitrida (CrN). Keberhasilan menggunakan dapur perlakuan panas konvensional tersebut memberi peluang bahwa perlakuan ini dapat dilakukan pada skala industri dengan biaya investasi lebih murah. Gb. 2 menunjukkan foto mikrostruktur lapisan *S phase* hasil nitridisasi temperatur rendah di atas.



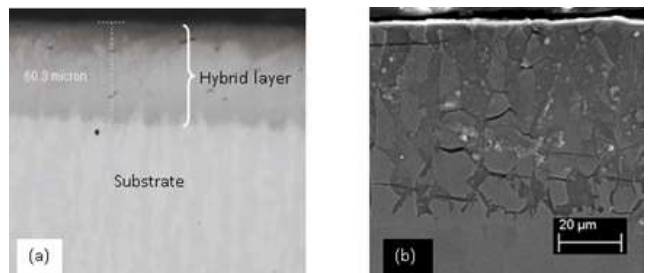
Gambar 2. Lapisan *S-phase* hasil nitridisasi

Perkembangan perlakuan panas termokimia temperatur rendah untuk baja tahan karat tidak hanya berhenti pada nitridisasi saja, tetapi juga pengembangan metoda lainnya dengan cara karburisasi (*carburising*) dan perlakuan hibrida (*hybrid treatment*) yang merupakan kombinasi difusi nitrogen dan karbon ke permukaan baja tahan karat. Perbandingan hasil perlakuan nitridisasi, karburisasi, dan hibrida dari berbagai penelitian [6-11] ditampilkan pada Tabel 2. Terlihat bahwa perlakuan hibrida menghasilkan ketebalan lapisan paling tinggi dengan terbentuknya lapisan dua fasa, yang terdiri dari lapisan austenit jenuh nitrogen (*nitrogen S-phase*) pada bagian atas dan lapisan austenit jenuh karbon (*carbon S-phase*) pada bagian bawah yang bersentuhan dengan substrat. Terbentuknya lapisan dua fasa pada baja tahan karat austenitik AISI 321 dapat dilihat pada Gb. 3.



Gambar 3. Lapisan *S-phase* hasil perlakuan pada baja AISI 316 L hibrida pada baja AISI 320[7]

Penelitian terus berkembang bukan hanya untuk perlakuan terhadap baja tahan karat jenis austenitik. Sejak beberapa tahun terakhir, perlakuan panas termokimia temperatur rendah telah dicoba untuk baja tahan karat dupleks (*duplex stainless steels*) oleh berbagai pihak [12,13]. Hambatan masih dihadapi yaitu sulit membentuk lapisan *S-phase* yang homogen akibat hadirnya struktur ferit pada baja dupleks pada baja tersebut. Gb. 4 menampilkan mikrostruktur lapisan hasil perlakuan nitridisasi dan hibrida yang heterogen terdiri dari campuran austenit jenuh nitrogen dan austenit jenuh karbon. Pengukuran kekerasan terhadap penampang lapisan permukaan baja tahan karat dupleks setelah perlakuan hibrida memberikan hasil nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan pada baja tahan karat austenit [14].



Gambar 4. Lapisan *S-phase* hasil perlakuan hibrida pada baja AISI 2205 DSS [14], (a) gambar melalui mikroskop optik (b) gambar melalui mikroskop elektron.

Tabel 2. Perbandingan berbagai hasil perlakuan panas termokimia baja tahan karat austenitik.

| Perlakuan*) | Kekerasan (VHN) | Ketebalan lapisan | Load bearing | Ketahanan korosi |
|-------------|-----------------|-------------------|---------------|------------------|
| Nitridisasi | 1400-1500 | ~15-20 µm | moderat | baik |
| Karburisasi | 1100-1200 | ~30-40 µm | tinggi | baik |
| Hibrida | 1800-2100 | ~40-50 µm | sangat tinggi | baik |

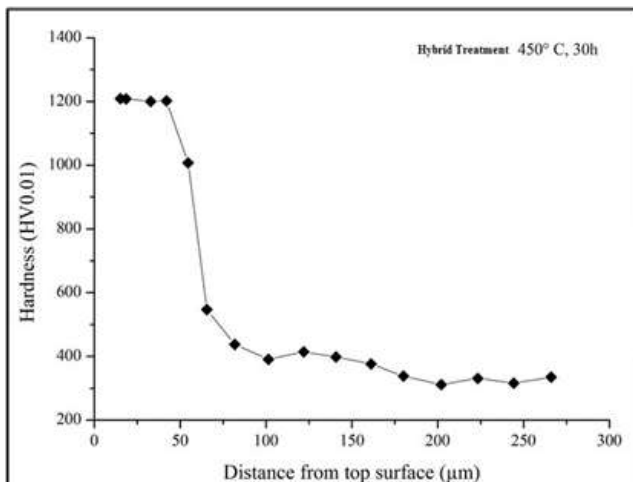
*) lama perlakuan 4 – 6 jam pada temperatur 400 – 410°C

Pengujian Karakter Lapisan dan Aplikasi

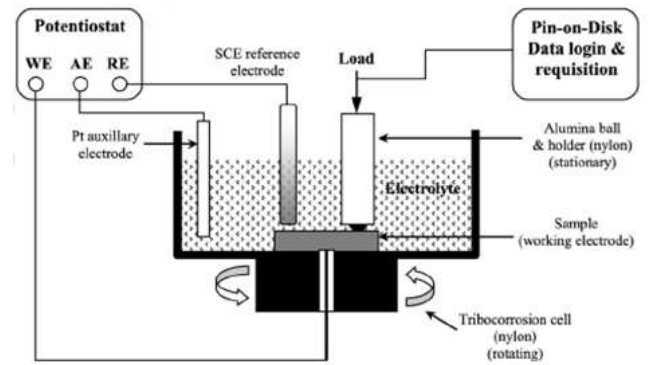
Beberapa penelitian[15,16] telah dilakukan dalam upaya menguji karakter baja tahan karat khususnya tipe austenitik yang telah mengalami perlakuan panas permukaan. Spesimen yang telah mengalami perlakuan permukaan memiliki profil kekerasan seperti contoh yang terlihat pada Gb. 5. Terlihat kekerasan meningkat sangat tinggi pada

bagian permukaan dengan ketebalan mencapai 50 μm akibat terbentuknya lapisan *S-phase*. Untuk mengetahui karakter lapisan, pengujian yang tepat dilakukan adalah dengan menyelidiki respons terhadap reaksi elektrokimia dan keausan (disebut: *tribo corrosion test*) yaitu menggabungkan *Pin-on-Disk Tribometer* dengan *Electrochemical Potentiostat*, seperti diilustrasikan pada Gb. 6. Hasil pengujian pada larutan kimia 1 M H_2SO_4 [15] dan 0.5 M NaCl [16] menunjukkan spesimen yang telah mengalami perlakuan panas permukaan tidak mengalami keausan korosi (*corrosive wear*) dibandingkan spesimen yang belum mengalami perlakuan (Gb. 7). Dengan pembuktian di atas, maka diyakini baja tahan karat yang selama ini dikategorikan sebagai *non-high strength material* dapat ditingkatkan aplikasinya pada lingkungan yang membutuhkan kombinasi ketahanan karat dan kekerasan atau ketahanan aus tinggi, seperti: komponen turbin uap dan peralatan pengeboran lepas pantai.

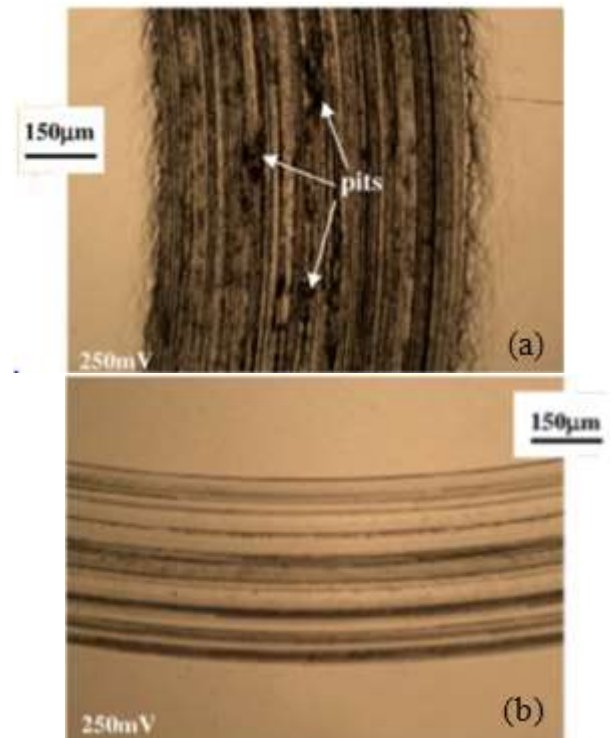
Meskipun uji skala *pilot project* belum dilakukan, beberapa komponen seperti: *rotor, stator, compressor blade, diaphragm, guide vane, nozzle, buckets*, pada turbin air dari sistem pembangkit tenaga (*power generator*), lihat Gb. 7, dapat dicoba menggunakan baja tahan karat austenitik yang telah dilakukan perlakuan permukaan termokimia untuk menggantikan kelas martensitik ataupun pengerasan presipitasi diilustrasikan yang selama ini digunakan. Hal tersebut didasari pertimbangan harga material kelas austenitik yang lebih murah dan ongkos perlakuan panas sebagai bagian proses manufaktur yang umumnya hanya berkisar 1-5% dari total biaya produksi komponen.



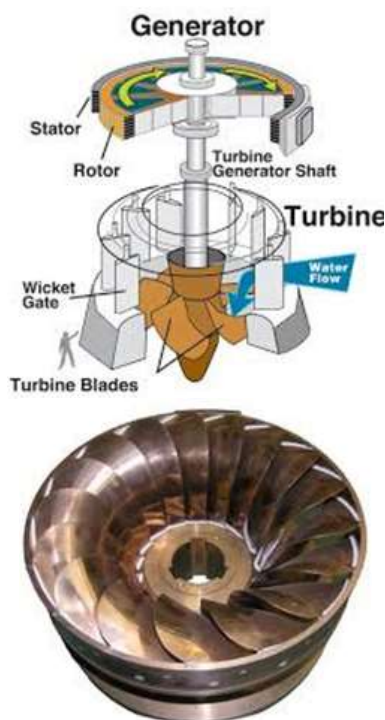
Gambar 5. Profil kekerasan dari baja tahan karat hasil perlakuan hibrida baja AISI 2205 [13]



Gambar 6. Rangkaian peralatan tribo corrosion test [15]



Gambar 7. Jejak uji keausan pada permukaan baja AISI 316 L, (a) sebelum perlakuan panas permukaan (b) setelah perlakuan panas permukaan



Gambar 8. Rotor turbin air pembangkit tenaga listrik

Kesimpulan

Upaya meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja tahan karat melalui pembentukan lapisan S phase dengan cara perlakuan panas termokimia pada temperatur rendah, telah berhasil dan teruji tanpa mengurangi sifat ketahanan korosinya. Penelitian yang telah dilakukan umumnya untuk baja tahan karat tipe austenitik dengan implementasi di industri menggunakan metoda plasma nitridisasi. Implementasi untuk baja tahan karat jenis duplex masih memerlukan penelitian lanjut dikarenakan kesulitan pembentukan lapisan S-phase yang homogen. Bila perlakuan panas termokimia yang telah diungkap di atas, seperti: nitridisasi, karburisasi, dan hibrida dapat dilakukan dengan menggunakan dapur perlakuan panas atmosfer gas, seperti fluidized bed atau lainnya, maka pemanfaatan baja tahan karat jenis austenitik dan duplex untuk *high strength components* menjadi lebih menarik secara komersial untuk digali dalam skala industri

Referensi

- [1] Z.L. Zhang dan T. Bell, Surf. Eng. Vol. 1 (1985) p. 131.
- [2] K. Ichii, K. Fujimura and T. Takase, Techn. Rep. Kansai Univ. Vol. 27 (1986), p. 135.
- [3] A. Leyland, D.B. Lewis, P.R. Stevenson and A. Matthews, Surf. Coat. Tech. Vol. 62 (1993) p. 608.

- [4] E. Menthe, K-T. Rie, J.W. Schultze and S. Simson, Surf. Coat. Tech. Vol. 74-75 (1995) p. 412.
- [5] Y. Sun, T. Bell, Z. Kolosvary and J. Flis, Heat Treatment of Metals, Vol. 26(1) (1999) p. 9.
- [6] E. Haruman, Y. Sun, et.al., Solid State Phenomena, Trans Tech Publication, Switzerland, Vol. 118 (2006), pp. 125-130.
- [7] Y.Sun dan E. Haruman, Solid State Phenomena, Trans Tech Publication, Switzerland vol. 118 2006, pp. 85-90.
- [8] Y.Sun dan E. Haruman, Vacuum, Elsevier, No. 357 (2006).
- [9] E. Haruman, E.Y. Adesta. et.al., Proceeding 3rd Malaysian Brake Friction Materials Colloquium, UTP, 2006, p. 67.
- [10] Y.Sun dan E. Haruman, Surface and Coating Technology, Elsevier, UK, vol. 202 (2008), issue 17, pp. 4069 – 4075.
- [11] E. Haruman, Y.Sun, dan E.Y. Adesta, Journal of Materials Engineering and Performance, ASM International, Springer, USA, on line version, DOI: 10.1007/s11665-011-9927-y 1059-9495.
- [12] L.H. Paijan dan E. Haruman, Advanced Materials Research, Trans Tech Publication, Switzerland, Vol. 576 (2012) pp 260.
- [13] Shahrman, Ph.D Thesis, Universiti Teknologi MARA, Malaysia, 2013.
- [14] M.S. Adenan, M.N. Berhan, E. Haruman, paper submitted to 1st International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, Johor Bahru, Malaysia, 4 – 6 December 2013.
- [15] E. Haruman, Y.Sun, Surface Coating and Technology, Elsevier, 205 (2011) pp. 4280–4290.
- [16] Y. Sun, E. Haruman, Corrosion Science, Elsevier, 53 (2011) pp. 4131–4140.