

## Pengaruh Suhu Pack Cementation pada Proses Pelapisan NiCoCrAl Terhadap Ketahanan Oksidasi Baja Karbon

Leni Lutfiati

Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, e-mail: leniimud@gmail.com

Munasir, Eni Sugiarti, Kemas A. Zaini T

Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Pusat Penelitian Fisika (P2F)-LIPI, Kompleks Puspipstek Gedung 442, Serpong-Tangerang Selatan, e-mail:  
eni\_ayumi@yahoo.com, kemas\_th@gmail.com

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh Suhu Pack Cementation Pada Proses Pelapisan NiCoCrAl Terhadap Ketahanan Oksidasi Baja Karbon". Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil deposisi lapisan NiCoCrAl dengan variasi pack cementation 800, 900 & 1000°C pada substrat baja karbon, struktur mikro lapisan NiCoCrAl yang terbentuk sebelum & sesudah oksidasi, kemudian mendeskripsikan laju oksidasi FeNiCoCrAl pada temperatur 800°C. Sampel yang dibuat divariasikan suhu deposisinya yakni suhu pack cementation mulai dari 800, 900 dan 1000°C. Pack cementation dipanaskan didalam furnace yang mengandung gas inert (Ar) dengan masing-masing variasi temperature 800, 900 dan 1000°C selama 10 jam untuk deposisi Cr, dan 20 menit untuk deposisi Al. Kemudian masing-masing sampel yang terbentuk yakni FeNiCoCrAl 800, 900 dan 1000°C diuji oksidasi untuk mengetahui lapisan mana yang lebih tahan terhadap oksidasi. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa dengan menaikkan suhu pack cementation terjadi difusi Al yang semakin dalam sehingga menghasilkan ketebalan lapisan yang berbeda-beda dari sampel FeNiCoCrAl 800, 900 & 1000°C, dimana ketebalan masing-masing sebesar 3,7µm, 140,6µm dan 385,1µm. Hasil uji mikrostruktur dengan menggunakan SEM-EDS menunjukkan perbedaan suhu pack cementation mengakibatkan perbedaan komposisi kimia lapisan. Ketahanan oksidasi terbaik ditunjukkan oleh sampel FeNiCoCrAl 800°C, dengan laju oksidasi yang rendah serta kurva oksidasi yang parabolik dan bersifat protektif.

**Kata Kunci:** Baja Karbon, Pack Cementation, lapisan NiCoCrAl, Oksidasi.

### Abstract

Research has been done entitled "The Effect of Pack Cementation Temperature on the Coating of NiCoCrAl Processes Against the carbon Steel Oxidation Resistance". The purpose of this study was to compare the results of variation layer deposition NiCoCrAl pack cementation at 800, 900 and 1000°C on substrat carbon steel. NiCoCrAl coating microstructure formed before and after oxidation, and then describe the rate of oxidation FeNiCoCrAl at temperatures of 800°C. Samples were made varied the deposition temperature pack cementation temperature ranging from 800, 900 and 1000°C. Pack cementation is heated in the furnace containing an inert gas (Ar) with each variation of temperature of 800, 900 and 1000°C for 10 hours for the deposition of Cr, and 20 minutes for the deposition of Al. Then each sample that formed the FeNiCoCrAl 800, 900 and 1000°C oxidation tested to determine which layer is more resistant to oxidation. Research results show that with increasing temperature pack cementation diffusion of Al deeper so that resulted in the thickness of the different layers of the sample FeNiCoCrAl 800, 900 and 1000°C, where the thickness of each of 3.7 µm, 140.6 µm and 385.1 µm. Best oxidation resistance obtained from FeNiCoCrAl 800°C, with a slow rate of oxidation and oxidation parabolic curve and protective.

**Keywords :** Carbon steel, pack cementation, NiCoCrAl layer, oxidation.

### PENDAHULUAN

Baja adalah material yang memiliki banyak peranan dalam kehidupan saat ini. Pada bidang energi, misalnya pemipaan pada suhu tinggi, permasalahan utama adalah masalah korosi.

Untuk mendapatkan baja dengan kualitas tertentu seperti antikorosi, tahan panas dan sebagainya, maka biasanya ditambahkan unsur lain seperti chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), atau molybdenum (Mo) (Hidayat, 2011). Pada temperatur tinggi, ketahanan korosi

baja akan menurun, di antaranya disebabkan oleh adanya proses oksidasi akibat interaksi dengan lingkungan dan terjadinya sensitisasi. Oleh karena itu, untuk menunjang keandalan material, diperlukan pengujian oksidasi pada suhu tinggi. Pengujian oksidasi perlu dilakukan untuk mengetahui laju oksidasi, jenis dan sifat lapisan oksida, dan pengaruhnya terhadap struktur mikro serta kekerasan bahan (Bandriyana, dkk, 2004)

Seiring dengan perkembangan teknologi ilmu bahan, ditemukan cara yang efektif untuk melapisi permukaan baja agar tahan terhadap karat / korosi. Teknologi ini

menggunakan teknik pelapisan baja dengan logam-logam lain yang tidak reaktif dan tidak dapat teroksidasi. Logam-logam yang sering digunakan sebagai pelapis permukaan adalah emas (79Au), seng (30Zn), krom (24Cr), kobalt (27Co), dan lain sebagainya. Proses pelapisan baja dengan unsur lainnya ini dikenal dengan istilah *electroplating*. Sifat baja hasil proses *electroplating* berbeda antara satu dengan yang lainnya dan sangat dipengaruhi oleh kadar dan jenis unsur pelapis bajanya atau coating materialnya (Asiri, dkk, 2010). Selain *electroplating*, proses perlakuan permukaan pada logam dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi diantaranya adalah proses lapis difusi (*diffusion coating*) dengan metoda *Pack Cementation Aluminizing* (Hidayat, 2011). Salah satu susunan lapisan untuk proteksi baja, adalah MCrAlY (M = Ni dan/ atau Co) yang juga banyak digunakan untuk melindungi komponen (baja) dari oksidasi suhu tinggi dan korosi panas (Prasetya, *et.al.* 2012).

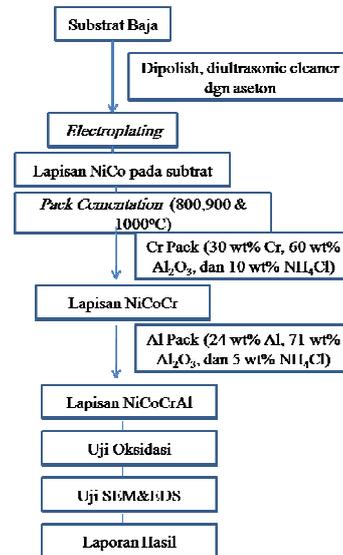
Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan umum penelitian ini adalah bagaimana cara mengoptimalkan proses pendeposisian elemen pelapis pada baja karbon untuk meningkatkan performanya. Sedangkan secara khusus, masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut: Bagaimana hasil deposisi lapisan NiCoCrAl pada susbtrat baja karbon dengan kombinasi metode deposisi *electroplating* dan *pack cementation*, Bagaimana struktur mikro lapisan NiCoCrAl yang terbentuk pada substrat baja karbon sebelum dan sesudah tes oksidasi, Bagaimana laju oksidasi lapisan NiCoCrAl yang terbentuk pada substrat baja karbon terhadap variasi temperatur *pack cementation* yaitu 800°C, 900°C dan 1000°C.

Tujuan umum penelitian ini adalah melihat pengaruh dari proses *coating* pada peningkatan performa baja karbon. Tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut: Membandingkan hasil deposisi lapisan NiCoCrAl pada susbtrat baja karbon pada variasi suhu 800°C, 900°C dan 1000°C dengan kombinasi metode deposisi *electroplating* dan *pack cementation*. Mendeskripsikan struktur mikro lapisan yang terbentuk pada substrat baja karbon sebelum dan sesudah tes oksidasi. Mendeskripsikan laju oksidasi lapisan NiCoCrAl yang terbentuk pada substrat baja karbon terhadap variasi temperatur *pack cementation* yaitu 800°C, 900°C dan 1000°C.

**METODE**

Dalam penelitian eksperimen ini bahan-bahan yang digunakan adalah baja karbon, larutan aseton, aquades, pelat nikel, larutan elektrolit Ni-Strike, Ni-watts, semen putih. Pack mixture untuk pack cementation. Peralatan : Ampelas (#100,#400,#800), *ultrasonic cleaner*, jangka sorong, timbangan digital, bak elektroplating, power

supply, gelas beaker beserta tutup dan pipa kaca beserta penyekat, *magnetic stirrer*, Tungku/furnace yang dilengkapi dengan aliran gas argon dan sistem pendingin, *Crucible* alumina.



Gambar 1. Bagan Penelitian

Penelitian diawali dengan mempersiapkan substrat, yaitu mengampelas permukaan dan sisi substrat hingga mengkilap. Lalu ditimbang dan diukur dimensinya. selanjutnya diikat dengan kawat nikel. Sebelum dielektroplating dicuci dengan agitasi ultrasonik dalam larutan aseton guna menghilangkan lemak dan kotoran.

Proses Elektroplating dilakukan dengan mempersiapkan rangkaian electroplating seperti larutan elektrolit dalam gelas beaker, elektroda (pelat nikel sebagai anoda), power supply, substrat baja yang diikat dengan kawat nikel. Pertama-tama elektroplating Ni-Strike selama 60 detik guna membentuk lapisan Ni perekat. Kemudian electroplating dengan Ni-Watts selama 2 jam guna membentuk lapisan NiCo (prasetya, *et.al.*2012). setelah itu substrat dicuci dengan nanopure/aquades, dan dikeringkan menggunakan hairdryer, untuk kemudian ditimbang. Dengan adanya selisih antara massa sampel sesudah dan sebelum electroplating, maka menurut Lowenheim ketebalan lapisan nikel yang terbentuk dapat dihitung melalui persamaan berikut:

Dimana :

T=Tebal lapisan yang terbentuk (cm)

W=m<sub>2</sub>-m<sub>1</sub>=Massa lapisan yang terbentuk (gr)

ρ=Massa jenis pelapis (gr/cm<sup>3</sup>)

A=Luas permukaan lapisan (cm<sup>2</sup>)

(Girsang, 2012).

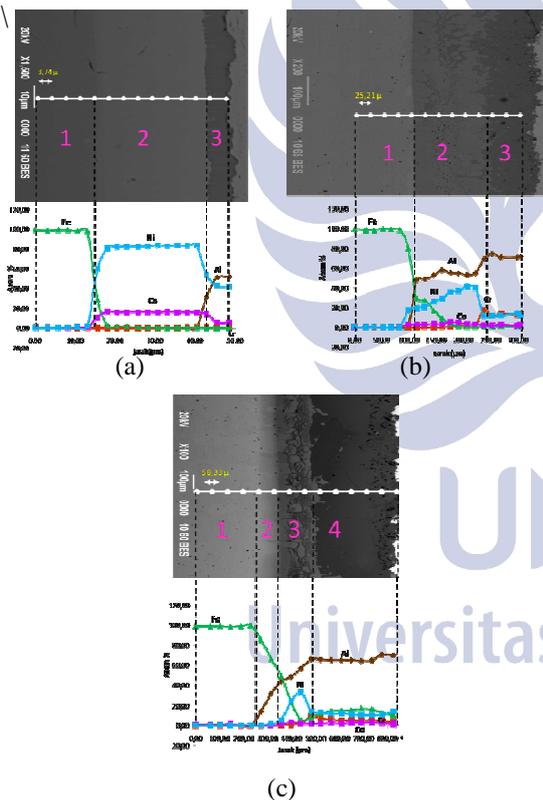
$$T = \frac{W}{\rho \cdot A}$$

Proses berikutnya adalah pack cementation. Pertama-tama mendifusikan krom kedalam lapisan maka peralatan yang digunakan adalah crucible alumina berbentuk tabung beserta tutupnya, pack mixture, substrat, Tungku/furnace

yang dilengkapi dengan aliran gas argon dan sistem pendingin. Variasi suhu pack cementation dibuat, yakni 800°C, 900°C dan 1000°C. kemudian proses terakhir berupa pendifusian aluminium dengan cara yang sama dengan chromizing sebelumnya hanya beda komposisi pack mixture maka aluminizing juga dibuat variasi suhu 800, 900 dan 1000°C. kemudian ditimbang juga dianalisis mikrostruktur lapisan menggunakan SEM-EDS. Proses selanjutnya adalah uji oksidasi dalam tungku bersuhu 800°C. untuk mengetahui ketahanan oksidasi masing-masing sampel yang telah dibuat dengan variasi suhu pack cementation 800,900 dan 1000°C. Dari ketiga jenis sampel, akan ditentukan sampel yang paling tahan oksidasi berdasarkan kurva laju oksidasi selama 100 jam oksidasi (Basuki,2009).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pelapisan NiCoCrAl pada substrat baja karbon yang dibuat dengan metode *electroplating* dan *pack cementation* ditunjukkan pada gambar mikrostruktur cross-section dibawah ini:

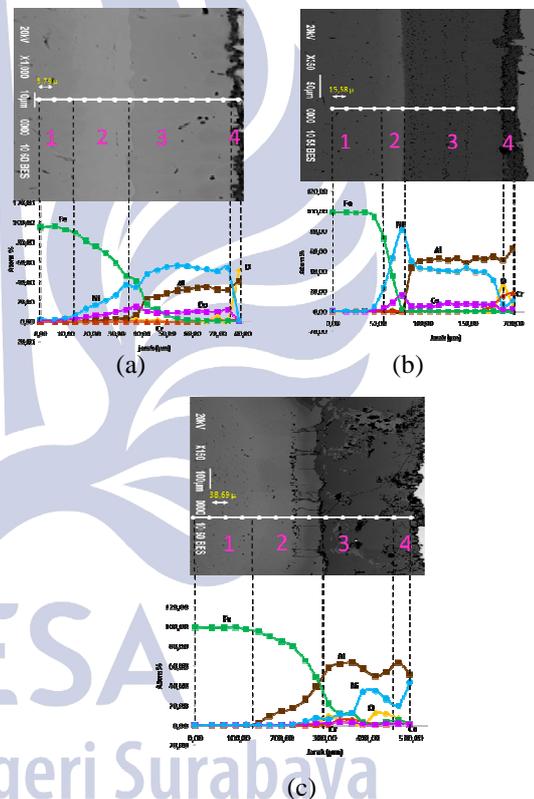


Gambar 2. Struktur Mikro Baja Karbon/FeNiCoCrAl Sebelum uji oksidasi : (a) 800°C, (b) 900°C dan (c) 1000°C

Terdapat beberapa lapisan interdifusi pada FeNiCoCrAl 800,900 dan 1000°C. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa temperatur yang lebih tinggi meningkatkan difusivitas aluminium. Lapisan 1 merupakan substrat berupa baja karbon, kemudian lapisan ke 2,3 dan 4 merupakan daerah interdifusi unsur-

unsur Fe, Ni, Co, Cr, dan Al dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Daerah kaya nikel ditunjukkan pada gambar berwarna putih sedangkan daerah kaya Al ditunjukkan pada gambar dengan warna hitam (Fatma,2011). Nampak perbedaan antara ketiga sample yakni FeNiCoCrAl 800°C dengan lapisan interdifusi NiCo terlebar daerahnya, kemudian pada FeNiCoCrAl 900°C logam Al terdifusi sampai pada daerah yang lebih luas, sedangkan FeNiCoCrAl 1000°C logam Fe terdifusi jauh sampai ke permukaan dan Al berdifusi kedalam.

Kesamaan dari ketiga sample yakni FeNiCoCrAl 800,900 dan 1000°C dari komposisi kimia yang ditunjukkan gambar 4.2 diatas adalah bahwa unsur Cr yang sedikit sekali terdeposisi dalam lapisan karena titik lelehnya yang tinggi yakni  $\pm 1200^\circ\text{C}$ . Kemudian hasil uji SEM sample FeNiCoCrAl 800,900 dan 1000°C setelah diuji oksidasi ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Struktur Mikro Baja Karbon/FeNiCoCrAl sesudah 100 jam uji oksidasi pada temperatur 800 °C dalam udara bebas : (a) pack cementation 800°C, (b) pack cementation 900°C dan (c) pack cementation 1000°C.

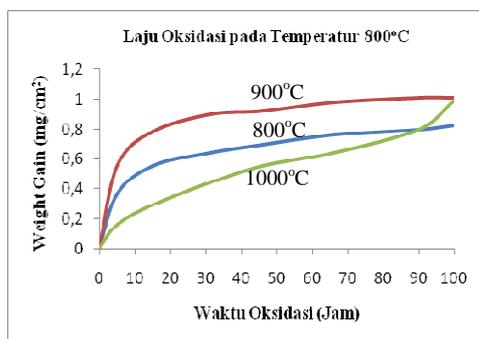
Setelah dioksidasi yakni dimasukkan dalam *furnace* suhu 800°C dengan waktu pemanasan yang siklik mencapai 100 jam, paduan antar logam FeNiCoCrAl mengalami perubahan komposisi kimia dan juga diharapkan terbentuk lapisan proteksi dipermukaan sampel. Pada lapisan substrat didaerah 3, FeNiCoCrAl 800°C sekitar 50 atom% mengandung Nikel, 30 atom% aluminium dan 10 atom% Co, suhu 900°C unsur Al

bertambah menjadi 50 atom%, sedangkan pada 1000°C Al sekitar 60 atom%. Logam-logam ini dapat membentuk lapisan oksida protektif, terutama keberadaan Al yang membentuk lapisan oksida aluminium (alumina).

Pada daerah 4 sampel FeNiCoCrAl 800 & 900°C terbentuk lapisan pelindung sampel karena difusi oksigen pada lapisan permukaan. Akan tetapi pada FeNiCoCrAl 1000°C terjadi oksidasi internal di *layer* 3, ditandai dengan spot-spot hitam pada gambar 4.3 c. Lapisan-lapisan pelindung yang melindungi sampel dari oksidasi lebih lanjut adalah lapisan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO. Oksigen yang masuk kedalam (oksidasi internal), dibawah lapisan atas yang dialami FeNiCoCrAl 1000°C sifatnya merugikan, karena dapat memicu *spallation* atau pengelupasan lapisan secara terus-menerus sehingga tidak melindungi substrat

### Hasil Uji Oksidasi

Ketiga sample masih dalam kondisi yang baik setelah dioksidasi selama 100 jam. Tidak ada pengelupasan lapisan permukaan sampel. Dari uji oksidasi didapatkan kurva laju oksidasi masing-masing sampel yaitu grafik hubungan antara waktu (lama oksidasi) dengan weight gain (pertambahan berat) per satuan luas ( $\Delta w/A$ ) FeNiCoCrAl 800°C, 900°C dan 1000°C.



Gambar 4. Laju Oksidasi FeNiCoCrAl (800,900 & 1000°C)

Pada 10 jam oksidasi, grafik ketiga sample mengalami kenaikan yang cukup besar yang menandakan bahwa berat oksigen terus bertambah, kemudian mulai stabil pada 30 jam dan seterusnya yang berarti proses oksidasi telah berhenti dan terbentuk lapisan oksida (untuk FeNiCoCrAl 800 dan 900°C). Sample FeNiCoCrAl 800 dan 900°C merupakan tipe parabolik yang *resistance* atau tahan terhadap oksidasi. Dari hasil SEM & EDS jelas ditunjukkan bahwa terbentuk oksida pada permukaan sehingga melindungi sampel dari oksidasi lebih lanjut, akan tetapi FeNiCoCrAl 1000°C mengalami kenaikan laju oksidasi di wilayah 100 jam oksidasi sehingga cenderung linear seperti grafik laju oksidasi pada logam besi.

Grafik laju oksidasi linear bersifat *non-protective* sehingga bila oksidasi dilanjutkan dapat mengakibatkan kerusakan permukaan seperti pengelupasan akibat internal

oksidasi. Data ini didukung dengan hasil citra SEM dan EDS yang menunjukkan keberadaan oksigen didalam lapisan setelah permukaan (*top coat*) pada FeNiCoCrAl 1000°C.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing & penguji Skripsi di kampus UNESA, Bpk Kajor Fisika UNESA, serta biro skripsi, atas bimbingan dan arahnya untuk terselesaikannya tugas akhir ini, kemudian keluarga besar P2F LIPI (Pusat Penelitian Fisika Lipi) Serpong Tangerang Selatan, sebagai tempat penelitian selama menyusun laporan Tugas Akhir. Khususnya para bpk & ibu di Laboratorium *High Temperature Coating* (HTC) yang telah membimbing penulis dan juga tempat penelitian utama preparasi sample, pengujian sample, analisis hasil, serta diskusi hasil penelitian. Terima kasih pada semua pihak yang membantu terselesaikannya penelitian untuk tugas akhir ini.

### Simpulan

Simpulan dari kegiatan penelitian ini adalah:

1. Dengan menaikkan suhu *pack cementation* terjadi difusi Al yang semakin dalam sehingga menghasilkan ketebalan lapisan yang berbeda-beda dari sampel FeNiCoCrAl 800, 900 & 1000°C, dimana ketebalan masing-masing sebesar 3,7 $\mu$ m, 140,6 $\mu$ m dan 385,1 $\mu$ m.
2. Struktur mikro FeNiCoCrAl 800,900 & 1000°C menjelaskan paduan antar logam lapisan yang terbentuk, perbedaan suhu *pack cementation* mengakibatkan perbedaan tipe & komposisi kimia lapisan yang terbentuk
3. Laju oksidasi terbaik ditunjukkan oleh sample FeNiCoCrAl 800°C, kurva bersifat parabolik yang protektif dimana laju oksidasi berhenti pada waktu tertentu ditandai dengan tidak bertambahnya berat oksigen pada permukaan sampel

### Saran

Beberapa saran yang penulis dapatkan diantaranya adalah:

1. Dari hasil penelitian FeNiCoCrAl 800°C memiliki performa ketahanan oksidasi yang paling baik sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut.
2. Deposisi unsur Cr dengan metode difusi *pack cementation* belum berhasil mendeposisikan unsur Cr, terlihat dari kecilnya difusi unsur Cr dalam lapisan, sehingga dibutuhkan metode lain (misalnya *air plasma spray* (APS), *Low pressure plasma spray* (LPPS), atau *electron beam physical vapour deposition* (EBPVD)) untuk mendeposisikan Cr.
3. Untuk mengetahui tingkat kekerasan masing-masing sampel, perlu dilakukan uji Vickers

## DAFTAR PUSTAKA

- Bandriyana, Bernardus, Udhi, Nyoman, Jihad, Bagus. 2004. *Ketahanan Korosi Baja Anti Karat Pada Operasi Suhu Tinggi*. INASEA, Vol. 5, No.2, Hal. 117-126.
- Basuki, Eddy Agus. 2009. *Korosi Temperatur Tinggi, Workshop and The Second National Conference Coating Inspector Indonesia*. UNJANI Bandung, 25 April 2009.
- Fatma, Nurul. 2011. *Pembuatan Lapisan NiAl Pada Substrat Baja Tipe ST 37 dengan Kombinasi Metode Deposisi Elektroplating dan Pack Cementation*. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya
- Girsang, Martin. 2012. *LAJU KOROSI BAJA KOMERSIAL TANPA DAN DENGAN LAPISAN NiCoCr DALAM HCl 10% MENGGUNAKAN METODE RENDAM ASTM G31-72*. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Hidayat, Rahmat. 2011. *The Influence of Heating Against Pembentukan The Pack Cementation Aluminizing Layer*. *Gunadarma University Library (Online)*, (<http://papers.gunadarma.ac.id/index.php/industry/article/viewFile/16186/15420>, diakses tanggal 17 Oktober 2012)
- Prasetya, Didik, Sugiarti, Eni, Destyorini, Fredina, Zaini, K.A. 2012. *"Influence of Cr and Al Pack Cementation on Low Carbon Steel to Improve Oxidation Resistance"*. *Internasional Conference on Physics And its Application (ICPAP)*. AIP Conf. Proceedings, 1454, 234(2012); doi 10.1063/1.4730729.