

## Pengaruh Proses Pelapisan NiCoCrAl Terhadap *Flexural Strength & Modulus Flexural* Pada Baja ST-37

Rio Simatupang

Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, e-mail : rio\_simatupang01@yahoo.com

Frida Ulfah Ermawati<sup>[1]</sup>, Dr. Kemas Ahmad Zaini Thosin<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

<sup>[2]</sup>Pusat Penelitian Fisika (P2F)-LIPI, Kompleks Puspiptek Gedung 442, Serpong-Tangerang Selatan  
e-mail : zaini.th@gmail.com

### Abstrak

Telah dilakukan sintesis pelapisan lapisan NiCo dan CrAl pada baja ST-37 dengan menerapkan metode elektroplating NiCo 5% pada temperatur  $\pm 50$  °C, kemudian dilanjutkan dengan metode *pack cementation* pada temperatur  $\pm 800$  °C guna mendifusikan chromium (Cr) dan aluminium (Al) pada baja ST-37 sehingga diperoleh lapisan FeNiCoCrAl dengan sifat mekanik yaitu *flexural strength* dan *modulus flexural* yang lebih baik. Untuk keperluan tersebut maka uji tekuk (*bending test*) dilakukan terhadap 4 sampel yang berbeda, yaitu Fe-base, FeNiCo, FeNiCoCr, dan FeNiCoCrAl. Diperoleh hasil *flexural strength* dan *modulus flexural* terbesar berturut-turut sebesar 681,96 MPa dan 12.855,0 MPa yang dimiliki lapisan FeNiCo, sedangkan *flexural strength* terkecil sebesar 483,48 MPa yang dimiliki lapisan FeNiCoCrAl, serta *modulus flexural* terkecil sebesar 4.434,8 MPa yang dimiliki lapisan FeNiCoCr. Simpulan dari penelitian ini ialah dengan dilakukannya proses pelapisan NiCoCrAl pada baja ST-37 yang meliputi proses elektroplating NiCo 5% dan *pack cementation* Cr dan Al, maka diperoleh sifat mekanik (*flexural strength* dan *modulus flexural*) yang justru menurun bukan meningkat seperti yang diharapkan. Hal diakibatkan karena pengaruh pemanasan yang cukup tinggi pada *pack cementation* sehingga dapat mempengaruhi mikrostruktur dari logam dasarnya (Fe-base) menjadi semakin lunak dan tidak stabil fasenya.

**Kata Kunci :** Elektroplating, *Pack Cementation*, NiCoCrAl, *Flexural Strength*, *Modulus Flexural*, Baja ST-37, Uji Tekuk (*bending test*).

### Abstract

Synthesis on coating of NiCo and CrAl layer to ST-37 steel type was carried out by using electroplating and pack cementation methods. The first coating method was aimed to add NiCo layer to the surface of steel at 50 °C, while the second was addressed to diffuse CrAl layer into the FeNiCo substrate and this was carried out at 800 °C. The aim of coating is to improve mechanical properties (*flexural strength* and *modulus flexural*) of the steel. To do that, bending test was carried out to 4 different samples, namely Fe-base, FeNiCo, FeNiCoCr, and FeNiCoCrAl. The result are *flexural strength* and *modulus flexural*, respectively for the largest are 681.96 MPa and 12855.0 MPa is owned by FeNiCo layer, while the smallest *flexural strength* is 483.48 MPa owned by FeNiCoCrAl layer, and the smallest *modulus flexural* is 4434.8 MPa owned by FeNiCoCr layer. It was obtained that the thicker the NiCo coated onto the surface of the steel, then the higher the *flexural strength* and *modulus flexural*. On the other hand, the thicker the CrAl layer diffused into the FeNiCo, then the thinner the *flexural strength* and *modulus flexural*. So, by doing NiCoCrAl coating process on ST-37 steel that include electroplating NiCo 5% process and pack cementation Cr and Al can decrease the mechanical properties (*flexural strength* and *modulus flexural*) which is instead of increasing as expected. It is caused by the effect of heating is high enough so that the pack cementation can affect the microstructure of basic metals (Fe-base) become soft and unstable phase.

**Keywords :** *Electroplating, Pack Cementation, NiCoCrAl, Flexural Strength, Modulus Flexural, ST-37 Steel, Bending Test.*

### PENDAHULUAN

Baja merupakan turunan produk dari bijih besi yang banyak digunakan untuk membuat berbagai macam peralatan yang dibutuhkan manusia, mulai dari peralatan

rumah tangga seperti alat-alat masak hingga peralatan industri seperti pipa migas, komponen mesin kendaraan bermotor, rel kereta api, rangka beton bangunan seperti gedung bertingkat, jembatan penyeberangan, dan sebagainya. Penggunaan baja yang bervariasi seperti di

atas disesuaikan dengan kandungan unsur-unsur pembentuk baja tersebut. Salah satu contohnya ialah baja karbon dan paduannya banyak digunakan pada industri dengan instalasi lingkungan yang rentan terhadap serangan korosif. Selain korosi, pada sistem pemanisasi di industri migas dan air bersih juga mengalami inefisiensi *life time* yakni korosif, retak (*crack*), kegagalan (*fatigue*) akibat pembebanan yang berlebih selain fluida yang melewatinya, sehingga diperlukan lapisan yang tepat untuk mengurangi inefisiensi tersebut (Chodijah, Siti. 2008).

Oleh karena itu untuk mencegah dan melindungi pipa baja dari inefisiensi serta memperpanjang *life time* pipa baja tersebut dengan cara perbaikan sifat mekaniknya, maka penulis ingin melapisi permukaan logam itu yakni baja ST-37 dengan lapisan NiCoCrAl.

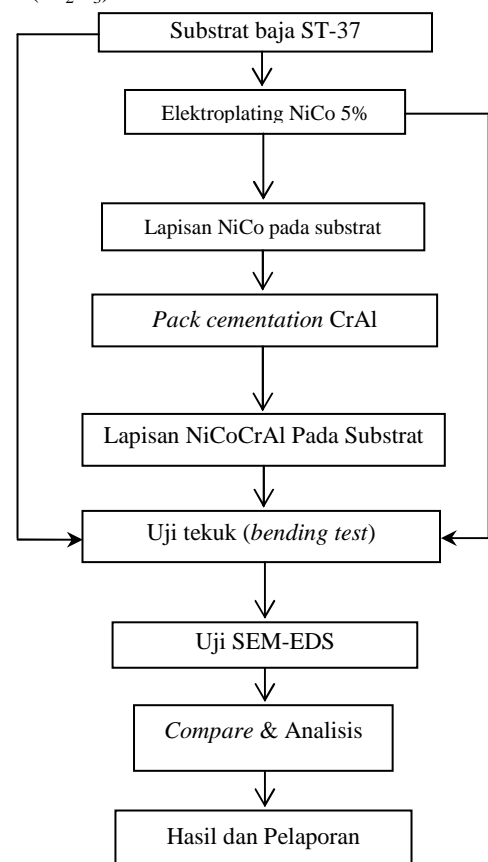
Pemilihan lapisan (*layer*) NiCoCrAl berdasarkan pada sifat dari beberapa logam – logam tersebut secara berurutan yakni, logam Nikel (Ni) berperan meningkatkan keuletan dan kelenturan pada logam yang akan dilapisi (substrat baja ST-37), logam Cobalt (Co) berperan meningkatkan kekerasan dan sifat magnet (ferromagnetik) pada aplikasi baja yang biasanya digunakan pada mesin turbin (*turbine blades*) dan boiler. Logam Krom (Cr) untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan (*toughness*) pada pipa baja yang dilapisi dimana aplikasi penggunaannya sangat berhubungan dengan faktor beban dan tekanan yang dikenakan pada pipa baja tersebut seperti penyaluran pipa gas alam di bawah tanah, penanaman pipa bawah tanah pada distribusi gas dari sumber energi panas bumi (*geothermal*), serta logam aluminium (Al) sebagai pelindung (proteksi) disebabkan sifat dari aluminium mudah teroksidasi karena titik leburnya sangat rendah dibandingkan ketiga logam di atas namun oksida aluminium atau alumina ( $Al_2O_3$ ) yang terbentuk secara alamiah dengan jumlah tertentu dapat melindungi lapisan *substrat* pada lapisan NiCoCrAl sehingga ketahanan dan umur pemakaian (*lifetime*) dapat meningkat dan menambah efisiensi kerja pada pipa baja tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperoleh permasalahan pada penelitian ini ialah : Bagaimana proses pelapisan NiCo, NiCoCr, dan NiCoCrAl pada baja ST-37, lalu bagaimana pengaruh pelapisan NiCo, NiCoCr, dan NiCoCrAl terhadap sifat mekanik (*flexural strength & modulus flexural*) pada baja ST-37, serta bagaimana mikrostruktur (SEM-EDS) permukaan lapisan NiCoCrAl pada baja ST-37 setelah dilakukan *bending test* (uji tekuk) dengan NiCoCrAl dengan metode elektroplating dan *pack cementation*.

Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui proses pelapisan NiCo, NiCoCr, dan NiCoCrAl serta menghitung ketebalan lapisan NiCo, NiCoCr, dan NiCoCrAl pada baja ST-37. Mengetahui pengaruh pelapisan NiCo, NiCoCr, dan NiCoCrAl terhadap sifat mekanik (*flexural strength & modulus flexural*) pada baja ST-37. Mengetahui mikrostruktur (SEM-EDS) permukaan lapisan NiCoCrAl pada baja ST-37 setelah dilakukan *bending test* (uji tekuk) dengan NiCoCrAl dengan metode elektroplating dan *pack cementation*.

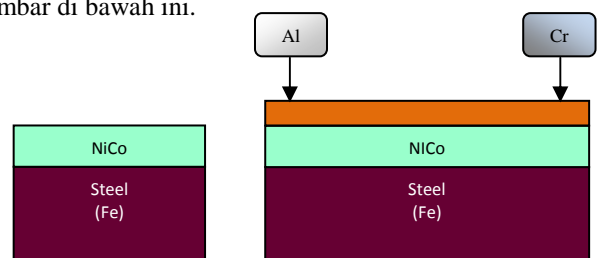
## METODE

Pada penelitian ini, bahan-bahan yang diperlukan antara lain : baja rendah karbon (baja ST-37), larutan elektrolit (Ni-watts dan Ni-strike), aseton, clay (bila tidak ada) bisa disubstitusi dengan semen putih. *Pack mixture* untuk proses *pack cementation*. Sedangkan untuk peralatan, diperlukan antara lain : kertas ampelas (*emery paper*) dengan grade #100, #400, dan #800, jangka sorong, *ultrasonic cleaner*, timbangan digital, bak elektroplating, *power supply*, *beaker glass* beserta tutup dan pipa kaca beserta penyekat, *magnetic stirrer*, tungku (*programmable furnace*) dengan aliran gas argon ( $Ar_2$ ) beserta sistem pendingin, *ceramic crucible* yang terbuat dari alumina ( $Al_2O_3$ ).



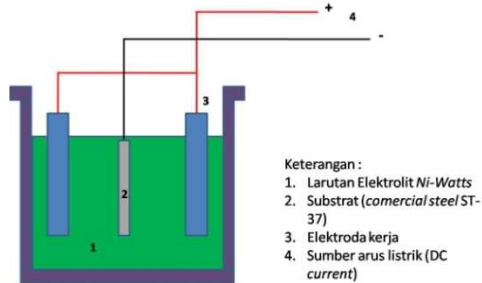
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pembuatan lapisan NiCoCrAl yakni dengan cara membuat terlebih dahulu lapisan NiCo dengan metode elektroplating NiCo5% kemudian menambahkan lapisan Cr dan Al (CrAl) pada lapisan atasnya dengan metode *pack cementation*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Desain lapisan FeNiCoCrAl

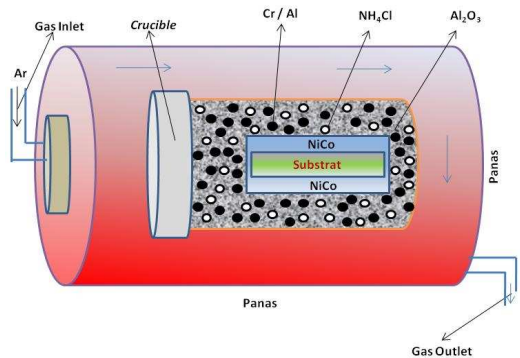
Elektroplating *Ni-Strike* dilakukan dengan rapat arus sebesar 100 mA/cm<sup>2</sup>, pada temperatur ruang, dan dalam ruang asam. Katoda yang digunakan adalah katoda ganda, yaitu pelat *stainless steel*. Anoda (substrat yang dihubungkan dengan kawat nikel) dicelupkan pada larutan Ni-strike selama 60 detik (Zaini, K.A. 2008.).



**Gambar 3.** Skema sel elektrolisis untuk Pelapisan logam dengan metode elektroplating

Elektroplating *Ni-watts* ini dilakukan dengan rapat arus sebesar 20 mA/cm<sup>2</sup>, pada temperatur ruang, dan menggunakan katoda ganda. Selama proses elektroplating, larutan elektrolit tetap diaduk dengan *magnetic stirrer* untuk menjaga homogenitas larutan dan menciptakan agitasi yang berfungsi membantu pembentukan lapisan dengan ketebalan seragam (Solehudin, Agus dkk. 2010).

*Pack mixture* (baik Cr maupun Al *pack*) yang telah dibuat (Gambar 3.10.a) digunakan untuk mengubur sampel dalam wadah *ceramic crucible* (Gambar 3.10.b). Sampel dikubur hingga semua permukaannya bersentuhan langsung dengan *pack mixture*. Kemudian *crucible* ditutup dan disegel dengan semen berbasis alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



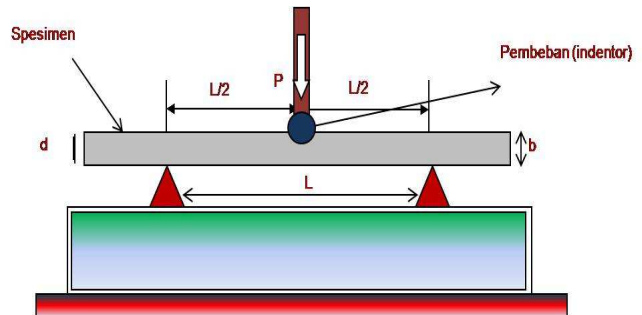
**Gambar 4.** Ilustrasi proses *pack cementation* di dalam *programmable furnace* untuk mendifusikan Cr atau Al pada suatu substrat.

Setelah proses *pack cementation* Cr dan Al selesai, sampel didinginkan hingga suhu ruang ( $\pm 30$  °C) lalu sampel dibersihkan dengan *nanopure water*, dikeringkan kemudian ditimbang dan dihitung sama dengan proses elektroplating di atas.

Untuk menyiapkan uji SEM pada sampel penulis ((17) FeNiCoCrAl + 79.290  $\mu$ m), sampel dipotong pada bagian bidang tekukan dengan menggunakan pemotong *low speed saw*, kemudian sampel dilapisi dengan tembaga (Cu) dengan metode elektroplating elektrode Cu

(tembaga) selama  $\pm 17$  jam. Larutan elektrolit 500 ml dibuat dengan serbuk CuSO<sub>4</sub> 100 g/liter, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100 g/liter, dan aquades. Pelapisan Cu bertujuan untuk menyelaraskan koefisien refleksi antara logam (sampel) dengan resin supaya tidak *blur* bila dibaca oleh detektor optik pada SEM. Setelah itu sampel perlu dicetak dalam cairan resin beserta katalisnya.

Pada *bending test* diperlukan benda uji (sampel) dalam hal ini substrat baja setelah *dicoating* (elektroplating) dan (elektroplating + *pack cementation*) yang berbentuk seperti pelat balok (*bar*) dengan ukuran panjang substrat sekitar 8.0 cm; lebar sekitar 0.5 cm; dan tebal sekitar 0.35 cm.



**Gambar 5.** Ilustrasi *three point bending test with simple beam*

Untuk spesimen yang mempunyai penampang segi empat maka tegangan *bending* maksimum (*flexural strength*) atau kekuatan lentur pada spesimen adalah

$$\sigma_{flex} = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots (2),$$

Regangan Maksimum ( $\epsilon_{max}$ ) :

$$\epsilon_{Max} = \frac{6\delta_{max}d}{L^2} \dots\dots (3), \text{ dan}$$

Modulus Flexural ( $E_{flex}$ ) :

$$E = \frac{\sigma_{flex}}{\epsilon_{max}} \dots\dots (4)$$

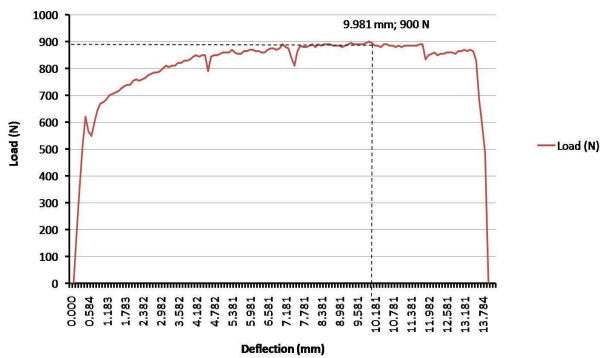
Dimana :

- P = Beban yang bekerja (gaya) pada titik *fracture* (N)
- L = Jarak antara 2 titik tumpu (*span*) (cm)
- b = Lebar spesimen (cm)
- d = Tebal spesimen (cm)
- $\delta_{max}$  = Defleksi maksimum (cm)
- $\epsilon_{max}$  = Regangan maksimum (cm/cm)
- $\sigma_{flex}$  = Tegangan *bending flexural* (N/cm<sup>2</sup>, MPa, psi)
- E = Modulus *flexural* (N/cm<sup>2</sup>, MPa, psi)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

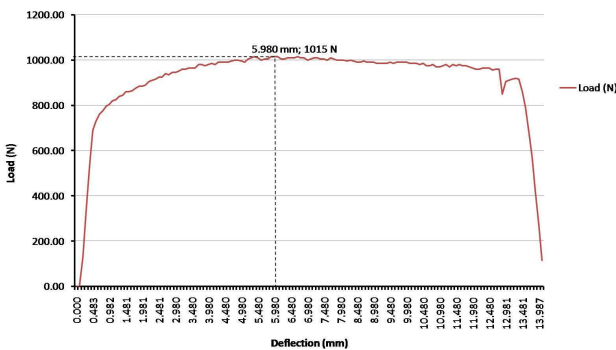
### Analisa *Bending Test*

Penulis memperoleh nilai-nilai *flexural strength* dan *modulus flexural* dari macam-macam lapisan yakni Fe-base, FeNiCo, FeNiCoCr, dan FeNiCoCrAl sebagai berikut :



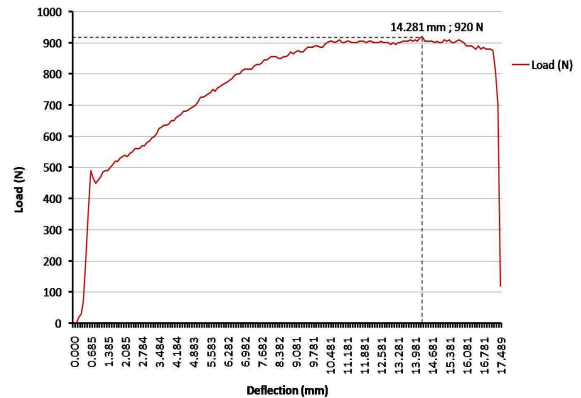
Gambar 6. Grafik bending test sampel -28 (Fe-base)

Pada sampel-28 yang belum dilapisi NiCo (Fe-base) setelah dilakukan uji tekuk (*bending test*) diperoleh beban (*loading*) maksimal yakni 900 N dengan *flexural strength* atau ( $\sigma_{flex}$ , tegangan lentur) sebesar 541.13 MPa dan *modulus flexural* ( $E_{flex}$ ) sebesar 6111.39 MPa. Nampak kecuraman kurva pada saat pembebanan mencapai sekitar 630 N dengan defleksi sekitar 0.450 mm terjadi beban kejut (karena dilakukan pembebanan secara kontinu pada spesimen) secara tiba-tiba sehingga mengakibatkan spesimen kehilangan kekuatan untuk menahan beban pada *head cross* (pembeban) yang dapat disebabkan karena faktor komposisi material yang kemungkinan masih *random* (acak) pada titik pengujian tekuk (*bending test*), keadaan sampel yang masih terkorosif udara bebas (sudah *dipolishing* namun dibiarkan di udara bebas). Begitu pula dengan defleksi berturut – turut sekitar 4.482 mm; 7.842 mm; dan 11.500 mm.



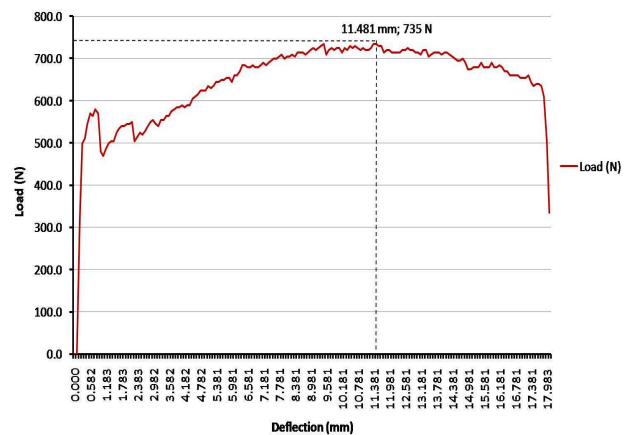
Gambar 7. Grafik bending test sampel-21 (Fe + NiCo 49.17 μm)

Pada sampel-21 (Fe+NiCo 49.167 μm) diperoleh beban (*loading*) maksimum yakni 1015.0 N dengan *flexural strength* ( $\sigma_{flex}$ ) sebesar 681.96 MPa dan *modulus flexural* ( $E_{flex}$ ) sebesar 12855.01 MPa (lebih besar daripada  $\sigma_{max}$  sampel-11). Dengan memperhatikan kurva pembebanan uji tekuk (*bending test*) pada sampel-21. Dengan defleksi maksimum 5.980 mm dan karakteristik deformasi plastis lebih merata dibandingkan dengan grafik pada sampel-1. Hal ini disebabkan lapisan NiCo yang terdeposit relatif merata, kondisi spesimen yang baik (kebersihan substrat, komposisi kimia spesimen).



Gambar 8. Grafik bending test sampel -5 (Fe + NiCoCr 55.795 μm)

Pada sampel-5 (Fe+NiCoCr 55.795 μm) diperoleh beban (*loading*) maksimal yakni 920.0 N dengan *flexural strength* ( $\sigma_{flex}$ ) sebesar 561.84 MPa dan *modulus flexural* ( $E_{flex}$ ) sebesar 4434.75. Dengan memperhatikan kurva pembebanan sampel-5, diperoleh defleksi sekitar 0.587 mm terjadi beban kejut yang ditandai dengan jatuhnya kurva pembebanan secara curam kemudian naik kembali sampai mencapai pembebanan maksimum 920.0 N pada defleksi 14.281 mm kemudian pada defleksi sekitar 16.781 mm, material mengalami *fatigue* (kelelahan bahan) sehingga beban menurun sampai ketitik minimumnya.

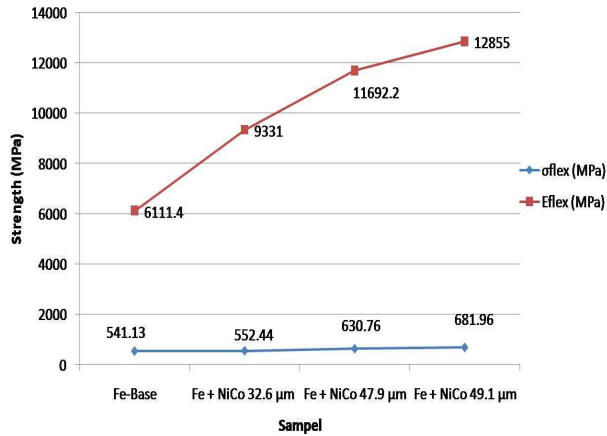


Gambar 9. Grafik bending test sampel-17 (Fe + NiCoCrAl 79.290 μm)

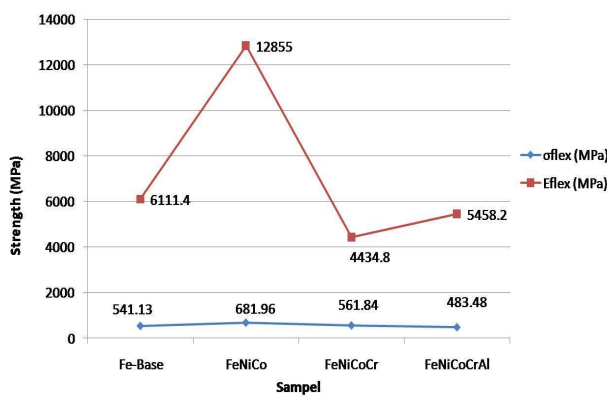
Pada sampel-17 (Fe+NiCoCrAl 79.290 μm) diperoleh diperoleh beban (*loading*) maksimal yakni 860 N dengan *flexural strength* ( $\sigma_{flex}$ ) sebesar 483.48 MPa dan *modulus flexural* ( $E_{flex}$ ) sebesar 5458.24 MPa. Dengan memperhatikan kurva pembebanan (*loading*) pada defleksi sekitar 5.381 mm dengan besar *loading* sekitar 775 N sampel mengalami beban kejut sehingga kurva tampak menurun tajam kemudian naik kembali hingga pembebanan maksimal 860.0 N dengan defleksi 9.580 mm lalu pembebanan kembali turun secara perlahan-lahan sampai defleksi maksimal 19.181 mm.

Dari ke-4 sampel yang telah dipilih untuk pengujian tekuk (*bending test*), maka kami sajikan dalam bentuk grafik seperti di bawah ini :





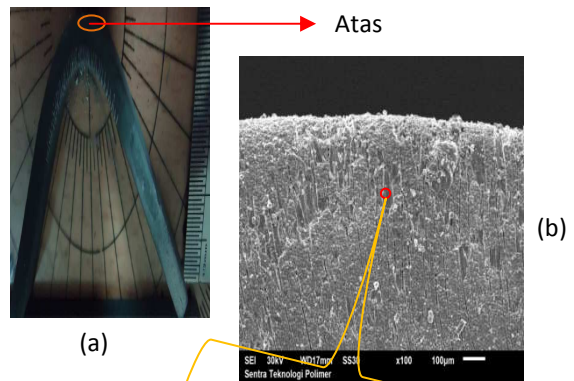
Gambar 10. Grafik pengaruh pelapisan NiCo terhadap sifat mekanik



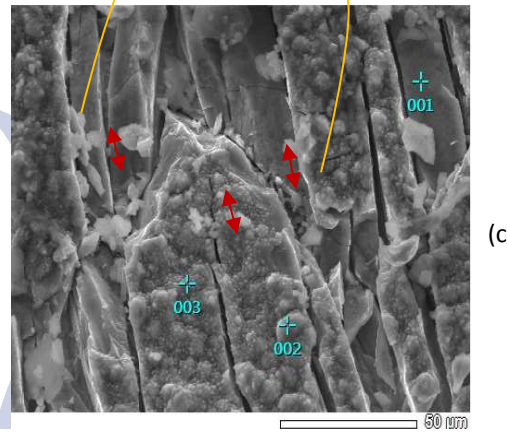
Gambar 11. Grafik karakteristik sifat mekanik pada spesimen (sampel)

### Analisa Pengujian SEM-EDS SEM Surface bagian atas sampel

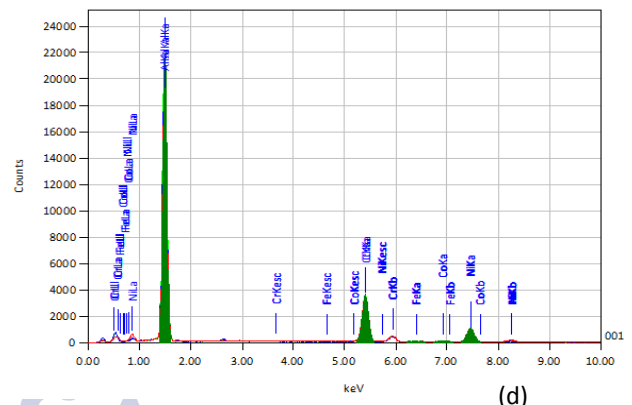
Pada pengujian *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS), kami hanya mengamati pada sampel-17 saja, yakni Fe+NiCoCrAl 79.290 μm atau bisa disingkat FeNiCoCrAl. Dapat dilihat pada gambar 4.1 yakni citra SEM bagian atas penekukan (bagian yang tidak terkena beban *head indenter* secara langsung) tampak garis batas-batas patah (*crack*) dengan orientasi vertikal di sepanjang permukaan sampel. Pada bagian tengah luasan bidang *crack*, lapisan Cr dan Al (menyerupai gelembung-gelembung) sebagian besar mengalami pengelupasan (*exfoliation*). Hal ini disebabkan karena beban (*loading*) yang dikenakan pada sampel (spesimen) sudah tidak mampu lagi ditahan oleh lapisan Cr maupun Al sehingga kedua lapisan itu mengalami patahan (*crack*). Patahan dengan orientasi vertikal yang semakin membesar dari bagian atas sampai bawah (mendekati pusat kelengkungan spesimen).



(a)



(c)



(d)

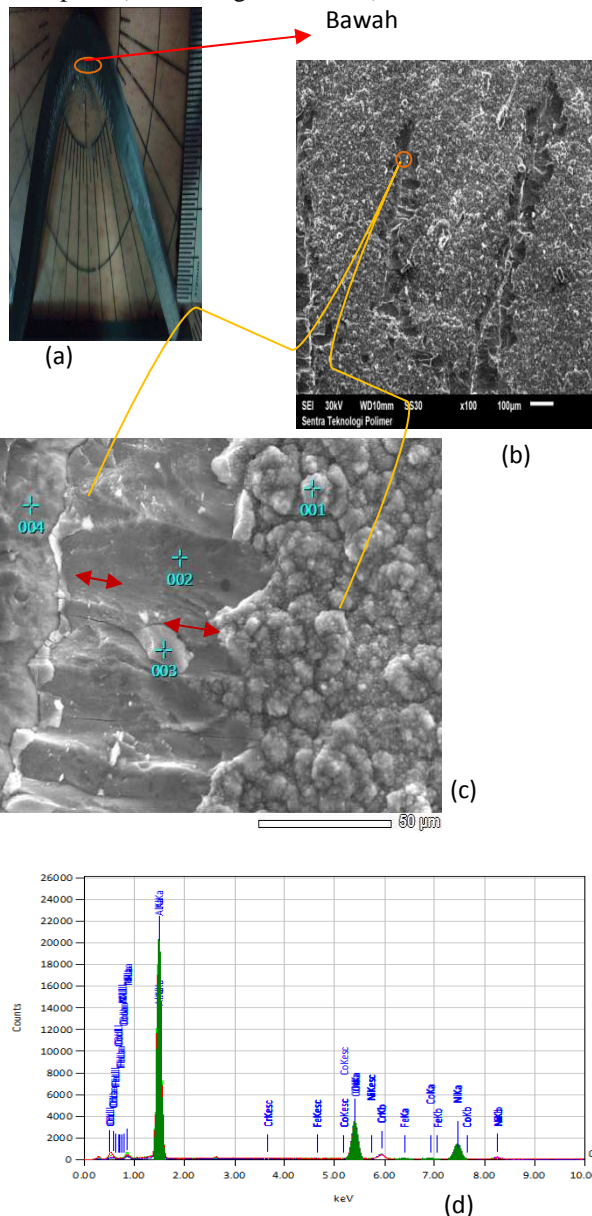
Gambar 12. Citra SEM permukaan bagian atas spesimen (bagian yang tidak terkena pembebanan) setelah mengalami *bending test*; (a) Bagian sampel yang ditinjau (b) Perbesaran 100 x (c) Perbesaran 400 x (d) Hasil EDS

Tabel 1. Hasil Komposisi Sampel Bagian Bawah (SEM-EDS Surface)

Point No.	Al. %	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Total
001		79.07	13.65	0.05	0.36	6.88	100.0
002		82.61	14.34	0.04	0.18	2.83	100.0
003		82.55	14.79	0.03	0.13	2.50	100.0

**SEM surface bagian bawah sampel**

Pada pengujian *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) pada gambar 4.2 yakni citra SEM bagian bawah penekukan (bagian yang terkena beban *head indenter* secara langsung) tampak garis batas-batas patah (*shear crack*) dengan orientasi horisontal sepanjang permukaan sampel, hal ini disebabkan karena mengikuti arah patahan (*crack*) pada permukaan sampel dan penyusutan akibat deformasi *bending* pada bidang uji spesimen. Pada bagian tengah luasan bidang *crack*, lapisan Cr dan Al sebagian besar juga mengalami pengelupasan (*exfoliation*) dimana orientasi *crack* menuju ke arah samping kanan, dan sisanya (bagian dalam) tampak lapisan NiCo yang masih terdeposit (tidak mengalami *crack*).



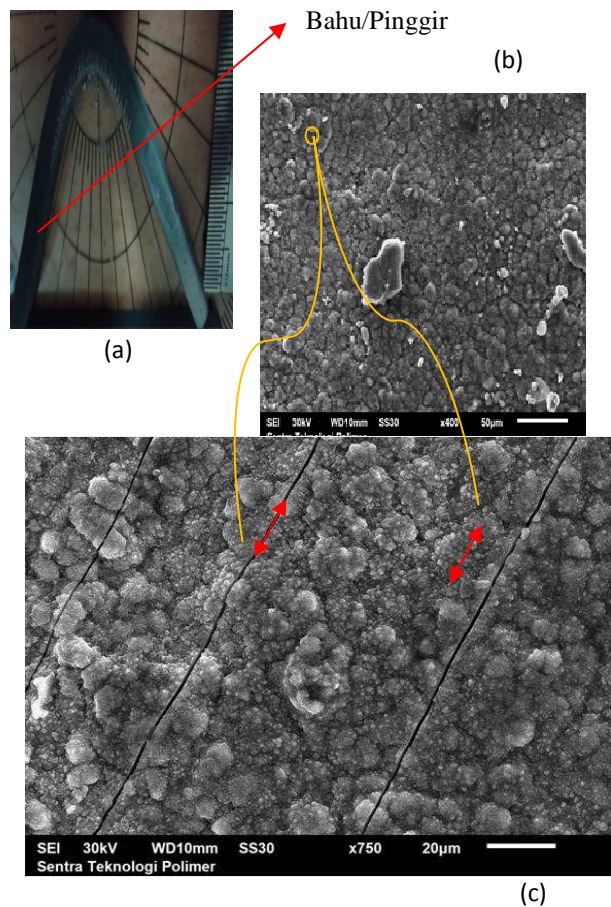
**Gambar 13.** Citra SEM permukaan bagian bawah spesimen (bagian yang terkena beban *head indenter* secara langsung) setelah mengalami *bending test*; (a) Bagian sampel yang ditinjau (b) Perbesaran 100 x (c) Perbesaran 400 x (d) Hasil EDS

**Tabel 2.** Hasil Komposisi Sampel Bagian Bawah (SEM-EDS Surface)

No. Point No.	Al	Cr	Fe	Co	Ni	Total
001	82.21	14.30	0.23	0.07	3.20	100.0
002	74.59	19.18	0.07	0.26	5.91	100.0
003	81.08	13.88	0.05	0.22	4.77	100.0
004	72.61	14.34	0.17	0.56	12.31	100.0

**SEM Surface bagian bahu sampel**

Pada pengujian *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) pada gambar 4.3 yakni citra SEM bagian bahu penekukan tampak garis batas-batas patah (*shear bordered crack*) dengan orientasi vertikal samping sepanjang permukaan sampel menuju ke pusat lengkungan. Hal ini disebabkan karena arah gaya pada pembebanan menuju ke pusat lengkungan sampel, sehingga arah *crack* juga searah dengan gaya penekukan pada sampel. Pada bagian patahan lateral, sampel tampak mengalami *crack* yang menyebabkan unsur Cr dan Al terdorong keluar akibat gaya tekuk dan sebagian besar mengalami pengelupasan (*exfoliation*).



**Gambar 14.** Citra SEM permukaan bagian bahu spesimen setelah mengalami *bending test*; (a) Bagian sampel yang ditinjau (b) Perbesaran 400 x (c) Perbesaran 750 x

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya ucapkan sebesar-besarnya atas dibantunya dalam penelitian ini antara lain kepada :

1. Bapak Dr. Kemas Ahmad Zaini Thosin (Peneliti utama bidang *High Thermal Coating* di Pusat Penelitian Fisika - LIPI Serpong), sekaligus dosen pembimbing I skripsi ini serta Ibu Dra. Frida Ulfah Ermawati, M.Sc. (Jurusan Fisika FMIPA Unesa), sekaligus dosen pembimbing II skripsi saya.
2. Bang Hendra Andinata, S.T., Bapak Surip, dan Bapak Bambang Hermanto, S.T. dari Lab. Mekanik PPF-LIPI Serpong yang telah membantu dalam preparasi serta pengujian mekanik sampel.
3. Ibu Fredina Destyorini, S.Si. dan Ibu Eni Sugiarti, S.Si., M.Eng. (PPF-LIPI Serpong) yang telah membantu saya dalam proses *heat treatment* dan preparasi sampel untuk pengujian mikrostruktur. Pak Heru (Sentra Teknologi Polimer-BPPT Serpong) dan Pak Anton (Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI Serpong) yang telah membantu dalam pengujian SEM-EDS.

### PENUTUP

#### Simpulan

Setelah dilakukannya penelitian tentang pengaruh proses pelapisan NiCoCrAl terhadap *flexural strength & modulus flexural* pada baja ST-37, maka penulis memperoleh beberapa simpulan antara lain :

1. Pada sistem pelapisan FeNiCo, maka diperoleh semakin besar (tebal) lapisan NiCo yang terdeposisi pada baja ST-37, maka *flexural strength* dan *modulus flexural* juga meningkat (semakin besar).
2. Pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) pada temperatur 800 °C pada proses pelapisan Cr (*chromizing*) dan Al (*aluminizing*) membuat nilai *flexural strength* ( $\sigma_{flex}$ ) dan *modulus flexural* ( $E_{flex}$ ) menurun sehingga mempengaruhi sifat mekanik lapisan FeNiCoCrAl menjadi semakin getas (*brittle*).
3. Dengan dilakukannya proses pelapisan NiCoCrAl pada baja ST-37 yang meliputi proses elektroplating NiCo 5% dan *pack cementation* Cr dan Al, maka diperoleh sifat mekanik (*flexural strength* dan *modulus flexural*) yang justru menurun bukan meningkat seperti yang diharapkan. Hal ini diakibatkan karena pengaruh pemanasan yang cukup tinggi pada *pack cementation* sehingga dapat mempengaruhi mikrostruktur dari logam dasarnya (*Fe-base*) menjadi semakin lunak dan tidak stabil fasenya (Okamoto, H. 2008).

#### Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang proses pelapisan NiCoCrAl pada baja ST-37 tanpa proses pemanasan sehingga diharapkan dapat menciptakan sebuah lapisan yang menempel ke permukaan logam dasar (baja ST-37) dan tahan terhadap serangan korosi serta tahan terhadap pembebanan vertikal sebagai aplikasi nantinya pada pelapis pada dunia industri pipanisasi (*pipelines*) minyak dan gas bumi terutama pada teknik pemipaan bawah tanah dan FSO (*Floating, Storage, and Offloading*) dimana harus difokuskan

kepada perbaikan sifat mekaniknya yakni, *flexural strength* dan *modulus flexural* meningkat bukan menurun seperti yang telah dilakukan sebelumnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Solehudin, Agus dkk. 2010. *Model Laju Korosi Baja Karbon ST-37 Dalam Lingkungan Hidrogen Sulfida*.UPI : Bandung.
- Okamoto, H. 2008. *Al-Cr (Aluminium-Chromium)*. USA : ASM International Standard.
- Zaini, K.A. 2008. *Analisis Struktur Mikro Lapisan Bond Coat NiAl Thermal Barrier Coating (TBC) Pada Paduan Logam Berbasis Co.*: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 2 No. 1 : 15-16.
- Muruges. 2000. *The Elements of Periodic Table*. USA : Butterworth-Heinemann.
- Chodijah, Siti. 2008. *Efektifitas Penggunaan Pelapis Epoxy Terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53*. Thesis tidak diterbitkan. Depok : Departemen Teknik Metalurgi Universitas Indonesia. Hal.3 – 4 .