

Pengaruh Elektroplating Ni-Cr terhadap *Wettability* dan Ketahanan Korosi Sumuran pada Baja Tahan Karat 316L dalam Media Infus 0,9% NaCl

Effect of Ni-Cr Electroplating on Wettability and Pitting Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel in 0.9% NaCl Infusion Medium

Binsar Maruli Tua Pakpahan^{1*}, Muhammad Nuh Hudawi Pasaribu¹, Lisnawaty Simatupang², Robert Silaban¹, Natal Toga Hot Tua Pakpahan¹, Prada Sihombing¹, Sabas DK Sinaga¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara 20221, Indonesia

²Jurusan Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara 20221, Indonesia

*Corresponding author: binsar_pakpahan@unimed.ac.id

Diterima: 23-03-2025

Disetujui: 21-04-2025

Dipublikasikan: 30-04-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pelapisan logam Ni-Cr menggunakan metode elektroplating terhadap karakteristik *wettability* dan ketahanan korosi sumuran pada baja tahan karat 316L dalam media infus 0,9% NaCl. Proses elektroplating dilakukan dengan lapisan dasar nikel selama 15 menit, diikuti dengan variasi pelapisan *crome* antara 15 hingga 30 detik. Uji sudut kontak menunjukkan bahwa pelapisan Ni-Cr meningkatkan sudut kontak permukaan dari 71,25° menjadi 86,77°, mengindikasikan perubahan karakteristik permukaan dari hidrofilik menjadi lebih hidrofobik. Peningkatan sudut kontak menunjukkan bahwa pelapisan Ni-Cr efektif dalam mengubah sifat permukaan logam sehingga lebih tahan terhadap penetrasi cairan, yang sangat penting dalam aplikasi medis. Pengujian ketahanan korosi menunjukkan penurunan jumlah dan kedalaman pit pada permukaan baja setelah pelapisan, yang ditandai dengan berkurangnya serangan korosi lokal atau korosi sumuran. Hasil ini menunjukkan bahwa elektroplating Ni-Cr secara signifikan meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran. Teknik pelapisan ini dinilai efektif dan berpotensi diterapkan untuk meningkatkan durabilitas material implan berbasis 316L dalam lingkungan tubuh yang bersifat korosif dan penuh tantangan secara kimia.

Kata Kunci: elektroplating Ni-Cr, *wettability*, baja tahan karat 316L, korosi sumuran, infus NaCl.

Abstract

This study aims to evaluate the effect of Ni-Cr electroplating on *wettability* characteristics and pitting corrosion resistance of 316L stainless steel in 0.9% NaCl infusion media. The electroplating process consisted of a nickel base coating for 15 minutes, followed by chromium plating with durations ranging from 10 to 22.5 minutes. Contact angle measurements showed that Ni-Cr coating increased the contact angle from 71.25° to 86.77°, indicating a surface transformation from hydrophilic to more hydrophobic. This increase in contact angle demonstrates the effectiveness of Ni-Cr plating in enhancing the material's resistance to liquid penetration, a critical property for biomedical applications. Corrosion tests revealed a reduction in pit count and depth after plating, suggesting a significant improvement in resistance to localised corrosion. These findings indicate that Ni-Cr electroplating significantly improves pitting corrosion resistance. This technique can be implemented to enhance the durability of 316L-based implant materials in corrosive body environments, particularly in applications where long-term biocompatibility and surface stability are essential.

Keywords: Ni-Cr electroplating, *wettability*, 316L stainless steel, pitting corrosion, NaCl infusion.

1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan kesehatan yang masih dihadapi masyarakat Indonesia saat ini adalah kecelakaan lalu lintas. Tingginya angka kecelakaan di jalan raya menimbulkan berbagai dampak negatif, mulai dari kerugian materiil, cedera ringan maupun berat, hingga korban jiwa. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2021 terjadi 12.574 kasus kecelakaan lalu lintas di ibu kota Indonesia yang mengakibatkan 905 kematian, 4.088 korban luka berat, 668 korban luka ringan, serta kerugian materiil yang mencapai 27,149 miliar rupiah (Badan Pusat Statistik, 2022). Jumlah ini terus mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Salah satu sorotan utama dari kasus kecelakaan adalah korban yang mengalami cedera berat, terutama kerusakan pada sistem rangka tubuh seperti patah atau retaknya tulang.

Kasus patah atau retaknya tulang merupakan kejadian yang cukup sering ditemukan di Indonesia. Fraktur tulang (*bone fracture*) dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti cedera saat beraktivitas, jatuh, aktivitas olahraga, osteoporosis, serta kondisi lainnya. Secara umum, fraktur tulang terjadi ketika tulang menerima beban yang melebihi kapasitas daya tahannya. Salah satu metode penanganan fraktur tulang yang umum digunakan adalah pemasangan fiksasi internal (Li, Zhang, dan Wang 2024). Fiksasi internal merujuk pada penggunaan implan berbahan biomaterial yang dipasang melalui prosedur pembedahan di area tulang yang mengalami kerusakan, dengan tujuan menyatukan dan menstabilkan bagian tulang yang patah.

Material biomedis yang digunakan sebagai implan tulang atau prostetik (pengganti tulang buatan) terus dikembangkan agar mampu berinteraksi secara optimal dengan cairan tubuh, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Jenis biomaterial logam yang umum dimanfaatkan dalam perangkat medis, khususnya untuk implan tulang, meliputi baja tahan karat austenitik, paduan kobalt-krom, titanium murni komersial, serta berbagai paduan titanium lainnya (Zatkalíková et al. 2023). Material-material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik dan biokompatibilitas yang baik untuk aplikasi dalam tubuh manusia.

Baja tahan karat 316L merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam aplikasi biomedis, terutama sebagai bahan untuk implan tulang dan peralatan bedah. Material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik, kemampuan fabrikasi yang tinggi, serta ketersediaan dan harga yang relatif ekonomis dibandingkan dengan paduan titanium atau kobalt-krom (Wang et al. 2020; Liu et al. 2021). Meskipun demikian, salah satu kekurangan utama dari baja tahan karat 316L adalah ketahanan terhadap korosi sumuran yang kurang memadai, terutama ketika digunakan dalam lingkungan tubuh manusia yang mengandung ion klorida, seperti larutan infus NaCl 0,9%.

Korosi sumuran atau *pitting corrosion* adalah bentuk korosi lokal yang dapat menimbulkan kerusakan signifikan karena terbentuknya lubang kecil namun dalam pada permukaan logam (Simatupang et al. 2024; Yamanoglu et al. 2021; Harinath et al. 2021). Dalam aplikasi medis, bentuk korosi ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan kegagalan struktur pada implan, sehingga membahayakan keselamatan pasien. Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang mampu meningkatkan ketahanan korosi baja 316L menjadi sangat penting dan relevan.

Salah satu teknik yang umum digunakan untuk meningkatkan ketahanan permukaan logam terhadap korosi adalah dengan menerapkan perlakuan permukaan melalui proses elektroplating (Rao et al. 2024; Banaszek et al. 2022). Elektroplating Ni-Cr adalah metode pelapisan logam yang menggunakan arus listrik dalam larutan elektrolit untuk mengendapkan logam nikel dan krom secara berlapis pada permukaan substrat. Proses ini diyakini tidak hanya dapat memperbaiki tampilan dan kekerasan permukaan, tetapi juga mampu meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan yang korosif.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pelapisan Ni-Cr terhadap karakteristik *wettability* dan ketahanan korosi sumuran pada baja tahan karat 316L yang direndam dalam larutan infus 0,9% NaCl, yang mensimulasikan lingkungan tubuh manusia (Achitei et al. 2022; Zhou, Tian, dan Liao 2022). Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan material implan yang lebih tahan lama dan aman digunakan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang sistematis. Pertama, spesimen baja tahan karat 316L berbentuk plat dengan tebal 3 mm kemudian dipotong secara manual dengan ukuran 2x4 cm masing-masing disiapkan melalui proses pemotongan dan pembersihan standar. Kemudian, dilakukan proses elektroplating dua tahap, yaitu pelapisan awal menggunakan nikel selama 15 menit sebagai dasar, diikuti dengan pelapisan krom dengan variasi durasi antara 10 hingga 22,5 detik. Proses pelapisan dilakukan dalam larutan elektrolit dengan kontrol arus DC dan parameter seperti suhu, pH, dan konsentrasi ion yang dikendalikan ketat untuk memastikan kualitas pelapisan yang seragam.

Setelah pelapisan, spesimen diuji untuk mengukur sudut kontak (*wettability*) dengan menggunakan metode sessile drop, yang dilakukan untuk menentukan perubahan sifat permukaan akibat pelapisan. Pengujian sifat *wettability* dilakukan menggunakan perangkat uji yang dilengkapi dengan kamera berkecepatan tinggi,udukan khusus, serta pipet tetes. Proses pengujian ini bertujuan untuk mengukur rata-rata sudut kontak antara tetesan cairan (droplet) dengan permukaan spesimen. Sebanyak tiga tetes air diaplikasikan secara bertahap pada permukaan spesimen (Sun et al. 2020; Zhou et al. 2021). Proses penetesan direkam mulai dari saat sebelum tetesan jatuh hingga satu menit setelah penetesan. Analisis dilakukan berdasarkan gambar hasil rekaman pada detik ke-15 setelah air ditetaskan. Gambar tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak pengolah citra untuk menentukan besar sudut kontak, yang selanjutnya diukur menggunakan alat ukur sudut. Penetesan dilakukan pada tiga lokasi berbeda di permukaan spesimen untuk memperoleh nilai rata-rata sudut kontak yang lebih representatif (Fatahiamirdehi et al. 2024).



Gambar 1. Alat uji korosi dan spesimen uji korosi

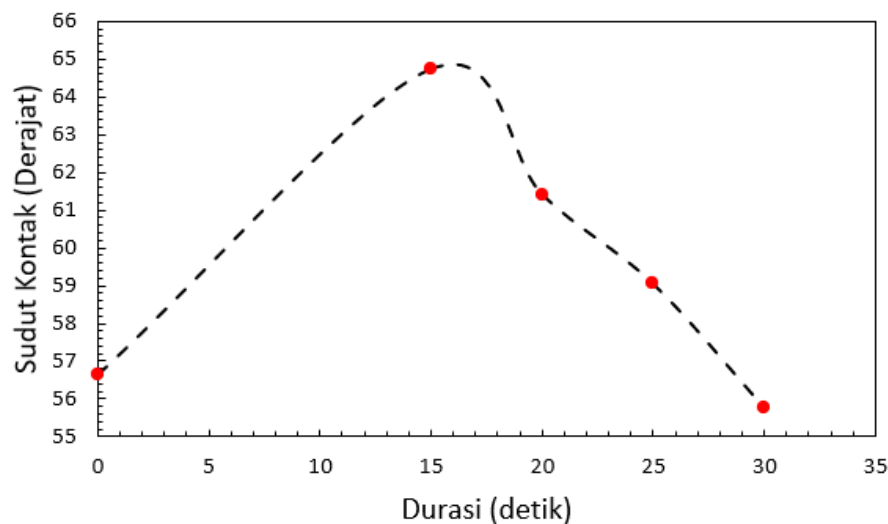
Uji korosi dilakukan menggunakan perangkat pengujian korosi bermerek *Ametek* dengan tipe Versastat 4, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Medium elektrolit yang digunakan dalam pengujian ini adalah larutan *Simulated Body Fluid* (SBF), yang dibuat dari cairan infus NaCl 0,9%. Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis spesimen, yaitu material awal (raw material), serta material yang telah mengalami perlakuan elektroplating (Liu et al. 2021; Zhu et al. 2023). Laju korosi ditentukan berdasarkan nilai arus korosi (I_{corr}), di mana semakin besar nilai I_{corr} , maka semakin tinggi laju korosi material tersebut. Untuk mendeteksi adanya fenomena korosi lokal

seperti pitting corrosion, digunakan metode cyclic polarization (Sunardi, Iswanto, dan Mudjijana 2016; Kumar, Bhadauria, dan Singh 2023). Nilai I_{corr} diperoleh dari hubungan antara potensial listrik yang diberikan dengan arus listrik yang dihasilkan selama proses pengujian berlangsung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Wettability

Uji *wettability* bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan permukaan material dalam merespons kontak dengan cairan setelah mengalami perlakuan permukaan. Karakteristik *wetting* memiliki peran penting dalam interaksi antara material dan lingkungannya. Dalam pengujian ini, sudut kontak antara tetesan cairan (droplet) dan permukaan material diukur sebagai indikator sifat *wetting*. Droplet yang berada di atas permukaan material direkam, lalu dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ dengan pendekatan snake-based untuk menentukan tingkat *wettability* material tersebut (Wang et al. 2019). Diketahui bahwa perlakuan shot peening pada baja tahan karat 316L dapat menurunkan sudut kontak, dari $83,45^{\circ}$ menjadi $64,57^{\circ}$, yang menunjukkan peningkatan sifat *wettability* pada permukaan material.



Gambar 2. Pengaruh durasi elektroplating terhadap sudut kontak *wettability* 316L

Gambar 2 memperlihatkan pengaruh variasi durasi elektroplating Ni-Cr terhadap sudut kontak pada material baja tahan karat 316L. Proses pelapisan logam dengan lapisan dasar nikel menghasilkan sudut kontak masing-masing sebesar $53,44^{\circ}$; $62,55^{\circ}$; $60,23^{\circ}$; $58,04^{\circ}$; dan $53,44^{\circ}$ untuk durasi elektroplating crome 0, 15, 20, 25, dan 30 detik. Peningkatan sudut kontak yang cukup mencolok dari 0 detik ke 15 detik menunjukkan adanya perubahan komposisi unsur pada permukaan lapisan. Pada durasi 0 detik, permukaan didominasi oleh nikel, sedangkan pada 15 detik, karakter permukaannya lebih cenderung mengarah ke crom. Variasi komposisi permukaan ini sangat memengaruhi nilai sudut kontak, yang mencerminkan perubahan sifat *wettability* material (Chen et al. 2022). Seiring bertambahnya durasi pelapisan, terjadi penurunan nilai sudut kontak, yang disebabkan oleh meningkatnya kekasaran permukaan akibat proses elektroplating Ni-Cr. Pada durasi di atas 20 detik, penurunan sudut kontak tetap terjadi secara signifikan, yang diasosiasikan dengan peningkatan kekasaran dan terbentuknya pori-pori akibat proses elektroplating yang kurang sempurna.

3.2. Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan larutan infus NaCl 0,9% dengan merek Ametek dengan tipe Versastat 4. Penentuan laju korosi dilakukan melalui dua pendekatan, yakni

metode potensiodinamik dan metode polarisasi siklik. Metode potensiodinamik digunakan untuk mengukur laju korosi umum pada material baja tahan karat 316L, sedangkan polarisasi siklik dimanfaatkan untuk mendeteksi laju korosi lokal, seperti korosi sumuran (pitting), pada permukaan material tersebut. Pada pengujian ini hanya menggunakan metode potensiodinamik. Besarnya laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya rapat arus korosi (I_{corr}), berat ekuivalen paduan (E_w), dan densitas material (ρ). Untuk perhitungan laju korosi pada paduan logam, nilai berat ekuivalen sangat dibutuhkan. Berat ekuivalen ini didefinisikan sebagai rata-rata massa atom dari unsur-unsur penyusun paduan utama yang dihitung berdasarkan valensi ion masing-masing (Kumar, Bhadauria, dan Singh 2023). Rumus perhitungan berat ekuivalen dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 1. Data spesifik unsur untuk berat ekuivalen (Smithels, 1976)

Unsur	Komposisi (%)	Valensi elektron	Berat atom (gr/mol)
Cr	16,78	3	51,996
Ni	10,86	2	58,693
Mo	1,89	4	95,94
Fe	70,47	2	55,933

$$N_{EQ} = \sum \frac{\omega_i}{\left(\frac{a_i}{n}\right)} = \frac{0,7047}{\left(\frac{55,93}{2}\right)} + \frac{0,1678}{\left(\frac{51,996}{3}\right)} + \frac{0,1086}{\left(\frac{58,693}{2}\right)} + \frac{0,0189}{\left(\frac{95,933}{4}\right)} = 0,0394 \text{ mol/gr}$$

$$E_w = \frac{1}{N_{EQ}} = \frac{1}{0,0394} = 25,4 \text{ gr/mol}$$

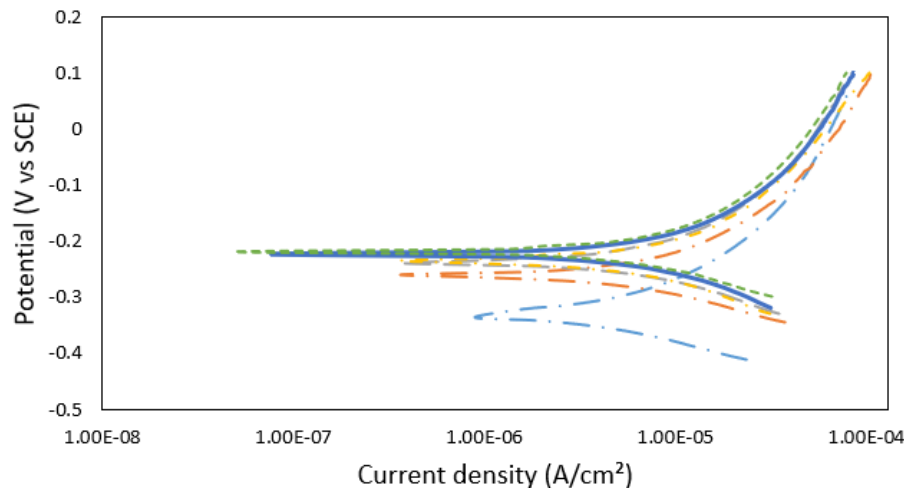
Tabel 2. menampilkan hasil analisis grafik Tafel berdasarkan metode potensiodinamik yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi durasi elektroplating terhadap ketahanan korosi. Secara umum, spesimen yang telah mengalami perlakuan elektroplating menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap korosi dibandingkan dengan material yang belum diperlakukan. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada durasi elektroplating crome 15 detik, laju korosi justru mengalami kenaikan dari 1,173 mpy menjadi 1,233 mpy dibandingkan dengan kondisi awal tanpa perlakuan.

Perbandingan data laju korosi yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tingkat korosi dipengaruhi oleh pembentukan lapisan pasif pada permukaan material. Lapisan ini berfungsi sebagai pelindung logam dari serangan korosi akibat pengaruh lingkungan (Prakash dan Lee 2024). Perubahan nilai laju korosi juga dapat terjadi akibat proses elektroplating, yaitu lapisan Ni-Cr pada permukaan material (Garibay-Coria et al. 2024). Waktu pelapisan Crome yang terlalu singkat dapat menyebabkan peningkatan laju korosi, yang diasumsikan disebabkan oleh tidak telapisinya secara keseluruhan permukaan material.

Tabel 2. Hasil uji korosi pada lama pelapisan crome yang berbeda

Spesimen	Raw	CR 15	CR 20	CR 25	CR 30
Durasi <i>shot peening</i> (menit)	0	2	4	10	20
I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	2.856	3.002	2.701	2.491	2.128
E_{corr} (mV)	-335.3	-258.7	-238.8	-234.3	-221.5
Laju korosi (mpy)	1.173	1.233	1.109	1.023	0.874

Gambar 3 menunjukkan Tafel plot hasil pengujian korosi menggunakan metode potensiodinamik dengan variasi durasi pelapisan crome, menunjukkan adanya pergeseran kurva ke arah atas dan kiri seiring bertambahnya waktu pelapisan Cr. Pergeseran ini mencerminkan peningkatan nilai potensial korosi dari -324,2 mV hingga mencapai -223,4 mV. Peningkatan nilai potensial tersebut mengindikasikan bahwa perlakuan elektroplating memberikan efek anodik yang lebih tinggi terhadap material. Hal ini menunjukkan bahwa setelah menjalani proses pelapisan crome, permukaan material mengalami pembentukan lapisan pasif yang lebih efektif, sehingga meningkatkan sifat nobilitasnya dibandingkan dengan kondisi sebelum perlakuan.



Gambar 3. Perilaku korosi potensiodinamik (tafel plot) pengaruh waktu pelapisan Crome

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses elektroplating Ni-Cr pada baja tahan karat 316L memberikan peningkatan yang signifikan terhadap ketahanan korosi sumuran serta mengubah sifat permukaan menjadi lebih hidrofobik. Peningkatan sudut kontak menunjukkan bahwa permukaan menjadi lebih tahan terhadap pembasahan, sedangkan hasil pengujian korosi membuktikan bahwa pelapisan Ni-Cr mampu mengurangi tingkat kerusakan akibat korosi sumuran. Teknik ini sangat direkomendasikan untuk aplikasi pada implan medis dan lingkungan yang memerlukan daya tahan tinggi terhadap korosi. Penelitian ini juga membuka peluang untuk eksplorasi lebih lanjut terhadap kombinasi pelapisan multilapis dan pengaruhnya terhadap biokompatibilitas dan ketahanan jangka panjang.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Negeri Medan atas bantuan mereka dalam penelitian ini melalui Kontrak Nomor 0019/UN33.8/PPKM/PD/2024. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Teknik Material atas bantuan mereka dalam pelaksanaan eksperimen.

Daftar Pustaka

- Achitei, D. C., M. S. Baltatu, P. Vizureanu, A. V. Sandu, M. Benchea, dan B. Istrate. 2022. "Ni-Cr Alloys Assessment for Dental Implants Suitability." *Applied Sciences* 12(24): 12814. <https://doi.org/10.3390/app122412814>.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Jumlah Kejadian, Korban Kecelakaan Lalu Lintas dan Kerugian di Provinsi DKI Jakarta, 2021*. Jakarta: BPS Provinsi DKI Jakarta.

<https://jakarta.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMzOSMy/number-of-traffic-accident--victims-and-its-lost-in-dki-jakarta-province.html>.

- Banaszek, K., M. Maślanka, M. Semenov, dan L. Klimek. 2022. "Corrosive Studies of a Prosthetic Ni-Cr Alloy Coated with Ti(C,N) Type Layers." *Materials* 15(7): 2471. <https://doi.org/10.3390/ma15072471>.
- Chen, S., K. Ouyang, G. Pu, Y. Liu, L. Yu, M. Cui, A. Liu, Y. Wang, K. Zhang, dan Y. Huang. 2022. "Study of the Corrosion of Nickel–Chromium Alloy in an Acidic Solution Protected by Nickel Nanoparticles." *ACS Omega* 7(30): 26289–26298. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02679>.
- Fatahiamirdehi, M., M. Mahani, S. F. Mirseyed, dan A. Rostamian. 2024. "Enhancing Corrosion Resistance of 316L Stainless Steel through Electrochemical Deposition of Polyaniline Coatings in Acidic Environments." *Journal of Materials Science* 59: 14716–14727. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-10047-2>.
- Garibay-Coria, S., M. Velasco-Plascencia, J. C. Villalobos, O. Vázquez-Gómez, A. Molina-Ocampo, dan H. J. Vergara-Hernández. 2024. "Chromium Effect over the Hydrogen Evolution Reaction and Corrosion Behavior on Ni-Cr Porous Electrodes." *Journal of Materials Engineering and Performance* 33(6): 1005–1012. <https://doi.org/10.1007/s11665-024-10005-8>.
- Harinath, Y. V., C. J. Rao, S. Ningshen, et al. 2021. "Corrosion Behaviour of Plasma-Sprayed Nickel Coating on Type 316L Stainless Steel in High-Temperature Molten FLiNaK Salt." *Transactions of the Indian Institute of Metals* 74: 2821–2833. <https://doi.org/10.1007/s12666-021-02353-z>.
- Kumar, K., S. S. Bhadauria, dan A. P. Singh. 2023. "Effect of Post-Coating Heat Treatment on Corrosion and Stress Corrosion Behaviors of NiCr/TiO₂-Coated 316L Stainless Steel." *Arabian Journal for Science and Engineering* 48: 3893–3908. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07310-6>.
- Li, Y., X. Zhang, dan Y. Wang. 2024. "Principles of Fracture Healing and Fixation: A Literature Review." *Journal of Orthopaedic Research* 42(2): 123–134. <https://doi.org/10.1002/jor.25000>.
- Liu, E., L. Wang, X. Yin, J. Hu, S. Yu, Y. Zhao, dan W. Xiong. 2021. "Fabrication of a Robust Superhydrophobic Ni Coating with Micro–Nano Dual-Scale Structures on 316L Stainless Steel." *Advanced Engineering Materials* 23(1): 2000913. <https://doi.org/10.1002/adem.202000913>.
- Prakash, C. G. J., dan J.-W. Lee. 2024. "Do Wettability Measurements Define Corrosion Inhibition of Etched Surfaces? A Study on Acid-Etched 316L Stainless Steel." *Advanced Engineering Materials* 26(22): 2400862. <https://doi.org/10.1002/adem.202400862>.
- Rao, S., C. Zhang, F. Zhao, L. Bao, dan X. Wang. 2024. "Investigations on Corrosion Behavior of 316LN and 316L Austenitic Stainless Steel under Corrosion-Deformation Interactions." *Anti-Corrosion Methods and Materials* 71(4): 357–367. <https://doi.org/10.1108/ACMM-11-2023-2920>.
- Simatupang, L., R. Siburian, E. Ginting, B. Pakpahan, K. Simatupang, D. Siagian, E. Laoli, R. Goei, dan A. Tok. 2024. "Sustainable Porous Silica Material Extracted from Volcanic Ash of Mount Sinabung Indonesia as Corrosion Inhibitor." *[Nama Jurnal Tidak Dicantumkan]* 15(5): 880–899.
- Sun, X., J. Srinivasan, R. G. Kelly, dan R. Duddu. 2020. "Numerical Investigation of Critical Electrochemical Factors for Localized Corrosion Using a Multi-Species Reactive Transport Model." *arXiv preprint arXiv:2008.04280*. <https://arxiv.org/abs/2008.04280>.
- Sunardi, S., P. T. Iswanto, dan M. Mudjijana. 2016. "Peningkatan Ketahanan Korosi pada Material Biomedik Plat Penyambung Tulang SS 304 dengan Gabungan Metode Shot Peening dan Electroplating Ni-Cr." *Semesta Teknika* 19(2): 1–8. <https://doi.org/10.18196/st.v18i2.1817>.

- Wang, G., D. Li, Y. Zuo, Y. Tang, X. Zhang, dan X. Zhao. 2020. "The Improvement of Hardness and Corrosion Resistance of Electroplated Pd-Ni Film on 316L Stainless Steel by CeCl_3 ." *Coatings* 10(2): 161. <https://doi.org/10.3390/coatings10020161>.
- Wang, Z., F. Di-Franco, A. Seyeux, S. Zanna, V. Maurice, dan P. Marcus. 2019. "Passivation-Induced Physicochemical Alterations of the Native Surface Oxide Film on 316L Austenitic Stainless Steel." *arXiv preprint arXiv:1906.05544*. <https://arxiv.org/abs/1906.05544>.
- Yamanoglu, R., et al. 2021. "Pitting Corrosion Behaviour of Austenitic Stainless-Steel Coated on Ti6Al4V Alloy in Chloride Solutions." *Advances in Materials Science* 21(2): 5–15. <https://doi.org/10.2478/adms-2021-0007>.
- Zatkalíková, Viera, Milan Uhrčík, Lenka Markovičová, Lucia Pastierovičová, dan Lenka Kuchariková. 2023. "The Effect of Sensitization on the Susceptibility of AISI 316L Biomaterial to Pitting Corrosion." *Materials* 16(16): 5714. <https://doi.org/10.3390/ma16165714>.
- Zhou, C., J. Wang, S. Hu, H. Tao, B. Fang, L. Li, dan Z. L. Zheng. 2021. "Pitting Corrosion of Type 316L Stainless Steel Elaborated by the Selective Laser Melting Method: Influence of Microstructure." *Journal of Materials Engineering and Performance* 30(6): 4567–4579. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05621-7>.
- Zhou, H., Z. Tian, dan C. Liao. 2022. "Corrosion Behaviour Characterisation of 316L Stainless Steel and Inconel 625 in Supercritical Water Containing Hydrochloric Acid and High Oxygen." *Corrosion Engineering, Science and Technology* 57(7): 640–647. <https://doi.org/10.1080/1478422X.2022.2112931>.
- Zhu, Y., C.-Q. Gu, J. Wang, X. Xi, dan Z. Qin. 2023. "Characterization and Corrosion Behavior of Ni-Cr Coatings by Using Pulse Current Electrodeposition." *Anti-Corrosion Methods and Materials* 70(5): 236–242. <https://doi.org/10.1108/ACMM-04-2023-2788>.