

PENGARUH JARAK PENYEMPROTAN KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-POLIVINIL ALKOHOL TERHADAP KETEBALAN DAN KEKUATAN ADHESI COATING PADA SS316L

Arif Rabbi Prayitno

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arif23259@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi lapisan hidroksiapatit-polivinil alkohol pada substrat *stainless steel* 316L. Metode pelapisan yang digunakan adalah *spray coating* dengan variasi jarak penyemprotan 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Sebelum proses pelapisan, substrat *stainless steel* 316L dilakukan *surface preparation* menggunakan *sandblasting* silika mesh 16–30 untuk meningkatkan kekasaran permukaan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian ketebalan coating menggunakan *coating thickness gauge*, pengujian adhesi menggunakan metode *pull-off test* berdasarkan ASTM D4541, serta analisis *failure* pada permukaan spesimen setelah pengujian adhesi. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan uji *One Way ANOVA* untuk mengetahui pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi *coating*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai adhesi tertinggi diperoleh pada variasi jarak penyemprotan 15 cm sebesar $10,62 \pm 0,15$ MPa, sedangkan ketebalan *coating* tertinggi diperoleh pada variasi jarak penyemprotan 10 cm sebesar $99,90 \pm 9,10$ μm . Hasil uji *One Way ANOVA* menunjukkan bahwa variasi jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan adhesi maupun ketebalan *coating*. Analisis *failure* menunjukkan dominannya *glue failure* pada seluruh spesimen selama pengujian pull-off. Berdasarkan hasil penelitian, lapisan hidroksiapatit-polivinil alkohol menunjukkan kecenderungan adhesi terbaik pada jarak penyemprotan 15 cm, namun nilai adhesi yang diperoleh masih belum memenuhi standar minimum ISO 13779-2 sebesar 15 MPa sehingga masih diperlukan optimasi parameter *coating* dan pengujian lebih lanjut.

Kata Kunci: hidroksiapatit, polivinil alkohol, spray coating, ketebalan, adhesi, SS316L.

Abstract

This study aimed to analyze the effect of spray distance variation on the thickness and adhesion strength of hydroxyapatite-polyvinyl alcohol coatings on stainless steel 316L substrates. The coating method used was spray coating with spray distance variations of 10 cm, 15 cm, and 20 cm. Prior to the coating process, the stainless steel 316L substrates underwent surface preparation using silica sandblasting mesh 16–30 to improve surface roughness. The tests conducted included coating thickness measurement using a coating thickness gauge, adhesion testing using the pull-off test method based on ASTM D4541, and failure analysis on the specimen surface after adhesion testing. The test data were analyzed using the One Way ANOVA test to determine the effect of spray distance variation on coating thickness and adhesion strength. The results showed that the highest adhesion value was obtained at a spray distance variation of 15 cm with a value of 10.62 ± 0.15 MPa, while the highest coating thickness was obtained at a spray distance variation of 10 cm with a value of 99.90 ± 9.10 μm . The One Way ANOVA test results indicated that spray distance variation did not have a significant effect on coating adhesion strength or coating thickness. Failure analysis showed the dominance of glue failure in all specimens during the pull-off test. Based on the results, the hydroxyapatite-polyvinyl alcohol coating showed the best adhesion tendency at a spray distance of 15 cm; however, the adhesion value still did not meet the minimum ISO 13779-2 standard of 15 MPa, indicating that further optimization of coating parameters and additional testing are still required.

Keywords: hydroxyapatite, polyvinyl alcohol, spray coating, thickness, adhesion, SS316L.

PENDAHULUAN

Permasalahan pada sistem muskuloskeletal seperti osteoarthritis, osteoporosis, dan fraktur tulang menyebabkan meningkatnya kebutuhan terhadap material implan yang memiliki sifat mekanik dan biokompatibilitas yang baik. Salah satu metode penanganan yang umum digunakan adalah pemasangan implan sendi panggul (hip implant) (Guo dkk., 2022). Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, prevalensi penyakit sendi di Provinsi Jawa Timur mencapai 6,72%, sedangkan di

Kota Surabaya sebesar 7,67% dengan prevalensi tertinggi pada kelompok usia di atas 55 tahun (Kemenkes RI, 2018). Kondisi tersebut mendorong pengembangan material implan dengan ketahanan korosi dan kemampuan *osseointegration* yang lebih baik.

Stainless steel 316L (SS316L) merupakan salah satu material logam yang banyak digunakan sebagai bahan implan karena memiliki sifat mekanik yang baik serta ketahanan korosi yang cukup tinggi. Namun demikian, penggunaan SS316L secara langsung masih memiliki kelemahan berupa risiko korosi dan rendahnya bioaktivitas

permukaan. Korosi pada implan dapat menyebabkan pelepasan ion logam yang berdampak negatif terhadap jaringan tubuh. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi permukaan menggunakan biomaterial *coating* untuk meningkatkan biokompatibilitas dan integrasi implan dengan jaringan tulang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SS316L tanpa pelapisan hidroksiapatit dan polivinil alkohol memiliki laju korosi sebesar 0,05 mm/tahun (Aminatun dkk., 2020).

Hidroksiapatit merupakan biomaterial keramik yang memiliki komposisi menyerupai mineral penyusun tulang sehingga banyak digunakan sebagai *coating* implan karena bersifat bioaktif dan mampu mendukung pertumbuhan jaringan tulang. Akan tetapi, hidroksiapatit memiliki sifat rapuh sehingga diperlukan material pengikat seperti polivinil alkohol untuk meningkatkan kualitas lapisan *coating*. Polivinil alkohol bersifat biokompatibel, tidak beracun, mudah larut dalam air, dan mampu meningkatkan fleksibilitas serta perlindungan korosi pada *coating* (Ghazanfar dkk., 2024).

Kualitas *coating* dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya ketebalan dan kekuatan adhesi lapisan. Ketebalan *coating* yang terlalu besar dapat menyebabkan retak dan delaminasi, sedangkan adhesi yang rendah menyebabkan *coating* mudah terkelupas dari substrat. Standar ISO 13779-2 menetapkan bahwa nilai minimum kekuatan adhesi *coating* hidroksiapatit adalah 15 MPa (ISO 13779-2, 2008), sedangkan ketebalan *coating* optimum untuk aplikasi biomedis berada pada rentang 50–100 μm (Gunawarman dkk., 2021).

Metode *spray coating* merupakan metode pelapisan yang sederhana dan mudah diaplikasikan karena mampu menghasilkan distribusi lapisan yang relatif merata. Namun, kualitas *coating* sangat dipengaruhi oleh parameter proses, salah satunya jarak penyemprotan. Jarak penyemprotan memengaruhi proses atomisasi droplet, distribusi partikel, dan energi tumbukan partikel pada permukaan substrat sehingga dapat memengaruhi ketebalan dan kekuatan adhesi *coating*. Penelitian Aminatun dkk. (2020) menunjukkan bahwa *coating* HA-PVA pada SS316L masih memiliki kekuatan adhesi yang rendah dan belum memenuhi standar ISO 13779-2. Selain itu, penelitian mengenai pengaruh variasi jarak penyemprotan pada *coating* HA-PVA terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi pada SS316L masih terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi *coating* hidroksiapatit-polivinil alkohol pada substrat SS316L menggunakan metode *spray coating*.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Penelitian menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi *coating* hidroksiapatit-polivinil alkohol pada substrat stainless steel 316L. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jarak penyemprotan sebesar 10

cm, 15 cm, dan 20 cm. Variabel terikat yang diamati meliputi ketebalan *coating* dan kekuatan adhesi lapisan. Variabel kontrol yang digunakan yaitu tekanan penyemprotan sebesar 40 Psi, komposisi hidroksiapatit:polivinil alkohol:aquades sebesar 27:3:100 (wt%), temperatur pengeringan 80°C selama 5 jam, serta penggunaan *spray gun* H&L F75G.

Material substrat yang digunakan berupa plat *stainless steel* 316L dengan ukuran 50 mm \times 50 mm dan ketebalan 3 mm. Sebelum proses *coating* dilakukan *surface preparation* menggunakan metode *sandblasting* dengan media abrasif silika mesh 16–30 untuk meningkatkan kekasaran permukaan dan kualitas adhesi *coating* terhadap substrat. Setelah proses *sandblasting*, permukaan spesimen dibersihkan menggunakan alkohol untuk menghilangkan debu dan kontaminan pada permukaan.

Pembuatan larutan *coating* dilakukan dengan mencampurkan hidroksiapatit dan polivinil alkohol ke dalam aquades sesuai komposisi yang telah ditentukan. Campuran kemudian diaduk hingga homogen sebelum dilakukan proses penyemprotan. Metode *coating* yang digunakan adalah *spray coating* dengan tekanan udara 40 Psi. Proses penyemprotan dilakukan secara tegak lurus terhadap permukaan substrat dengan variasi jarak penyemprotan 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Setelah proses *coating* selesai, spesimen dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 80°C selama 5 jam untuk membantu proses pengeringan dan pembentukan lapisan *coating*.

Pengujian ketebalan *coating* dilakukan menggunakan *coating thickness gauge* mengacu pada standar ISO 2808. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik permukaan spesimen, kemudian dihitung nilai rata-rata ketebalan lapisan untuk setiap variasi jarak penyemprotan. Pengujian kekuatan adhesi dilakukan menggunakan metode pull-off test berdasarkan standar ASTM D4541. Pada pengujian ini, *dolly* direkatkan pada permukaan *coating* menggunakan perekat, kemudian dilakukan penarikan hingga lapisan *coating* terlepas dari permukaan substrat. Nilai gaya tarik maksimum yang diperoleh digunakan sebagai nilai kekuatan adhesi *coating*. Selain itu, dilakukan analisis failure setelah pengujian adhesi untuk mengidentifikasi jenis kegagalan yang terjadi, meliputi *adhesive failure*, *cohesive failure*, *glue failure*, dan *mixed failure*.

Data hasil pengujian ketebalan dan kekuatan adhesi dianalisis menggunakan uji statistik One Way ANOVA untuk mengetahui pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap karakteristik *coating* hidroksiapatit-polivinil alkohol pada substrat *stainless steel* 316L. Sebelum dilakukan uji ANOVA, data diuji normalitas dan homogenitas untuk memastikan bahwa data memenuhi syarat analisis statistik parametrik. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan pengaruh variasi jarak

penyemprotan terhadap ketebalan dan kekuatan adhesi *coating*.

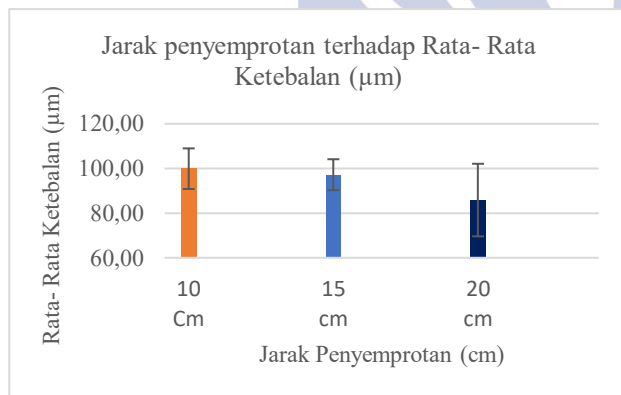
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan Pengujian Ketebalan *Coating*

Pengujian ketebalan *coating* dilakukan menggunakan *coating thickness gauge* berdasarkan standar ISO 2808 untuk mengetahui pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap ketebalan lapisan hidroksiapatit-polivinil alkohol pada substrat *stainless steel* 316L. Hasil rata-rata pengujian ketebalan *coating* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Ketebalan Coating

Variasi Jarak Penyemprotan	Ketebalan Rata-rata (μm)	Standar Deviasi
10 cm	99,90	9,10
15 cm	92,43	5,52
20 cm	90,77	6,31



Gambar 1. Grafik uji ketebalan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketebalan *coating* cenderung menurun seiring bertambahnya jarak penyemprotan. Ketebalan rata-rata tertinggi diperoleh pada jarak 10 cm sebesar $99,90 \pm 9,10 \mu\text{m}$, sedangkan ketebalan terendah diperoleh pada jarak 20 cm sebesar $85,85 \pm 16,25 \mu\text{m}$.

Pada jarak penyemprotan yang dekat, sebagian besar partikel *coating* masih mampu mencapai permukaan substrat secara langsung sehingga jumlah material yang terdeposit menjadi lebih besar. Namun, distribusi partikel cenderung kurang merata dan dapat menyebabkan penumpukan lokal (*overlapping*) pada permukaan *coating* (Rhana Rhandika, S, dkk., 2025). Pada jarak 20 cm, partikel *coating* mengalami hamburan udara sehingga jumlah material yang mencapai permukaan substrat menjadi lebih sedikit dan ketebalan *coating* menurun.

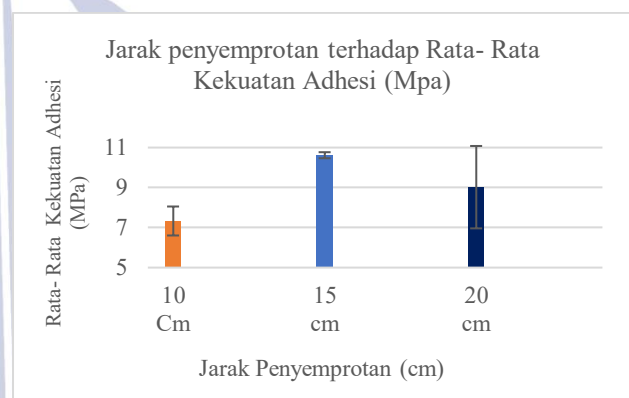
Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara jarak penyemprotan dan ketebalan *coating* bersifat

berbanding terbalik. Ketebalan *coating* yang diperoleh masih berada pada rentang *coating* hidroksiapatit untuk aplikasi biomedis, yaitu sekitar $50\text{--}100 \mu\text{m}$ (Gunawarman dkk., 2021).

Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekuatan Adhesi Coating

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekuatan Adhesi

Variasi Jarak Penyemprotan	Kekuatan Adhesi (MPa)	Standar Deviasi
10 cm	9,87	0,24
15 cm	10,62	0,15
20 cm	9,74	0,19



Berdasarkan hasil pengujian, nilai adhesi tertinggi diperoleh pada jarak penyemprotan 15 cm sebesar $10,62 \pm 0,15 \text{ MPa}$. Nilai adhesi pada jarak 10 cm sebesar $7,33 \pm 0,72 \text{ MPa}$, sedangkan pada jarak 20 cm sebesar $9,02 \pm 2,06 \text{ MPa}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jarak penyemprotan memengaruhi kualitas ikatan antara *coating* dan substrat.

Pada jarak 10 cm, partikel *coating* memiliki energi kinetik tinggi sehingga terjadi *over-deposition* dan distribusi *coating* menjadi kurang homogen. Tumbukan droplet yang terlalu kuat juga dapat memicu terbentuknya cacat mikro pada lapisan *coating* (Dorr G. dkk., 2016). Sebaliknya, pada jarak 20 cm partikel *coating* mengalami dispersi selama perjalanan menuju substrat sehingga energi kinetik partikel menurun dan kemampuan partikel untuk melekat pada permukaan menjadi berkurang (Rhana Rhandika, S, dkk., 2025).

Jarak penyemprotan 15 cm menghasilkan adhesi tertinggi karena partikel *coating* memiliki energi kinetik yang cukup untuk menempel dengan baik tanpa menyebabkan penumpukan berlebih. Selain itu, distribusi partikel menjadi lebih merata sehingga menghasilkan lapisan *coating* yang lebih homogen. Namun demikian, nilai adhesi tertinggi yang diperoleh masih belum memenuhi standar minimum ISO 13779-2 sebesar 15 MPa.

Analisis Statistik One Way ANOVA

Tabel 3. Hasil uji normalitas kekuatan adhesi dan ketebalan

Kekuatan Adhesi			
Jarak (cm)	Statistic	df	Sig.
10	0.844	3	0.225
15	0.855	3	0.253
20	0.972	3	0.677
Ketebalan			
Jarak (cm)	Statistic	df	Sig.
10	0.788	3	0.086
15	0.976	3	0.703
20	0.911	3	0.422

Tabel 4. Hasil uji Homogenitas kekuatan adhesi dan ketebalan

Kekuatan Adhesi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.444	2	6	0.065
Ketebalan			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.061	2	6	0.208

Uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk menunjukkan seluruh data memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga data berdistribusi normal. Uji homogenitas menggunakan uji Levene juga menunjukkan nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga data bersifat homogen.

Tabel 5. Hasil Anova satu arah

Kekuatan Adhesi					
Sumber Variasi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.208	2	8.104	5.078	0.051
Within Groups	9.575	6	1.596		
Total	25.783	8			
Ketebalan					
Sumber Variasi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	333.800	2	166.900	1.268	0.347
Within Groups	789.681	6	131.614		
Total	1123.481	8			

Hasil uji *One Way ANOVA* menunjukkan bahwa nilai signifikansi adhesi sebesar 0,051 dan ketebalan sebesar 0,347. Nilai tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga variasi

jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh signifikan secara statistik terhadap kekuatan adhesi maupun ketebalan *coating*. Namun demikian, nilai signifikansi adhesi yang mendekati 0,05 menunjukkan adanya kecenderungan pengaruh variasi jarak penyemprotan terhadap kualitas adhesi *coating*.

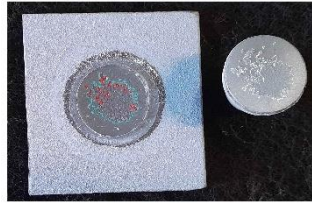
Analisis Jenis Kegagalan (Failure Analysis)

Tabel 6. Analisis failure

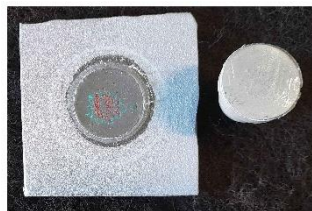
Variasi Sample	Kohesi Failure (%)	Adhesi Failure (%)	Glue Failure (%)	Adhesi (Mpa)	Thicknes (µm)
10.1	0,00%	0,77%	99,23%	7,83	105,56
10.2	9,85%	0,21%	89,94%	7,66	89,41
10.3	0,00%	0,22%	99,78%	6,5	104,74
15.1	29,19%	2,75%	68,06%	10,55	89,75
15.2	30,17%	1,06%	68,76%	10,51	103,43
15.3	37,51%	4,00%	58,49%	10,79	98,45
20.1	16,31%	0,79%	82,90%	8,62	104,16
20.2	21,46%	0,50%	78,04%	11,25	80,26
20.3	15,56%	1,28%	83,16%	7,19	73,13



Gambar 4. 1 Analisis *failure* jarak penyemprotan 10 cm



Gambar 4. 2 Analisis *failure* jarak penyemprotan 15 cm



Gambar 4. 3 Analisis *failure* jarak penyemprotan 20 cm

Hasil pengujian adhesi menunjukkan bahwa seluruh spesimen mengalami *mixed failure*, yaitu kombinasi antara *adhesive failure*, *cohesive failure*, dan *glue failure*. Pada variasi jarak 10 cm dan 20 cm, kegagalan didominasi oleh

glue failure dengan persentase sebesar $\pm 78-99\%$. Dominasi *glue failure* menunjukkan bahwa kegagalan lebih banyak terjadi pada lapisan perekat dibandingkan pada *interface coating-substrat*. Kondisi ini sesuai dengan penelitian Zayatzev dkk. (2022) yang menyatakan bahwa keterbatasan kekuatan perekat dapat menyebabkan kegagalan terjadi pada perekat sebelum lapisan coating mengalami delaminasi.

Pada variasi jarak 15 cm terjadi peningkatan *cohesive failure* hingga $\pm 37\%$, yang menunjukkan bahwa kegagalan mulai terjadi di dalam lapisan *coating*. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa kekuatan ikatan antara coating dan substrat lebih tinggi dibandingkan kekuatan internal *coating* (Yau Q. dkk., 2002).

Berdasarkan ASTM D4541 poin 8.7.3, hasil pengujian dengan *glue failure* lebih dari 5% dan nilai adhesi di bawah kriteria pass/fail dikategorikan sebagai *indeterminate test due to glue fracture*. Oleh karena itu, hasil adhesi pada penelitian ini masih perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena kegagalan dominan terjadi pada lapisan perekat epoxy.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi jarak penyemprotan pada pelapisan komposit hidroksiapatit-polivinil alkohol terhadap substrat SS316L menunjukkan kecenderungan memengaruhi ketebalan dan kekuatan adhesi *coating*. Nilai adhesi tertinggi diperoleh pada jarak penyemprotan 15 cm sebesar $10,62 \pm 0,15$ MPa, sedangkan ketebalan coating tertinggi diperoleh pada jarak 10 cm sebesar $99,90 \pm 9,10$ μm . Hasil tersebut menunjukkan bahwa jarak penyemprotan menengah menghasilkan distribusi partikel *coating* yang lebih homogen sehingga mampu meningkatkan kualitas ikatan antara *coating* dan substrat.

Hasil uji One Way ANOVA menunjukkan bahwa variasi jarak penyemprotan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan adhesi maupun ketebalan *coating* dengan nilai signifikansi masing-masing sebesar 0,051 dan 0,347. Meskipun demikian, nilai adhesi pada jarak 15 cm menunjukkan kecenderungan kondisi optimum dibandingkan variasi lainnya. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa jarak penyemprotan memengaruhi distribusi partikel, efisiensi deposisi, dan kualitas lapisan *coating*.

Analisis failure menunjukkan bahwa jenis kegagalan yang dominan pada seluruh spesimen adalah *glue failure*, sehingga hasil pengujian adhesi masih dipengaruhi oleh kekuatan perekat *epoxy* yang digunakan selama pengujian *pull-off*. Oleh karena itu, diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter *coating* maupun metode pengujian

untuk memperoleh kualitas adhesi *coating* HA-PVA yang memenuhi standar ISO 13779-2 sebesar 15 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, doa, serta motivasi dalam proses penyusunan skripsi ini, khususnya kepada dosen pembimbing, keluarga tercinta, saudara, teman-teman seperjuangan, seluruh pihak di lingkungan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya dan CV Cipta Agung yang memberikan support. Terima kasih atas segala bantuan, pengorbanan, dan semangat yang diberikan sehingga jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminatun, Tenong, F. F. S. B., & Hikmawati, D. (2020). Characterization of SS316L metal coated hydroxyapatite-polyvinyl alcohol through airbrush spraying method. *AIP Conference Proceedings*, 2314, 1-6.
- ASTM International. (2017). Test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers. ASTM D4541. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM International. (2021). Test methods for field measurement of surface profile of blast cleaned steel. ASTM D4417. West Conshohocken: ASTM International.
- Dorr, G. J., Forster, T., Mayo, W., McCue, W., Kempthorne, G. A., & Noller, B. A. (2016). Impaction of spray droplets on leaves: Influence of formulation and leaf character on shatter, bounce and adhesion. *Experiments in Fluids*, 57(9), 1-18.
- Ghazanfar, E., Marwat, M. A., Batool, S. A., Anwar, A., Abdullah, S. M., Din, Z. U., Humayun, M., Bououdina, M., Abo-Elnasr, A. B., & Ali, H. T. (2024). Electrophoretic deposition of polyvinyl alcohol, C-H NRs along with moringa on an SS substrate for orthopedic implant applications. *RSC Advances*, 14(37), 26775-26787.
- Gunawarman, Affi, J., Sutanto, A., Putri, D. M., Juliadmi, D., Nuswantoro, N. F., Fajri, H., Tjong, D. H., & Manjas, M. (2021). Adhesion strength of hydroxyapatite coating on titanium alloy (Ti-6Al-4V ELI) for biomedical application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1062(1), 1-7.
- Guo, L., Ataollah Naghavi, S., Wang, Z., Nath Varma, S., Han, Z., Yao, Z., Wang, L., Wang, L., & Liu, C. (2022). On the design evolution of hip implants: A review. *Materials and Design*, 216, 1-21.
- International Organization for Standardization. (2007). Preparation of steel substrates before application of paints and related products—Visual assessment of surface cleanliness. ISO 8501-1. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2017). Preparation of steel substrates before application of paints and related products—Tests for the assessment of surface cleanliness. ISO 8502-4. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). Implants for surgery—Hydroxyapatite—Part 2: Coatings of hydroxyapatite. ISO 13779-2. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2019). Paints and varnishes—Determination of film thickness. ISO 2808. Geneva: ISO.
- Rhana Rhandika, S., Fernandez, D., Muslim, & Nanda, I. (2025). Pengaruh variasi jarak penyemprotan di dalam spray booth terhadap ketebalan lapisan cat pada bodi kendaraan. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 4(1), 43-50.
- Yao, Q., & Qu, J. (2002). Interfacial versus cohesive failure on polymer-metal interfaces in electronic packaging: Effects of interface roughness. *Journal of Electronic Packaging*, 124(2), 127-134.
- Zayatzev, A., Lukianova, A., Demoretsky, D., & Alexandrova, Y. (2022). Tensile adhesion strength of atmospheric plasma sprayed MgAl₂O₄ and Al₂O₃ coatings. *Ceramics*, 5(4), 1242-1254.