

Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis Paladium Terhadap Karakteristik Fisik dan Mekanik Pelapis Nikel Pada Plastik ABS Dengan Metode *Electroless* Nikel

Auliandi Luthfi Wibisono

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jalan
Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, Di Yogyakarta, Indonesia, 55183
Email : auliandilutfi@gmail.com

INTISARI

Plastik merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti logam karena material ini banyak mempunyai sifat unggul, seperti materialnya yang ringan, tahan korosi, dan harganya relatif murah. Dan untuk meningkatkan kualitasnya maka dilakukan perlakuan permukaan salah satunya pelapisan dengan metode *electroless nickel plating*.

Pada penelitian ini akan digunakan bahan pelapis berupa logam nikel. bahan yang dilapisi adalah plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Variable yang digunakan pada penelitian adalah konsentrasi larutan katalis palladium pada tahap aktivasi dengan variasi katalis 3ml, 5ml, dan 7ml. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan katalis palladium pada tahap aktivasi elektroless terhadap sifat fisik dan mekanik pada plastik ABS dengan melakukan pengujian kekerasan, keausan, kekasaran, dan ketebalan lapisan yang dihasilkan dari tahap *electroless* pada spesimen.

Proses *electroless nickel plating* meningkatkan kekasaran, kekerasan, dan ketebalan lapisan serta menurunkan tingkat keausan. Pada penelitian yang telah dilaksanakan spesimen dengan hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi katalis 7ml dengan nilai kekerasan 83.6 SHN, nilai keausan 0.03 cm²/Kg, kekasaran 0,506 μm , dan ketebalan lapisan 1,82 μm .

Kata Kunci : *Electroless Nickel Plating*, Plastik ABS, Konsentrasi Katalis Palladium.

ABSTRACT

Plastic is one of material that can be used as an alternative to metal substitutes because these materials have many superior properties, such as lightweight, corrosion resistant, and relatively cheap. To improve the quality, surface treatment can be done by coating them with electroless nickel plating method.

Nickel metal will be used as coating material in this research. The coated material is Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) plastics. In this research, variations of palladium catalyst solution concentration at activation stage will be used with variation of catalyst 3ml, 5ml, and 7ml. This research aims to determine the effect of palladium catalyst concentration on activation stage to physical and mechanical properties of coating layer by testing hardness, wear, coarseness, and coating thickness resulting from electroless stage in specimen.

Electroless plating process increases hardness and coating thickness while roughness and wear rate are decreases. In this experiment, the best specimens were obtained with 7ml of catalyst concentration with hardness value 83.6 SHN, wear rate 0.0003 mm² / Kg, coarseness 0,506 μm , and layer thickness 1,82 μm .

Keywords: Electroless Nickel Plating, ABS plastic, concentration of palladium catalyst.

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti logam sehingga plastik disebut *engineered material*. Hal ini disebabkan karena material tersebut mempunyai sifat unggul seperti materialnya yang ringan, tahan korosi, dan harganya relatif murah.

Plastik sendiri memiliki beberapa jenis seperti polyethylene, teflon, polysulfone, polypropylene, *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS), dan lain sebagainya (Equbal dan Sood 2014). Plastik ABS merupakan material yang paling banyak digunakan untuk pelapisan nikel. Plastik ABS merupakan *engineering thermoplastic* yang mengandung 3 monomer. *Acrylonitrile* bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. Bagian *butadiene* terdistribusi secara merata pada matriks *akrilonitril-stirena*, membuat plastik ABS memiliki keunggulan, seperti logam lebih mudah menempel ke substrat dengan baik, koefisien ekspansi termal rendah, kemudahan pencetakan, dan penampilan bagus setelah pelapisan (Mujiarto 2005). Sedangkan *styrene* menjamin kekakuan (*rigidity*) dan membuat plastik mudah diproses. Tidak semua plastik ABS memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi untuk dilapisi, sehingga untuk menghindari kegagalan pemilihan plastik ABS dengan standar *plating grade*.

Dibalik keunggulan yang dimiliki, plastik ABS juga memiliki beberapa kelemahan. Diantaranya kekerasan yang kurang tinggi, ketahanan gesek dan thermal yang rendah, serta pada suhu rendah gampang mengalami kerusakan. Untuk mengatasi kekurangan ini, salah satu metode yang digunakan yaitu pelapisan nikel dengan metode *electroless plating*. *Electroless plating* merupakan metode pelapisan logam yang tidak menggunakan listrik pada prosesnya, melainkan dengan reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan substrat dengan larutan garam elektrolit logam pelapis untuk membentuk lapisan (Santhiarsa 2016). Pelapisan logam tersebut

akan membuat plastik ABS memiliki sifat mekanik seperti meningkatkan kekerasan, ketebalan, sifat menghantar listrik, tahan terhadap abrasi dan korosi, serta tahan cuaca serta memberikan kesan logam atau *metallic appearance* (Shao *et al*, 2014).

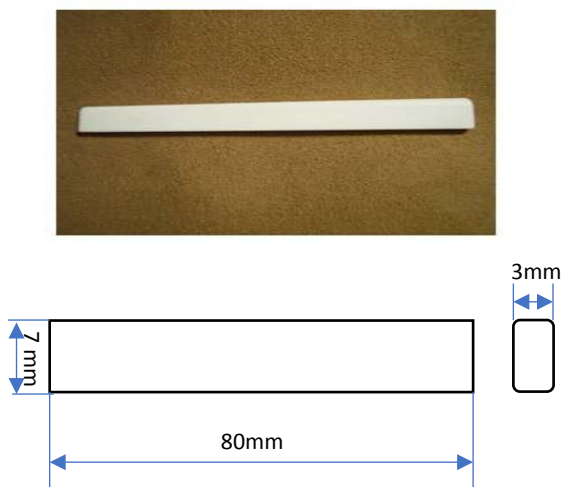
Plastik ABS dapat di etsa secara kimiawi dengan mudah dibandingkan dengan jenis plastik lainnya, karena Bagian *butadiene* terdistribusi secara merata pada matriks *akrilonitril-stirena*. Sehingga ketika di etsa secara kimiawi dengan *chromic acid* partikel butadiena akan larut dan meninggalkan permukaan yang berpori sehingga permukaan akan lebih mudah di metalisasi. Dipasaran sendiri, proses pelapisan yang dilakukan biasanya menggunakan metode *Spray coating*. Hasil dari metode ini memiliki kekurangan diantaranya lapisan mudah mengelupas, cepat pudar dalam waktu yang relatif singkat dan ketebalan yang tidak merata serta lapisan yang dihasilkan terbatas. Oleh karena itu pada penelitian ini mengusulkan metode elektroless nikel untuk pelapisan plastik ABS, agar mendapatkan pelapisan nikel yang lebih baik dari metode coating lainnya.

Proses elektroless sangat tergantung pada tahap etsa dan aktivasi yang merupakan tahap paling penting pada pelapisan dengan metode *electroless nickel*. Pada tahap etching berfungsi mengikis permukaan plastik ABS agar terbentuk pori-pori. Tang *et al* (2008) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa polimer ABS dapat diaktivasi permukaan melalui etsa menggunakan hydrogen peroksida (H_2O_2) dan asam sulfat (H_2SO_4) serta chitosan dalam bentuk film digunakan agar katalis Pd dapat dengan menempel pada plastik substrat dengan lebih sempurna, diikuti oleh deposisi nikel pada saat proses elektroless nikel. Lalu pada tahap aktivasi atau metalisasi, logam palladium mengendap dan melekat pada permukaan plastik sebagai katalisator pada proses *electroless*. Fungsi dari pori-pori tersebut adalah untuk meningkatkan daya lekat lapisan dan lebih memudahkan

terbentuknya lapisan. Setelah terbentuknya pori-pori dipermukaan plastik, palladium dapat mudah menempel pada permukaan yang menjadikan plastik bersifat konduktif untuk dilakukan proses pelapisan logam. Gui-Xiang *et al* (2006) dalam penelitiannya menambahkan ion Pd pada tahap etsa untuk meningkatkan absorpsi palladium pada tahap etsa. Mereka berpendapat bahwa semakin kecil ukuran partikel Pd, maka semakin mudah aktivasi terjadi pada permukaan plastik. Sehingga konsentrasi katalis palladium sangat mempengaruhi hasil pelapisan, sebab dengan meningkatnya kadar palladium yang digunakan maka logam yang menempel pada plastik akan lebih banyak dan berdampak pada hasil yang maksimal.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan plastik ABS sebagai benda spesimen dengan ukuran 80 mm x 7 mm x 3 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Spesimen plastik ABS

Tahapan proses pelapisan dengan metode *electroless nickel* diawali dengan proses pembersihan spesimen atau *soak cleaning* menggunakan larutan Pembersihan permukaan benda spesimen menggunakan larutan *soak cleaning* yang terbuat dari sodium karbonate (Na_2CO_3) dan trisodium phospat (Na_3PO_4) dipanaskan pada tempetatur $50-70^\circ\text{C}$

dengan waktu proses 5 menit. Tahap ini bertujuan untuk menghilangkan berbagai bahan pengotor dan membersihkan permukaan plastik ABS.

Kemudian pada tahap etsa menggunakan larutan berupa asam kromat (H_2CrO_4) 300 gr dan asam sulfat (H_2SO_4) 180ml dengan suhu antara $60-70^\circ\text{C}$ dengan waktu 30 menit. Fungsi tahapan ini untuk membentuk *micro-porous* sebagai tempat ikatan antara substrat plastik dan logam.

Pada tahap netralisasi menggunakan larutan berupa sodium sulfit (Na_2SO_3) untuk netralisasi untuk menghilangkan sisa-sisa kromium dari proses etsa yang masih mengendap pada pori-pori permukaan plastik ABS. Kemudian dilanjutkan dengan tahapan *pre-dip* menggunakan larutan HCl 37% untuk benar-benar membersihkan permukaan spesimen dari kromium dan meningkatkan efisiensi reaksi kimia pada tahap katalisasi.

Tahap aktivasi untuk menghasilkan permukaan plastik ABS yang bersifat katalis. Permukaan plastik dinyatakan telah bersifat katalis jika permukaan plastik tersebut terlapisi Palladium. Bahan yang digunakan yaitu PS katalis 1A terbuat dari campuran $\text{PdCl}_2/\text{SnCl}_2$ sebanyak 3ml, 5ml, dan 7 ml. Bahan ini kemudian dicampur HCl 37% sebanyak 200 ml dan ditambahkan aquades hingga larutan menjadi 1000ml dengan suhu ruangan dan waktu proses 6 menit. Perlu diketahui bahwa HCl 37% sebaiknya dilarutkan terlebih dahulu dengan aquades baru kemudian dicampur dengan PS katalis 1A.

Tahap akselerasi berfungsi untuk melarutkan dan menghilangkan lapisan timah tipis yang menutupi palladium. Lapisan timah dapat menghambat bagi terbentuknya lapisan logam pada saat *electroless plating* berlangsung. Fungsi lainnya yaitu untuk membersihkan pencemar yang masih berada di permukaan benda kerja yang dapat mengurangi efektivitas reaksi ketika proses *electroless plating* dan dapat merusak kualitas. Tahapan ini menggunakan larutan PS akselerator A berupa campuran sodium

hidrosida (NaOH), tembaga sulfat (CuSO₄) dan *ethylenediaminetetraacetic acid disodium* (EDTANa₂) sebanyak 210ml dengan suhu ruangan dan waktu proses 5 menit.

Pada tahap ini proses pelapisan logam dilakukan sehingga spesimen plastik menjadi memiliki sifat logam. Proses pelapisan menggunakan larutan berupa campuran nikel sulfat (NiSO₄), amonium klorida (NH₄Cl), sodium hydrogen phosphate (Na₂HPO₄), dan sodium hidroksida (NaOH) dicampur aquades hingga 1liter dengan suhu 65-70° C dan waktu proses 8 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

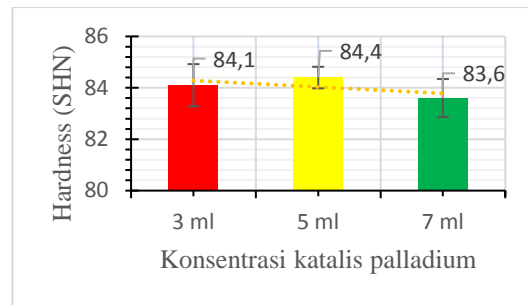
Spesimen plastik ABS yang telah dilakukan dilapisi nikel dengan metode elektroless nikel memiliki pengaruh terhadap permukaan sesuai dengan variasi yang digunakan. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan yaitu konsentrasi katalis palladium dengan variasi 3 ml, 5 ml, dan 7 ml. Hasil dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil pelapisan nikel pada plastik ABS

3.1. Kekerasan lapisan

Berdasarkan data hasil pengujian, seperti yang terlihat pada gambar 3 nilai kekerasan lapisan untuk konsentrasi katalis palladium 3 ml 84,1 SHN.

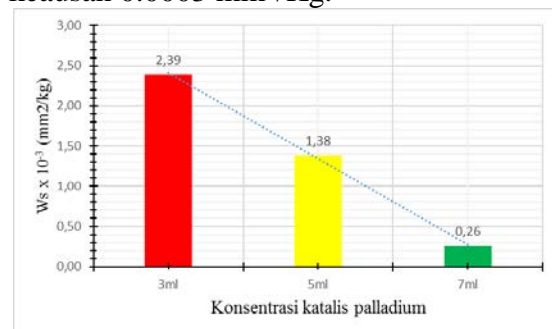


Gambar 3. Grafik Nilai Kekerasan

Setelah konsentrasi katalis ditingkatkan menjadi 5 ml nilai kekerasan meningkat menjadi 84,4 SHN. Nilai kekerasan cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan konsentrasi palladium berfungsi untuk meningkatkan kekerasan lapisan permukaan. Ini menunjukkan bahwa kandungan palladium mempengaruhi logam nikel agar dapat melekat erat pada permukaan plastik. Namun ketika konsentrasi ditingkatkan menjadi 7 ml, nilai kekerasan menurun menjadi 83,6 SHN. Hal ini terjadi karena konsentrasi nikel dan bahan reduktor *sodium hypophospite* dalam elektroless nikel menurun. Sehingga ion-ion logam nikel yang menempel pada permukaan plastik berkurang menyebabkan nilai kekerasan berkurang pada spesimen dengan konsentrasi katalis palladium 7 ml.

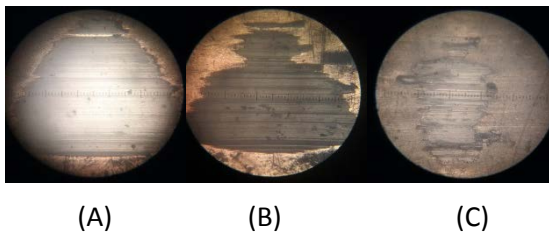
3.2. Keausan Lapisan

Dari data hasil pengujian pada tabel 4.2 dan gambar 4.3, terlihat bahwa tingkat keausan yang terjadi semakin menurun. Keausan yang terjadi untuk variasi katalis palladium 3 ml bernilai 0,0024 mm²/Kg dan terus menurun dengan katalis 5 ml bernilai 0,0014 mm²/Kg hingga katalis 7 ml dengan keausan 0,0003 mm²/Kg.



Gambar 4. Grafik Keausan Permukaan

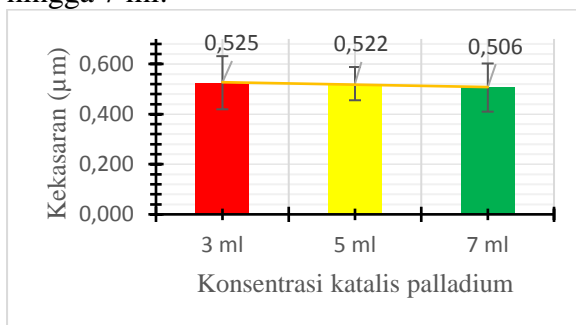
Hal ini disebabkan oleh kadar katalis yang digunakan meningkat. Menurut Krulik (1982) katalis palladium bertindak sebagai aktivator sehingga pada saat proses elektrodes logam dapat menempel pada substrat. Dari gambar 4 terlihat bahwa katalis palladium memegang peranan penting terhadap ketahanan lapisan yang dihasilkan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi katalis palladium yang digunakan saat aktivasi maka logam nikel akan lebih merekat pada permukaan plastik. Membuat lapisan lebih tahan aus karena logam nikel merekat dengan baik.



Gambar 5. Hasil uji keausan variasi konsentrasi katalis 3ml (A), 5ml (B), dan 7ml (C)

3.3. Kekasaran Lapisan

Menurut data pada gambar 6., kekasaran tertinggi terdapat pada permukaan lapisan yang menggunakan variasi konsentrasi katalis 3 ml dengan kekasaran 0,525 μm , dan semakin menurun pada variasi 5 ml hingga 7 ml.



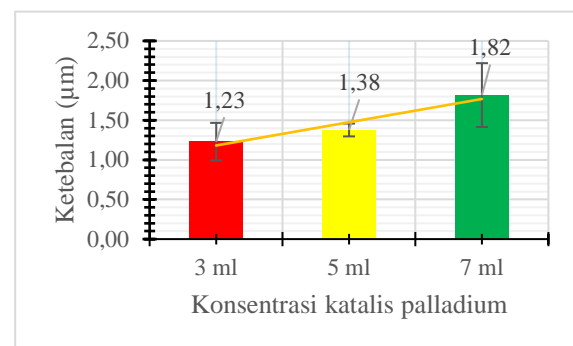
Gambar 6. Grafik Nilai kekasaran Permukaan Lapisan

Variasi konsentrasi katalis palladium menyebabkan ion-ion yang menempel pada permukaan plastik bervariasi, sebab proses aktivasi mempengaruhi banyaknya logam nikel yang dapat terdeposisi ke permukaan plastik. Hal ini akan memengaruhi

kekasaran dari lapisan yang akan dihasilkan pada saat elektrodes berlangsung disamping suhu kerja optimal dari larutan. Sehingga proses *pre-treatment* yang baik serta suhu kerja yang optimal akan membuat ion-ion nikel pada larutan elektrodes plating menempel dengan maksimal pada permukaan plastik yang sudah diaktifkan dengan katalis palladium.

3.4. Ketebalan Lapisan

Dari hasil pengujian ketebalan lapisan, pada variasi katalis 3ml nilai ketebalan lapisan yaitu 1,23 μm , dan semakin meningkat pada variasi 5 ml hingga 7 ml.



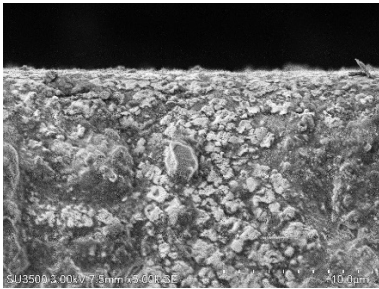
Gambar 8. Grafik Nilai Ketebalan Lapisan

Dapat diketahui bahwa pelapisan nikel dengan variasi konsentrasi katalis palladium ini terjadi peningkatan ketebalan seiring meningkatnya konsentrasi katalis yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Menurut Yulianto dan Widodo (2013), temperatur memengaruhi cepat lambatnya gerakan elektron dari ion positif menuju ke ion negatif sehingga ion nikel yang mengendap di permukaan bahan semakin bertambah dan menyebabkan bertambahnya ukuran kristal. Temperatur dan kadar logam nikel pada larutan yang digunakan pada proses pelapisan juga berdampak ketebalan lapisan nikel. Pengendapan ion pada permukaan plastik akan berdampak terhadap bertambahnya ketebalan lapisan nikel pada spesimen sehingga berat spesimen juga akan bertambah. Katalis palladium juga memiliki peran penting dalam ketebalan lapisan karena akan

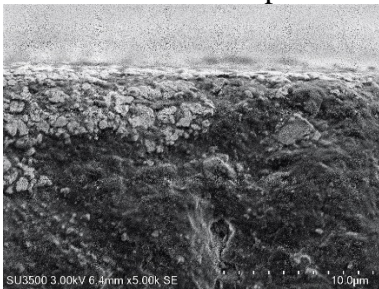
memengaruhi banyaknya logam nikel yang menempel.

3.5. Pengujian SEM

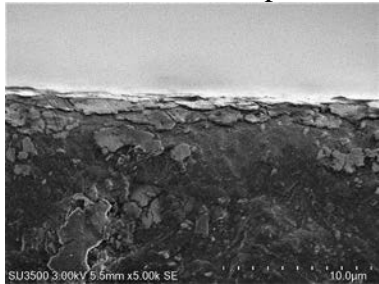
Pada pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk dari masing-masing spesimen. Spesimen yang digunakan yaitu plastik ABS yang dilapisi nikel menggunakan metode *electroless plating* dengan variasi konsentrasi katalis palladium 3ml, 5ml, dan 7ml.



Gambar 9. Struktur mikro permukaan variasi konsentrasi katalis palladium 3ml.



Gambar 10. Struktur mikro permukaan variasi konsentrasi katalis palladium 5ml.



Gambar 11. Struktur mikro variasi konsentrasi katalis palladium 7ml.

Berdasarkan hasil pengambilan foto SEM diatas, terlihat bahwa logam nikel yang menempel pada permukaan plastik dengan konsentrasi katalis palladium 3ml memiliki struktur lapisan yang kasar. Seiring dengan penambahan konsentrasi katalis palladium yang diberikan, kekasarannya semakin menurun.

Penyebabnya yaitu ion-ion logam nikel terdepositasi ke permukaan plastik semakin mudah dengan meningkatnya konsentrasi palladium pada permukaan plastik.

S.C. Domenech *et al* (2003) dalam penelitiannya berpendapat bahwa waktu etsa, kandungan fosfor dan pH larutan *electroless nickel* dapat memengaruhi tingkat adhesi ion-ion logam nikel pada permukaan substrat. Dengan meningkatnya kadar palladium yang terdapat pada permukaan plastik ABS, maka logam nikel yang menempel akan mereket dengan lebih baik. Hal ini menyebabkan tingkat keausan menurun, kekasaran menurun, dan kekerasan serta ketebalan lapisan nikel yang dihasilkan akan meningkat dengan baik.

4. KESIMPULAN

Proses *electroless nickel plating* meningkatkan kekasaran, kekerasan, dan ketebalan lapisan serta menurunkan tingkat keausan. Pada penelitian yang telah dilaksanakan spesimen dengan hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi katalis 7ml dengan nilai kekerasan 83.6 SHN, nilai keausan 0.03 cm²/Kg, kekasaran 0,506 μm, dan ketebalan lapisan 1,82 μm. Dengan meningkatnya kadar palladium yang terdapat pada permukaan plastik ABS, maka logam nikel yang menempel akan mereket dengan lebih baik. Hal ini menyebabkan tingkat keausan menurun, kekasaran menurun, dan kekerasan serta ketebalan lapisan nikel yang dihasilkan akan meningkat dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawy, F. 2017. *Pengaruh Variasi Waktu Pelapisan Khrom Pada Plastik Abs Dengan Metode Elektroplating*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Dehasit, P. and W. Trakarnpruk. 2011. "Ni Electroless Plating of ABS Polymer by Palladium and Tin-free Process." *Journal of Metals, Materials and Minerals* 21: 19-27.

- Domenech, S.C., E. Lima Jr, V. Drago, J.C. De Lima, N.G. Borges Jr, A.O.V Avila, and V. Soldi. 2003. "Electroless Plating of Nickel-Phosphorous on Surface-Modified Poly(ethylene terephthalate) Films." *Applied Surface Science* 220 (1-4): 238-250.
- Equbal, A., and K. A. Sood. 2014. "Metallization on FDM Parts Using the Chemical Deposition Technique." *Coatings* 4 (3): 574-586.
- Haryanto, E. P. . 2016. *Analisa Pelapisan Material Abs Dan Cat Uvilon Menggunakan Metode Uv Coating Untuk Mengetahui Karakteristik Dan Sifat Mekanik Lapisan*. Tugas Akhir, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Krulik, G. A.. 1982. "Tin-Palladium Catalysts for Electroless Plating." *Platinum Metals Review* 6 (2): 58-64.
- Mujiarto, I. 2005. "Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif." *Traksi* 3 (2): 65.
- Nugroho, Y.. 2012. *Analisis Kegagalan Las dan Rekomendasi Standard Operating Procedure (SOP) pada Pengelasan Sistem Pipa PT. Siemens Indonesia*. Tugas Akhir, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nurdiyansyah, Y. A.. 2011. *Perhitungan Keausan Berbasis FEM pada Sistem Rolling-Sliding Contact*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Olivera, S., H. B. Muralidhara, K. Venkatesh, K. Gopalakrishna, and C. S. Vivek. 2016. "Plating on acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic." *Springer Science* 51 (8): 3657-3674.
- Qi, H. J., K. Joyce, and M.K. Boyce. 2003. "Durometer Hardness And The Stress-Strain Behavior Of Elastomeric Materials." *Rubber Chemistry and Technology* 76 (2): 419-421.
- Santhiarsa, N.. 2016. "Pengaruh Temperatur Larutan dan Waktu Pelapisan Elektroless Terhadap Ketebalan Lapisan Metal Dipermukaan Plastik ABS." *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan VII* 4 (1): 22.
- Saputro, H.. 2010. "Model Matematik Untuk Memprediksi Kekasaran Permukaan Hasil Proses Cnc Bubut Tanpa Pendinginan." *Traksi* 10 (1): 21.
- Shao, Z., Z. Cai, R. Hu, and S. Wei. 2014. "The study of electroless nickel plating directly on magnesium alloy." *Surface & Coating Technology* 249: 42-47.
- Sujatno, A., R. Salam, Bandriyana, and A. Dimiyati. 2015. "Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium." *Jurnal Forum Nuklir (JFN)* 9 (2): 44-50.
- Tang, X., M. Cao, C. Bi, L. Yan, and B. Zhang. 2007. "Research on a New Surface Activation Process for Electroless Plating." *Materials Letters* (62): 1089-1091.
- Wahudi, S.. 2012. "Buku Saku Elektroplating." 1-44.
- Wang, G. X., N. Li, H. L. Hu, and Y. C. Yu. 2006. "Process of Direct Copper Plating on ABS Plastics." *Applied Surface Science* 253 (2): 480-484.
- Yulianto, S. R., and E. Widodo. 2013. "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pelapisan Nikel Khrom Terhadap Kualitas Ketebalan Dan Kekerasan Pada Baja St 40." *SNFT UMSIDA* 145-149.
- Yuniati. 2010. "Optimasi Tahap Aktivasi Pelapisan Logam Nikel pada Plastik ABS." *Jurnal Teknik Politeknik Negeri Lhokseumawe (Politeknik Negeri Lhokseumawe)* 10 (2): 1-4.
- Zohari, A.. 2013. *Pengaruh komposisi larutan, variasi arus dan waktu proses pelapisan khrom pada plastik ABS terhadap sifat mekanis*. Tesis, Teknik mesin, Fakultas Teknik, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Zulhendri, G. K., and Y. Rosa. 2007. "Pengaruh Tipe Pahat dan Arah Pemakanan Permukaan Berkontur pada Permesinan Milling Awal dan Akhir Terhadap Kekasaran Permukaan." *Jurnal Teknik Mesin* 4 (1): 15-21.