

**DEPOSISI Ti, *DIAMOND LIKE CARBON*, Ag-Cu PADA PERMUKAAN
STAINLESS STEEL 316 MENGGUNAKAN METODE PECVD DAN
DC-*SPUTTERING* SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Kimia**



Oleh:

MIRA YULIARTI

08031182126021

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**DEPOSISI Ti, *DIAMOND LIKE CARBON*, Ag-Cu PADA PERMUKAAN
STAINLESS STEEL 316 MENGGUNAKAN METODE PECVD DAN
DC-SPUTTERING SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

MIRAYULIARTI

08031182126021

Indralaya, 5 Maret 2025

Pembimbing I



Dr. Muhammad Said, M.T

NIP. 197407212001121001

Pembimbing II



Wiwlen Andriyanti, S.ST., M.T

NIP. 198310072008012010

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S. Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

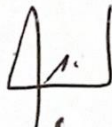
Karya tulis ilmiah berupa skripsi Mira Yulianti (08031182126021) dengan judul "Deposisi Ti, *Diamond Like Carbon*, Ag-Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-*Sputtering* sebagai Bahan Biomaterial Implan Tulang" telah diperbolehkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 4 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 5 Maret 2025

Ketua :

1. Dr. Desnelli, M.Si.

NIP. 196912251997022001

()

Anggota :

1. Dr. Mubammad Said, M.T.

NIP. 197407212001121001

()


2. Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T.

NIP. 198310072008012010

()

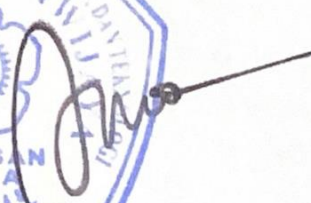
3. Dr. Eliza, M.Si.

NIP. 196407291991022001

()

Mengetahui,


Dekan FMIPA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Prof. Hermansyah, S. Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001


Ketua Jurusan Kimia
JURUSAN KIMIA
Prof. Dr. Muharni, M.Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Mira Yuliarti

NIM : 08031182126021

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 5 Maret 2025

Penulis,



Mira Yuliarti

NIM. 08031182126021

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Mira Yuliarti
NIM : 08031182126021
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalti non-eksklusif (*non exclusively royalty free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul “Deposisi Ti, *Diamond Like Carbon*, Ag-Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-*Sputtering* sebagai Bahan Biomaterial Implan Tulang”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhal menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 5 Maret 2025

Yang menyatakan,



Mira Yuliarti

NIM. 08031182126021

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Whatever you’re not changing, you’re choosing.” (Laurie Buchanan)

Hidup hanya sekali maka berusahalah untuk hidup sebaik-baiknya sebagaimana manusia diperuntukkan.

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Bapak, Ibu, dan Adik yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis disetiap kondisi.
3. Seluruh keluarga besar yang telah mensupport dan mendoakanku.
4. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Muhammad Said, M.T, dan Ibu Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T.)
5. Rekan-rekan yang terlibat dan membantu dalam penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan dan Almamater yang aku banggakan, Universitas Sriwijaya
7. Diriku sendiri

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Deposisi Ti, *Diamond Like Carbon*, Ag-Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-*Sputtering* sebagai Bahan Biomaterial Implan Tulang”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. dan Ibu Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T. yang telah memberikan banyak bimbingan, motivasi, saran, dan bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku dosen pembimbing akademik dan tugas akhir. Terima kasih banyak bapak telah memberikan ilmu, nasehat, bantuan, dan banyak membimbing penulis selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian, hingga lulus dengan waktu yang tepat. Terima kasih bapak sudah memberikan kepedulian dan perhatian untuk penulis, semoga selalu diberikan kesehatan dan kebahagiaan untuk bapak sekeluarga.
5. Ibu Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T., Bapak Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc., Ibu Karina Anggraeni, dan Ibu Anjar Anggraini selaku pembimbing penulis di BRIN Babarsari Yogyakarta. Terima kasih banyak mba dan mas atas ilmu, bantuan, dan pengalaman berharga selama di Jogja yang akan selalu dikenang penulis. Semoga mba dan mas selalu dilimpahkan suka cita dan kesehatan.

6. Ibu Dr. Desnelli, M.Si., Ibu Dr. Eliza, M.Si., Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M.Si. selaku dosen penguji seminar dan sidang yang turut andil memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi serta persiapan menuju sarjana kimia.
7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu, mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
8. Kedua orang tua, Bapak Ali Anthoni dan Ibu Yenny Karavinka yang telah memberikan segalanya, mendukung, mendoakan, dan tak kenal lelah melakukan apapun demi kelancaran dan kesuksesan sepanjang hidup penulis, terima kasih yang tak terhingga penulis ucapkan untuk kedua orang tua yang sangat luar biasa.
9. Adikku Meta Yuliarti, terima kasih selalu menghibur, mendukung dan mendoakan penulis. Semoga selalu dipermudah untuk tata dalam segala hal.
10. Teman-teman “Gataude” (Agnes Theresia, Adelia Indriani, Deviriana Ivada, dan Nur Salsabila). Terima kasih sudah menjadi teman dekat yang menghibur, membantu, dan mendukung penulis dari awal perkuliahan hingga selesai. Terima kasih geng pelawak sudah menjadi penyemangat setiap di kampus love u guys.
11. Teman-teman “Kos Zan-Mush” (Rahel Natalia, Putri Azzahra, Okta Jiwaro, dan Devi Juliana). Terima kasih sudah menjadi teman sekos yang mendukung, menghibur, dan membantu penulis selama masa kuliah, telah membuat hari-hari penulis menjadi berwarna. Terima kasih atas suka dukanya, sayang kalian semua.
12. Teman-teman BRIN Yogya (Putri Azzahra dan Salsa Bila Sukma). Terima kasih sudah menjadi teman yang saling berbagi suka duka, dan mendukung penulis selama masa penelitian di Yogyakarta. Semoga bisa ketemu lagi di Jogja guys.
13. Aditya Anandika selaku orang yang selalu membantu, mendukung, dan menghibur penulis selama perkuliahan dan menyelesaikan tugas akhir, terima kasih penyemangat terbaik.
14. Tim NIM 021, Kak Eja Trio Aji, M. Zaki, Zahra yang membantu penulis, mensupport penulis di jurusan kimia.

15. Kakak dan Adik tingkat Jurusan Kimia FMIPA yang selalu mendukung dan menjadi teman.
16. Yuk Yuniar, Yuk Nur, dan Yuk Yanti selaku Analis Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, dan kesempatan untuk magang dan belajar di LKAIP.
17. Kak In dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah membantu dalam mengurus jadwal dan proses administrasi penulis hingga lulus.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua orang dan bermanfaat untuk pengembangan kimia di masa depan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, 5 Maret 2025

Penulis



Mira Yuliarti

NIM. 08031182126021

SUMMARY

DEPOSITION OF Ti, DIAMOND LIKE CARBON, Ag-Cu ON STAINLESS STEEL 316 SURFACE USING PECVD AND DC-SPUTTERING METHODS AS BONE IMPLANT BIOMATERIALS

Mira Yuliarti: Supervised by Dr. Muhammad Said, M.Si., and Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T.

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xix + 71 Pages, 22 Figures, 6 Tables, 10 Attachments

Surgical fixation implants in orthopedic applications generally use stainless steel material. The use of stainless steel is limited in the long term because it is susceptible to stress corrosion, crack corrosion, crevice corrosion and does not have antibacterial properties. Modification of the implant surface with coating can reduce corrosion and provide antibacterial properties that can extend the lifetime of the implant. Modifications can be carried out by deposition of a thin layer of Diamond Like Carbon (DLC) material which is known to have high hardness and corrosion resistance, the addition of Ti as an interlayer layer to increase adhesion and hardness, and the bactericidal metal Ag-Cu to provide antibacterial properties to the implant biomaterial. Thin layer deposition was carried out using the PECVD and DC-Sputtering methods. The PECVD method is used to create a DLC layer using C_2H_2 gas. The DC-Sputtering method was used to make the Ag-Cu layer and Ti interlayer. Thin layer deposition in this research was carried out with 3 coating models in the form of DLC/Ag-Cu, Ti/Ag-Cu, and Ti/DLC/Ti/Ag-Cu on the surface of the stainless steel 316 substrate with the aim of improving the performance of stainless steel 316 as a bone implant biomaterial. The results of implant thin layer deposition were characterized using the Micro Vickers hardness, WCA, XRD, SEM-EDX and antibacterial test. XRD and SEM-EDX characterization shows that the deposition of Ti, DLC, Ag-Cu on the surface of stainless steel 316 has been successfully done. The DLC/Ag-Cu, Ti/Ag-Cu, and Ti/DLC/Ti/Ag-Cu were successfully deposited with thicknesses of 2.44, 1.66, and 3.13 μm , respectively. The optimum hardness test conditions obtained on the Ti/DLC/Ti/Ag-Cu sample were 198.92 VHN. The WCA test on the Ti/Ag-Cu sample provided the best hydrophobicity properties with a contact angle value of 138.15° and a surface energy of 3.95 dynes/cm. The antibacterial test results of the DLC/Ag-Cu and Ti/DLC/Ti/Ag-Cu samples formed an asymmetrical inhibition zone of $\pm 0.3 \sim 0.5$ mm.

Keywords : DLC, Ti, Ag-Cu, SS316, Deposition.

Citation : 55 (1970-2024)

RINGKASAN

DEPOSISI Ti, *DIAMOND LIKE CARBON*, Ag-Cu PADA PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE PECVD DAN DC-*SPUTTERING* SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG

Mira Yuliarti: Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.Si., dan Wiwien
Andriyanti, S.ST., M.T.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya

xix + 71 Halaman, 22 Gambar, 6 Tabel, 10 Lampiran

Implan fiksasi bedah yang digunakan dalam aplikasi ortopedi biasanya terbuat dari material *stainless steel*. Penggunaan *stainless steel* menjadi terbatas untuk jangka panjang karena sifatnya yang rentan terhadap korosi tegangan, korosi retak, korosi celah dan tidak memiliki sifat antibakteri. Modifikasi permukaan implan dengan pelapisan dapat mengurangi korosi dan memberikan sifat antibakteri yang dapat memperpanjang masa pakai implan. Modifikasi dapat dilakukan dengan deposisi lapis tipis material *Diamond Like Carbon* (DLC) yang dikenal memiliki kekerasan tinggi dan ketahanan korosi, penambahan Ti sebagai lapisan *interlayer* untuk meningkatkan adhesi dan kekerasan, serta logam bakterisida Ag-Cu untuk memberikan sifat antibakteri pada bahan biomaterial implan. Deposisi lapis tipis dilakukan menggunakan metode PECVD dan DC-*Sputtering*. Metode PECVD digunakan untuk membuat lapisan DLC menggunakan gas C₂H₂. Metode DC-*Sputtering* digunakan untuk membuat lapisan Ag-Cu dan *interlayer* Ti. Deposisi lapis tipis penelitian ini dilakukan dengan 3 model pelapisan berupa DLC/Ag-Cu, Ti/Ag-Cu, dan Ti/DLC/Ti/Ag-Cu pada permukaan substrat *stainless steel* 316 yang bertujuan meningkatkan kinerja *stainless steel* 316 sebagai bahan biomaterial implan tulang. Hasil deposisi lapis tipis implan dikarakterisasi menggunakan uji kekerasan *Micro Vickers*, uji WCA, XRD, SEM-EDX dan uji antibakteri. Karakterisasi XRD dan SEM-EDX menunjukkan bahwa deposisi Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 telah berhasil dilakukan. Hasil deposisi DLC/Ag-Cu, Ti/Ag-Cu, dan Ti/DLC/Ti/Ag-Cu berhasil dilakukan memiliki ketebalan 2,44 µm, 1,66 µm, dan 3,13 µm. Kondisi optimum uji kekerasan diperoleh pada sampel Ti/DLC/Ti/Ag-Cu sebesar 198,92 VHN, Uji WCA pada sampel Ti/Ag-Cu memberikan sifat hidrofobitas yang paling baik dengan nilai sudut kontak 138,15° dan energi permukaan 3,95 dyne/cm. Hasil uji antibakteri sampel DLC/Ag-Cu, dan Ti/DLC/Ti/Ag-Cu membentuk zona hambat yang asimetris sebesar ±0,3 ~ 0,5 mm.

Kata Kunci : DLC, Ti, Ag-Cu, SS316, Deposisi.

Sitasi : 55 (1970-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fraktur Tulang	4
2.2 Implan Tulang	4
2.3 <i>Stainless Steel 316</i>	5
2.4 <i>Diamond-Like Carbon (DLC)</i>	5
2.5 <i>Multilayer</i>	6
2.6 Titanium (Ti)	6
2.7 Perak (Ag)	7
2.8 Tembaga (Cu).....	8
2.9 <i>Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)</i>	8

2.10	<i>Direct Current Sputtering</i>	9
2.11	Karakterisasi Hasil Deposisi Permukaan	11
2.11.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.11.2	<i>Scanning Electron Microscope (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)</i>	12
2.11.3	<i>Water Contact Angle (θ)</i>	13
2.11.4	Uji Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	14
2.11.5	Uji Antibakteri	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		16
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2	Alat dan Bahan	16
3.3	Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1	Preparasi Spesimen.....	16
3.3.2	Proses Deposisi Lapisan dengan Penambahan Ti, DLC, Ag-Cu	17
3.4	Karakterisasi Hasil Deposisi Lapisan.....	18
3.4.1	Uji Kekerasan Menggunakan Metode <i>Micro Vickers</i>	18
3.4.2	Uji <i>Water Contact Angle (WCA)</i>	19
3.4.3	Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	20
3.4.4	Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)</i>	21
3.4.5	Uji Antibakteri	22
3.4.6	Analisis Data	22
3.4.6.1	Penentuan Derajat Kristalinitas	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		24
4.1	Spesimen Hasil Deposisi DLC, Ti, dan Ag-Cu pada Permukaan <i>Stainless Steel 316</i>	24
4.2	Hasil Karakterisasi Spesimen	25
4.2.1	Hasil Uji Kekerasan Menggunakan Metode <i>Micro Vickers</i> ...	25
4.2.2	Hasil Uji <i>Water Contact Angle (WCA)</i>	27
4.2.3	Hasil Karakterisasi Spesimen dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	29

4.2.4 Hasil Karakterisasi Spesimen dengan <i>Scanning Electron Microscope (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)</i>	34
4.2.5 Hasil Uji Antibakteri.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Proses PECVD (Arya, 2024).....	9
Gambar 2. Skema Proses DC- <i>Sputtering</i> (Arya, 2024).	10
Gambar 3. Mekanisme Proses DC- <i>Sputtering</i> (Sutrisno, 2014).	11
Gambar 4. Ilustrasi Pola Difraksi <i>Bragg</i> (Sumber: Britannica.com).	12
Gambar 5. Skema Komponen SEM (Inkson, 2016).....	13
Gambar 6. Sudut Kontak dan Tegangan Permukaan <i>Sessile Drop</i> (Cakir, 2022).	14
Gambar 7. Skema Uji Keras <i>Vickers</i> (Mahmoud & Hegazy, 2017).....	15
Gambar 8. Alat <i>Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition</i> (Sumber: BRIN).....	17
Gambar 9. Alat DC <i>Sputtering</i> (Sumber: BRIN)	18
Gambar 10. Alat <i>Micro Hardness Tester MMT-X7 Matsuzawa</i> (Sumber: BRIN)	19
Gambar 11. Alat Uji <i>Water Contact Angle</i> (Sumber: BRIN).	20
Gambar 12. Alat <i>X-Ray Diffractometer D8 Advance (Bruker)</i> (Sumber: BRIN) .	21
Gambar 13. Alat <i>Scanning Electron Microscope (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) Jeol JSM-IT200</i> (Sumber: BRIN).....	21
Gambar 14. (a) <i>Raw Material SS316</i> , (b) DLC terdepositasi pada SS316.	24
Gambar 15. Spesimen Hasil Deposisi pada Permukaan <i>Stainless Steel 316</i> (a) DLC/Ag-Cu, (b) Ti/Ag-Cu, (c) Ti/DLC/Ti/Ag-Cu.	25
Gambar 16. Grafik Nilai Uji Kekerasan Menggunakan Metode <i>Micro Vickers</i> (a) SS316, (b) SS316/DLC, (c) SS316/DLC/Ag-Cu, (d) SS316/Ti/Ag-Cu, (e) SS316/Ti/DLC/Ti/Ag-Cu.	26
Gambar 17. Grafik Nilai Uji <i>Water Contact Angle</i> (a) SS316, (b) SS316/DLC, (c) SS316/DLC/Ag-Cu, (d) SS316/Ti/Ag-Cu, (e) SS316/Ti/DLC/Ti/Ag-Cu.....	27
Gambar 18. Pola Difraksi Sinar-X dari Deposisi (a) DLC, (b) DLC/Ag-Cu, (c) Ti/Ag-Cu, (d) Ti/DLC/Ti/Ag-Cu pada Permukaan <i>Stainless Steel 316</i>	30
Gambar 19. Analisis <i>Le Bail Refinement XRD</i> (a) SS316/DLC/Ag-Cu, (b) SS316/Ti/Ag-Cu, dan (c) SS316/Ti/DLC/Ti/Ag-Cu.	33

Gambar 20. Morfologi SEM <i>Cross Section</i> Lapisan (a) DLC/Ag-Cu, (b) Ti/Ag- Cu, dan (c) Ti/DLC/Ti/Ag-Cu pada Permukaan <i>Stainless Steel</i> 316.	35
Gambar 21. Hasil Analisis EDX <i>Mapping Cross Section</i> (a) DLC/Ag-Cu, (b) Ti/Ag-Cu, (c) Ti/DLC/Ti/Ag/Cu pada Permukaan <i>Stainless Steel</i> 316.	36
Gambar 22. Hasil Uji Antibakteri terhadap <i>S. aureus</i> pada Sampel (a) DLC/Ag-Cu, (b) Ti/Ag-Cu, dan (c) Ti/DLC/Ti/Ag-Cu.	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Kimia Substrat <i>Stainless Steel</i> 316 (Mustafi <i>et al.</i> , 2018)	5
Tabel 2. Proses Deposisi Lapisan	17
Tabel 3. <i>Degree of Crystallinity</i> (DoC).	30
Tabel 4. Referensi Database XRD.....	32
Tabel 5. Analisis <i>Le Bail Refinement</i>	34
Tabel 6. Persentase Berat Elemen pada Sampel dari Hasil EDX.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian	49
Lampiran 2. Data Hasil Uji Kekerasan Menggunakan Metode <i>Micro Vickers</i>	52
Lampiran 3. Data Hasil Uji <i>Water Contact Angle</i>	55
Lampiran 4. Perhitungan Energi Permukaan Padatan (γ_s).....	56
Lampiran 5. Hasil Analisis XRD.....	58
Lampiran 6. <i>Scan Statistics</i> dan Perhitungan Derajat Kristalinitas.....	62
Lampiran 7. Perhitungan Rata-Rata Ketebalan Lapisan Tipis	66
Lampiran 8. Hasil Analisis SEM-EDX	67
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian	69

DAFTAR SINGKATAN

DC-Sputtering	: <i>Direct Current Sputtering</i>
DLC	: <i>Diamond-Like Carbon</i>
GoF	: <i>Goodness of Fit</i>
GPa	: <i>Gigapascal</i>
HV	: <i>Hardness Vickers</i>
IAIs	: <i>Implant Associated Infections</i>
PECVD	: <i>Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition</i>
PVD	: <i>Physical Vapor Deposition</i>
Rp	: <i>Refinement profile</i>
Rwp	: <i>Refinement weighted profile</i>
SEM-EDX	: <i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>
SS316	: <i>Stainless Steel 316</i>
VHN	: <i>Vickers Hardness Number</i>
WCA	: <i>Water Contact Angle</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Implan fiksasi bedah pada aplikasi ortopedi umumnya menggunakan *stainless steel*. *Stainless steel* dipilih karena memiliki sifat struktural, biokompatibilitas, dan keberhasilan sebagai bantalan beban dan fiksasi. *Stainless steel* rentan terhadap korosi tegangan, korosi retak, korosi celah dan tidak memiliki sifat antibakteri. Oleh karena itu, penggunaan *stainless steel* menjadi terbatas untuk jangka panjang (Walley *et al.*, 2016). Modifikasi permukaan implan dengan pelapisan dapat mengurangi keausan dan korosi serta memperpanjang masa pakai implan (Zhang *et al.*, 2020).

Diamond-Like Carbon (DLC) telah digunakan sebagai pelapis pada perangkat medis seperti *stent vaskular*, katup jantung prostetik dan prostesis sendi. Pelapis DLC memiliki kekerasan tinggi, ketahanan korosi, dan biokompatibilitas yang sangat baik (Peng *et al.*, 2022). Namun, pelapis DLC memiliki kelemahan yaitu tegangan internal yang tinggi sehingga menghasilkan kekuatan adhesi yang lemah dan ketangguhan yang buruk pada substrat. Peningkatan kekuatan adhesi dan ketangguhan DLC dapat dilakukan dengan merancang struktur bahan lapisan, seperti *multilayer*, *doping*, dan deposisi *interlayer* (Wang *et al.*, 2022). Menurut penelitian yang dilakukan Zhang *et al.*, (2020) bahwa deposisi *interlayer* umumnya menggunakan titanium, silikon nitrida, dan kromium karbida. Deposisi *interlayer* Ti memberikan daya rekat yang baik antara lapisan DLC dan substrat dengan ketebalan $\sim 135 \pm 15$ nm.

DLC memiliki sifat antimikroba dan antibiofilm untuk implan medis, namun tidak aktif untuk menanggapi peradangan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan masa pakai implan akibat peradangan parah oleh infeksi terkait implan atau *implant associated infections* (IAIs). Penambahan lapisan antibakteri dengan unsur bakterisida menjadi solusi terhadap IAIs. Perak (Ag) dan tembaga (Cu) adalah unsur bakterisida yang paling banyak dipelajari. Nanopartikel Ag-Cu menunjukkan kemampuan mikrobisida terhadap *strain* yang resisten terhadap antibiotik dibanding penggunaan Ag dan Cu secara individu. Pelapis DLC dengan penambah-

an elemen Ag-Cu berpotensi besar menjadi implan medis generasi berikutnya dengan peningkatan antibakteri (Birkett *et al.*, 2023).

Teknik deposisi lapisan dapat dibagi menjadi dua kategori besar yaitu *chemical vapor deposition* (CVD) dan *physical vapor deposition* (PVD) (Khadem *et al.*, 2017). Berdasarkan energi aktivasi yang digunakan CVD digolongkan menjadi CVD termal, CVD laser/foto, dan *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD). Pemanfaatan plasma lebih unggul karena suhu deposisi lebih rendah dibandingkan dengan metode lain (Hamedani *et al.*, 2016). Metode PVD merupakan proses pengendapan lapisan tipis dari sumber padat, yaitu target (Baptista *et al.*, 2018). Metode pelapisan PVD antara lain DC-*sputtering*, *vacuum evaporation*, *gas scattering deposition* dan *ion implantation*. Metode DC-*sputtering* lebih unggul karena kekuatan adhesi antara permukaan lapisan dengan substrat lebih kuat, ketebalan lapisan lebih mudah diamati, dan dapat dikendalikan untuk deposisi *multilayer* (Sutrisno, 2014).

Penelitian mengenai penambahan Ag-Cu pada implan Ti-6Al-4V telah dilakukan sebelumnya oleh Van Hengel *et al.*, (2020) bahwa implan yang mengandung nanopartikel Ag-Cu dengan rasio 75% Ag dan 25% Cu memiliki kekuatan antibakteri yang kuat dan dapat memberantas penular bakteri. Penelitian mengenai penambahan Ag pada DLC sebelumnya telah dilakukan oleh Jing *et al.*, (2021) yang memperoleh peningkatan ketahanan korosi, ketahanan gores, dan kekuatan adhesi yang paling baik pada konsentrasi Ag 3,2%. Penelitian serupa mengenai penambahan Cu pada DLC telah dilakukan oleh Khamseh *et al.*, (2018) bahwa konsentrasi Cu tertinggi menunjukkan performa super antikorosi. Cu *nanograin* akan memblokir adanya difusi atau masuknya senyawa korosif.

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian pelapisan pada permukaan *stainless steel* 316 untuk implan medis dengan peningkatan sifat mekanik melalui penambahan lapisan DLC dengan metode PECVD, dan Ti dengan metode DC-*Sputtering*, peningkatan antibakteri dengan penambahan lapisan Ag-Cu melalui metode DC-*Sputtering*. Metode PECVD dan DC-*Sputtering* dipilih karena kedua teknik ini memungkinkan penggunaan suhu yang lebih rendah, kekuatan adhesi yang baik, dan kontrol untuk ketebalan dan struktur *multilayer*. Karakterisasi material yang terdeposisi dilakukan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD),

Scanning Electron Microscope-Energy Despersive X-ray (SEM-EDX), uji Water Contact Angle (WCA), uji kekerasan Micro Vickers, dan uji antibakteri.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana keberhasilan deposisi dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 dengan metode PECVD dan DC-*sputtering* berdasarkan karakterisasi XRD, dan SEM-EDX?
2. Bagaimana sifat mekanik implan dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 berdasarkan uji kekerasan?
3. Bagaimana performa lapisan tipis implan dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 berdasarkan uji antibakteri, uji *water contact angle* dan energi permukaan padatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan keberhasilan deposisi dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 dengan metode PECVD dan DC-*sputtering* berdasarkan karakterisasi XRD, dan SEM-EDX.
2. Menentukan sifat mekanik implan dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 berdasarkan uji kekerasan.
3. Menentukan performa lapisan tipis implan dari penambahan Ti, DLC, Ag-Cu pada permukaan *stainless steel* 316 berdasarkan uji antibakteri, uji *water contact angle* dan energi permukaan padatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai modifikasi permukaan menggunakan Ti, *Diamond-Like Carbon*, Ag-Cu yang dapat digunakan sebagai bahan biomaterial implan tulang, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi sumber referensi deposisi permukaan implan tulang dengan desain *multilayer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alanzi, A. (2021). Medical Application of Diamond-Like Carbon (DLC) Coating-A Review. *Journal of Clinical and Medical Images*, 05(08), 1–6. <https://doi.org/10.47829/jcmi.2021.5801>
- Andriyanti, W., Arsyad, B., Ravendianto, Sujitno, T., Suprpto, & Priyantoro, D. (2018). The effect of the gas mixture ratio on 316L stainless steel biomaterial's mechanical properties and crystal structure using DC sputtering technique. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 21(1), 13–20. <http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2019.21.1.5657>
- ASTM F319. (2020). *Standard Specification for Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Sheet and Strip for Surgical Implants (UNS S31673)*. ASTM Int.
- Bakhet, S., Tamulevičienė, A., Vasiliauskas, A., Andrulevičius, M., Meškinis, S., Tamulevičius, S., Kašėtienė, N., Malakauskas, M., Lelešius, R., Zienius, D., Šalomskas, A., Šmits, K., & Tamulevičius, T. (2024). Antiviral and antibacterial efficacy of nanocomposite amorphous carbon films with copper nanoparticles. *Applied Surface Science*, 670(1). <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2024.160642>
- Baptista, A., Silva, F., Porteiro, J., Míguez, J., & Pinto, G. (2018). Sputtering Physical Vapour Deposition (PVD) Coatings: Trend Demands. *Coatings*, 8(402), 1–22. <https://doi.org/10.3390/coatings8110402>
- Benkreif, R., Zohra, F., & Csilla, B. (2021). Influence of moisture content on the contact angle and surface tension measured on birch wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(4), 907–913. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01666-6>
- Birkett, M., Zia, A. W., Devarajan, D. K., Soni, Panayiotidis, M. I., Joyce, T. J., Tambuwala, M. M., & Serrano-Aroca, Á. (2023). Multi-functional bioactive silver- and copper-doped diamond-like carbon coatings for medical implants. *Acta Biomaterialia*, 167(1), 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.06.037>
- Bouabibsa, I., Lamri, S., Alhoussein, A., Minea, T., & Sanchette, F. (2018). Plasma investigations and deposition of Me-DLC (Me = Al, Ti or Nb) obtained by a magnetron sputtering-RFPECVD hybrid process. *Surface and Coatings Technology*, 354(July), 351–359. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.09.033>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Cakir, M. F. (2022). An inexpensive contact angle measurement system. *Revista Mexicana de Física*, 68(2), 1–8. <https://doi.org/10.31349/RevMexFis.68.021001>
- Fabiani, V. A., Silvia, D., Liyana, D., & Akbar, H. (2019). Sintesis Nanopartikel

- Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Pucuk Idat (*Cratogeomachra glaucum*) melalui Iradiasi Microwave serta Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(2), 96–101.
- Fentahun, D. A., Tyagi, A., Singh, S., Sinha, P., Mishra, A., Danayak, S., Kumar, R., & Kar, K. K. (2021). Tunable optical and electrical properties of p-type Cu₂O thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(8), 11158–11172. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05781-1>
- Fitriani, C. Y., & Wibawa, A. (2019). Biokompatibilitas Material Titanium Implan Gigi. *Insisiva Dental Journal: Majalah Kedokteran Gigi Insisiva*, 8(2), 53–58. <https://doi.org/10.18196/di.8208>
- Fujii, Y., Nakatani, T., Ousaka, D., Oozawa, S., & Sasai, Y. (2024). Development of Antimicrobial Surfaces Using Diamond-like Carbon or Diamond-like Carbon-Based Coatings. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(8593), 1–14.
- Gu, H., Wang, C., Gong, S., Mei, Y., Li, H., & Ma, W. (2016). Investigation on contact angle measurement methods and wettability transition of porous surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 292, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.014>
- Hamedani, Y., Macha, P., Bunning, T. J., Naik, R. R., & Vasudev, M. C. (2016). *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition: Where we are and the Outlook for the Future*. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/64654>
- Haneef, M., Evaristo, M., Morina, A., Yang, L., & Trindade, B. (2024). New nanoscale multilayer magnetron sputtered Ti-DLC/DLC coatings with improved mechanical properties. *Surface and Coatings Technology*, 480(June 2023), 130595. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130595>
- Husain, T., & Herlinda. (2022). Penentuan Sifat Hidrofobik Dan Hidrofilik Bahan Dengan Metode Sudut Kontak. *JSAI (Journal Scientific and Applied Informatics)*, 5(3), 257–265. <https://doi.org/10.36085/jsai.v5i3.3824>
- Inkson, B. J. (2016). *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>
- Jing, P. P., Ma, D. L., Gong, Y. L., Luo, X. Y., Zhang, Y., Weng, Y. J., & Leng, Y. X. (2021). Influence of Ag doping on the microstructure, mechanical properties, and adhesion stability of diamond-like carbon films. *Surface and Coatings Technology*, 405(1), 126542. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126542>
- Kaelble, D. H. (1970). Dispersion-Polar Surface Tension Properties of Organic Solids. *The Journal of Adhesion*, 2(2), 66–81.
- Khadem, M., Penkov, O. V., Yang, H. K., & Kim, D. E. (2017). Tribology of multilayer coatings for wear reduction: A review. *Friction*, 5(3), 248–262. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0181-7>
- Khamseh, S., Alibakhshi, E., Mahdavian, M., Saeb, M. R., Vahabi, H., Kokanyan, N., & Laheurte, P. (2018). Magnetron-sputtered copper/diamond-like

- composite thin films with super anti-corrosion properties. *Surface and Coatings Technology*, 333(1), 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.11.012>
- Khan, M. S., & Sasikumar, C. (2024). Diamond-like carbon/Cu composite films on stainless steel: synthesis and investigation of heat transfer properties. *Journal of Nanoparticle Research*, 26(3), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11051-024-05964-x>
- Kim, T., See, C. W., Li, X., & Zhu, D. (2020). Orthopedic implants and devices for bone fractures and defects: Past, present and perspective. *Engineered Regeneration*, 1(1), 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.05.003>
- Lee, N. R., Jun, Y. S., Moon, K. Il, & Lee, C. S. (2017). Ti-doped hydrogenated diamond like carbon coating deposited by hybrid physical vapor deposition and plasma enhanced chemical vapor deposition vapor deposition and plasma enhanced chemical vapor deposition. *Japanese Journal of Applied Physics*, 56(035506), 1–7. <https://doi.org/10.7567/JJAP.56.035506>
- Lestari, A. S., & Sartika, D. (2018). Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Teknologi Technoscintia*, 11(1), 7–10. <https://doi.org/10.34151/technoscintia.v11i1.109>
- Liu, M., Gong, W., Zheng, R., Li, J., Zhang, Z., Gao, S., Ma, C., & Tsuji, N. (2022). Achieving excellent mechanical properties in type 316 stainless steel by tailoring grain size in homogeneously recovered or recrystallized nanostructures. *Acta Materialia*, 226, 117629. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117629>
- Lumuan, A., Yulianti, S., & Tahir, S. (2024). Implementasi Pemberian Relaksasi Benson untuk Mengurangi Nyeri pada Pasien Post Operasi Fraktur di RSUD Undata Provinsi Sulawesi Tengah Implementation of Benson Relaxation to Reduce Pain in Post-Operational Fracture Patients at Undata Hospital , Central S. *JuRNAL Kolaboratif Sains*, 7(5), 1682–1688. <https://doi.org/10.56338/jks.v7i5.4376>
- Mahmoud, G. M., & Hegazy, R. S. (2017). Comparison of GUM and Monte Carlo methods for the uncertainty estimation in hardness measurements. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 14(8), 1–9. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2017014>
- Mahne, N., Čekada, M., & Panjan, M. (2022). Total and Differential Sputtering Yields Explored by SRIM Simulations. *Coatings*, 12(10), 1–32. <https://doi.org/10.3390/coatings12101541>
- Malisz, K., Zurek, B. Swieczko-, & Sionkowska, A. (2023). Preparation and Characterization of Diamond-like Carbon Coatings for Biomedical Applications — A Review. *Materials*, 16(3420), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ma16093420>
- Mirgal, N., & Ibrahim, M. M. (2016). Titanium : Metal of 21 st Century entury. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 3(7), 1–4.

- Mohaghehpour, E., Larijani, M. M., Rajabi, M., & Gholamipour, R. (2021). Effect of Silver Clusters Deposition on Wettability and Optical Properties of Diamond-like Carbon Films. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 34(3), 706–713. <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.03c.15>
- Moore, P., & Booth, G. (2014). *The Welding Engineer's Guide to Fracture and Fatigue*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1533/9781782423911.2.113>
- Mukminin, A. (2019). Analisis Komposisi Fasa dan Parameter Unit Sel Kristal Hasil Kalsinasi Suhu Tinggi Abu Cangkang (Paguroidea) dengan Metode Rietveld. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 5(1), 1–5. <https://doi.org/10.32487/jst.v5i1.635>
- Mustafi, L., Rahman, M. M., Nur, M., Al, E. A., Chowdhury, M. A., & Monir, M. H. (2018). Deposition behavior and tribological properties of diamond-like carbon coatings on stainless steels via chemical vapor deposition. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 25(11), 1335–1343. <https://doi.org/10.1007/s12613-018-1687-3>
- Nurul, A., Setiawan, I., Yusa, D., Trisna, D., Halisa, N., Putri, O., Ekawati, O., Umi, Y., & Fanya, Z. (2023). Tinjauan Artikel: Uji Mikrobiologi. *Farmasi, Vol. 12(2)*, 31–36. <https://doi.org/10.37013/jf.v12i2.237>
- Park, J. Y., Lee, S., Kim, Y., & Ryu, Y. B. (2024). Antimicrobial Activity of Morphology-Controlled Cu₂O Nanoparticles: Oxidation Stability under Humid and Thermal Conditions. *Materials*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ma17010261>
- Peng, Y., Peng, J., Wang, Z., Xiao, Y., & Qiu, X. (2022). Diamond-like Carbon Coatings in the Biomedical Field: *Coatings*, 12(1088), 1–18. <https://doi.org/10.3390/coatings12081088>
- Ramezani, M., & Ripin, Z. M. (2023). An Overview of Enhancing the Performance of Medical Implants with Nanocomposites. *Journal of Composites Science*, 7(5), 1–24. <https://doi.org/10.3390/jcs7050199>
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>
- Seko, M. H., Sabuna, A. C., & Ngginak, J. (2021). Ekstrak Etanol Daun Ajeran Sebagai Antibakteri terhadap Staphylococcus Aureus. *JBIO: Jurnal Biosains*, 7(3), 121–126. <https://doi.org/10.24114/jbio.v5i2.13984%0AISSN>
- Sihotang, S., Sitorus, A. L., & Nugraha, A. W. (2023). The Analysis of Current Strength and Electrolysis Process Time of Silver (Ag) Plating on Copper Metal. *Formosa Journal of Science and Technology*, 2(6), 1577–1588. <https://doi.org/10.55927/fjst.v2i6.4419>
- Sujiono, E. H., Zharvan, V., Poetra, S. A., Muchtar, M., Idris, A. M., & Dahlan, M. Y. (2021). Structure identification of Nd_{1-x}YbxFeO₃ (x = 0.01, 0.05 and 0.10) using Rietveld refinement method. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3381–

3384. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.850>

- Sutrisno. (2014). Penggunaan metode sputtering untuk perlindungan terhadap logam. *Jurnal Foundry*, 4(1), 29–33.
- Utami, M. R., Nurfadhila, L., Iskandar, P. M., & Maharani, S. A. (2022). Studi Literatur: Identifikasi Cemaran Tembaga Cu pada Makanan dan Minuman. *PharmaCine*, 3(2), 111–122.
- Van Hengel, I. A. J., Tierolf, M. W. A. M., Valerio, V. P. M., Minneboo, M., Fluit, A. C., Fratila-Apachitei, L. E., Apachitei, I., & Zadpoor, A. A. (2020). Self-defending additively manufactured bone implants bearing silver and copper nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(8), 1589–1602. <https://doi.org/10.1039/c9tb02434d>
- Wahab, N., Amin, I. I., & Prasetya, D. (2024). Analisis Kadar Au, Ag, Pb, Zn Dalam Sampel Tanah Dengan Metode Atomic Absorption Spectroscopy Analysis of Au, Ag, Pb, Zn Levels in Soil Samples Using the Atomic Absorption Spectroscopy Method. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 4(1), 24–32. <https://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JST>
- Walley, K. C., Bajraliu, M., Gonzalez, T., & Nazarian, A. (2016). The Chronicle of a Stainless Steel Orthopaedic Implant. *The Orthopaedic Journal at Harvard Medical School*, 17(1), 68–74.
- Wang, H., Wang, L., & Wang, X. (2021). Structure characterization and antibacterial properties of Ag-DLC films fabricated by dual-targets HiPIMS. *Surface and Coatings Technology*, 410(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126967>
- Wang, L., Liu, Y., Chen, H., & Wang, M. (2022). Modification Methods of Diamond Like Carbon Coating and the Performance in Machining Applications: A Review. *Coatings*, 12(224), 1–30. <https://doi.org/10.3390/coatings12020224>
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. . (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(1), 33–39.
- Wu, A. M., Bisignano, C., James, S. L., Abady, G. G., Abedi, A., Abu-Gharbieh, E., Alhassan, R. K., Alipour, V., Arabloo, J., Asaad, M., Asmare, W. N., Awedew, A. F., Banach, M., Banerjee, S. K., Bijani, A., Birhanu, T. T. M., Bolla, S. R., Cámera, L. A., Chang, J. C., ... Vos, T. (2021). Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Healthy Longevity*, 2(9), e580–e592. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(21\)00172-0](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(21)00172-0)
- Wu, H., Dave, F., Mokhtari, M., Ali, M. M., Sherlock, R., McIlhagger, A., Tormey, D., & McFadden, S. (2022). On the Application of Vickers Micro Hardness Testing to Isotactic Polypropylene. *Polymers*, 14(9), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym14091804>

Zhang, M., Xie, T., Qian, X., Zhu, Y., & Liu, X. (2020). Mechanical properties and biocompatibility of Ti-doped diamond-like carbon films. *ACS Omega*, 5(36), 22772–22777. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01715>