

**PENGARUH VARIASI LAPISAN TIPIS DLC, Ti DAN Ag PADA
PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE
PECVD DAN DC-*SPUTTERING* SEBAGAI BIOMATERIAL IMPLAN
TULANG**

SKRIPSI

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



Salsa Bila Sukma

08031282126028

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI LAPISAN TIPIS DLC, TI DAN Ag PADA
PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE
PECVD DAN DC-SPUTTERING UNTUK BIOMATERIAL IMPLAN
TULANG**

SKRIPSI

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

Oleh:

SALSA BILA SUKMA

08031282126028

Indrataya, 12 Maret 2025

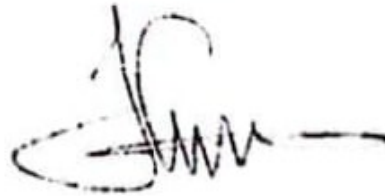
Pembimbing I



Dr. Muhammad Said, M.T

NIP. 197407212001121001

Pembimbing II



Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc

NIP. 199103172015031001

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

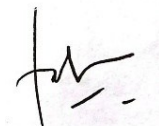
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi dari Salsa Bila Sukma (08031282126028) dengan judul "Pengaruh Variasi Lapisan Tipis DLC, Ti dan Ag pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-Sputtering sebagai Biomaterial Implan Tulang" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 12 Maret 2025


Ketua :


1. **Dr. Fatma, M.Si**
NIP. 196207131991022001

()

Anggota :

1. **Dr. Muhammad Sald, M.T**
NIP. 197407212001121001
2. **Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc**
NIP. 199103172015031001
2. **Dr. Eng. Bijak Riyandi Ahadito, M.Si**
NIP.199401162022031009

()

()

()

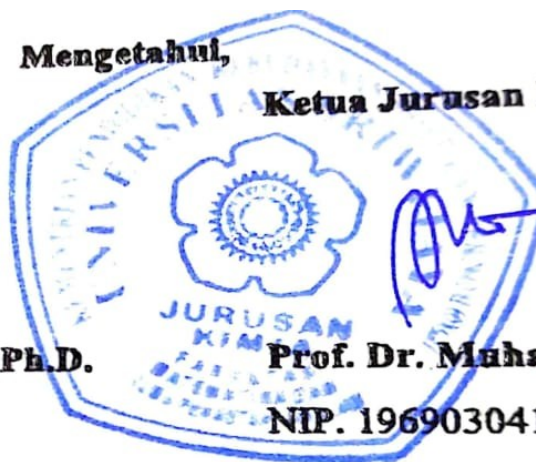
Dekan FMIFA

Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197111191997021001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia

Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Salsa Bila Sukma

NIM : 08031282126028

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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 dengan benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 12 Februari 2025

Penulis,



Salsa Bila Sukma

NIM. 08031282126028

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

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

Nama Mahasiswa : Salsa Bila Sukma
NIM : 08031282126028
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 : "Pengaruh Variasi Lapisan Tipis DLC, Ti dan Ag pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-*Sputtering* sebagai Biomaterial Implan Tulang". Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak 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/pemcipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 12 Maret 2025

Yang menyatakan,



Salsa Bila Sukma

NIM. 08031282126028

HALAMAN PERSEMBAHAN

QS. Al-Baqarah: 152

”Maka ingatlah kepadaku, akupun akan mengingatmu”

-

Hindia (Baskara Putra)

”Hadapi semuanya langsung di muka, apapun yang terjadi tidak apa, setiap hari ku bersyukur melihatmu berselimut harapan, berbekal cerita”

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

- 1. Allah SWT**
- 2. Nabi Muhammad SAW**
- 3. Kedua orang tuaku yang senantiasa mendoakanku setiap hari di manapun anakmu berada.**
- 4. Dosen Pembimbing (Dr. Muhammad Said, M.T dan Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc).**
- 5. Keluarga besar dan semua orang yang mendengarkan, memotivasiku selama masa perkuliahan.**
- 6. Teman-teman yang terlibat dan membantuku selama masa perkuliahan.**
- 7. Almamaterku Universitas Sriwijaya.**
- 8. Diriku sendiri.**

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT dan baginda Nabi Muhammad SAW yang tak henti-hentinya memberikan syafaat, kesabaran, kekuatan, pertolongan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: "Pengaruh Variasi Lapisan Tipis DLC, Ti dan Ag pada Permukaan *Stainless Steel* 316 Menggunakan Metode PECVD dan DC-*Sputtering* sebagai 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.

Perjalanan dari penyusunan skripsi ini banyak melalui proses yang tidak mudah. Penulis menyadari bahwa semua dari perjalanan ini tidak akan berjalan maksimal tanpa bantuan dari berbagai pihak baik itu material maupun moril, dan skripsi ini terselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Muhammad Said, M.T dan Bapak Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc selaku pembimbing. Selain itu penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

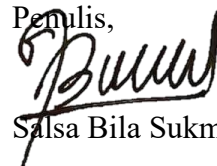
1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Muharni, M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si selaku dosen pembahas seminar kemajuan.
5. Ibu Dra. Fatma, M.Si dan Bapak Dr. Eng. Bijak Riyandi Ahadito, M.Si selaku dosen pembahas seminar hasil dan penguji sidang sarjana.
6. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang sangat membantu dan memberikan kesempatan untuk bisa melaksanakan tugas akhir di BRIN.
7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan mendidik selama masa perkuliahan.

8. Kak iin dan mba novi selaku admin jurusan yang membantu dan memberikan pelayanan administrasi penulis selama perkuliahan hingga dapat menyelesaikan studinya.
9. Bapak Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Si. dan civitas BRIN yang telah membantu dan menghibur dari awal hingga berakhirnya tugas akhir.
10. Ayah, Mama dan adik, terima kasih atas setiap doa yang melangit setiap harinya untuk kesuksesan anakmu, skripsi ini sebagai hadiah kecil yang akan melahirkan hadiah-hadiah besar setelahnya.
11. Info qosidah (Aghni, Kya, Riyanti, Via, dan Vina) yang membantu dan membuat suasana perkuliahan terasa ringan selama dari awal perkuliahan.
12. Ucup Bersaudara (Aghni, Ara, Via dan Vina) yang selalu memiliki cerita-cerita menarik yang membuat penulis terhibur .
13. Tim Low Pressure Plasma BRIN Yogyakarta (Mira dan Putri) yang selalu bersama, selalu menyemangati, dan selalu punya cara untuk menghibur penulis selama masa penelitian.
14. Kepada pemilik NIM 08031382126087. Terimakasih untuk selalu menemani, mendengarkan, menghibur, dan menjadi bagian yang memberikan banyak hal-hal yang bisa penulis pelajari dari awal perkuliahan hingga selesai.
15. Seluruh pihak yang terlibat dan tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas doa dan dukunganya untuk penulis.
16. *Last but not least, i wanna thank me, i wanna thank me for believing me in me, i wanna thank me for doing all this hard hork, i wanna thank me for having no days off, i wanna thank me for never quitting, i wanna thank me for being a giver dan trying give more than i receive, i wanna thank me for trying to do more right than wrong, i wanna thank me for just being me at all time.*

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk masa yang akan datang.

Indralaya, 12 Maret 2025

Penulis,



Salsa Bila Sukma

NIM. 08031282126028

SUMMARY

THE EFFECT OF THIN FILM VARIATIONS OF DLC, TI, AND AG ON STAINLESS STEEL 316 SURFACE USING PECVD AND DC-SPUTTERING METHODS AS BIOMATERIAL FOR BONE IMPLANTS

Salsa Bila Sukma: Supervised by Dr. Muhammad Said, M.Si., dan Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc.

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

x + 59 pages, 17 pictures, 3 tables, 10 attachments

This study analyzes the effect of DLC, Ti, and Ag coating variations on stainless steel 316 using PECVD and DC-sputtering methods for bone implant biomaterial applications. The variations include DLC/Ag, Ti/Ag, and DLC/Ti/Ag. Characterization results indicate that the coating variations influence the material's hardness, hydrophobicity, crystallinity, and antibacterial activity.

Hardness testing shows that the addition of DLC increases material hardness, while the addition of Ag decreases it. The hardness value approaching the ASTM F318 standard was obtained in the SS/DLC/Ag variation, measuring 197.44 VHN. Water contact angle (WCA) measurements indicate that the DLC/Ti/Ag variation has the highest water contact angle at 123.53°, signifying excellent hydrophobic properties to enhance corrosion resistance. XRD characterization reveals that the DLC/Ti/Ag variation exhibits the highest crystallinity at 58.64%, indicating the best structural order among all variations. SEM-EDX analysis shows that the DLC/Ti/Ag variation has the greatest coating thickness of 4.21 µm, with the highest Ag content of 78.97%, contributing to its antibacterial activity. Antibacterial testing demonstrates that the DLC/Ti/Ag variation exhibits the largest inhibition zone against *Staphylococcus aureus*, measuring 15.2 mm, confirming its effectiveness as an antibacterial material.

Based on all characterization results, the DLC/Ti/Ag variation is selected as the best outcome as it provides an optimal combination of hardness, crystallinity, corrosion resistance, and antibacterial effectiveness, making it a promising candidate for bone implant biomaterial applications.

Keyword : Stainless steel 316, DLC, Ti, Ag, Deposition

Citation : 44 (2014-2024)

RINGKASAN

**PENGARUH VARIASI LAPISAN TIPIS DLC, Ti DAN Ag PADA
PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE
PECVD DAN DC-*SPUTTERING* SEBAGAI BIOMATERIAL IMPLAN
TULANG**

Salsa Bila Sukma: Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.Si., dan Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc.

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

x + 59 halaman, 17 gambar, 3 tabel, 10 lampiran.

Penelitian ini menunjukkan pengaruh variasi pelapisan DLC, Ti, dan Ag pada *stainless steel* 316 menggunakan metode PECVD dan DC-*sputtering* untuk aplikasi biomaterial implan tulang. Variasi meliputi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa variasi pelapisan berpengaruh terhadap kekerasan, hidrofobisitas, kristalinitas, dan aktivitas antibakteri material.

Uji kekerasan menunjukkan bahwa penambahan DLC meningkatkan kekerasan material, sementara penambahan Ag menurunkannya. Nilai kekerasan mendekati standar ASTM F318, nilai ini diperoleh pada variasi SS/DLC/Ag sebesar 197,44 VHN. Pengukuran *water contact angle* (WCA) menunjukkan bahwa variasi DLC/Ti/Ag memiliki sudut kontak air tertinggi yaitu 123,53°, nilai ini menandakan sifat hidrofobik yang baik untuk meningkatkan ketahanan korosi. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa variasi DLC/Ti/Ag memiliki kristalinitas tertinggi sebesar 58,64% dan memberikan keteraturan struktur paling baik di antara variasi lainnya. Hasil SEM-EDX menunjukkan bahwa variasi DLC/Ti/Ag memiliki ketebalan lapisan tertinggi sebesar 4,21 µm dengan kandungan Ag tertinggi sebesar 78,97%, yang berkontribusi terhadap aktivitas antibakteri. Uji antibakteri menunjukkan bahwa variasi DLC/Ti/Ag memiliki zona hambat terbesar terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* yaitu 15,2 mm, hal ini menegaskan efektivitasnya sebagai material antibakteri.

Berdasarkan seluruh hasil karakterisasi, variasi DLC/Ti/Ag dipilih sebagai hasil terbaik karena memberikan kombinasi optimal antara kekerasan, kristalinitas, ketahanan korosi, dan efektivitas antibakteri, sehingga memiliki potensi yang baik untuk aplikasi biomaterial implan tulang.

Kata kunci : Stainless steel 316, DLC, Ti, Ag, Deposisi

Kutipan : 44 (2014-2024)

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	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Implantasi	5
2.2 <i>Stainless Steel</i> 316 (SS316).....	6
2.3 <i>Diamond-Like Carbon</i> (DLC)	6
2.4 Modifikasi Permukaan.....	7
2.4.1 Deposisi Uap Kimia (Chemical Vapor Deposition/CVD)	7
2.4.2 Deposisi Uap Fisika (Physical Vapor Deposition/PVD).....	8
2.5 Perak (Ag)	10
2.6 Titanium (Ti)	11
2.7 Uji Kekerasan	11
2.8 Uji <i>Water Contact Angle</i> (WCA).....	12
2.9 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	13

2.10 Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)	15
2.11 Uji Antibakteri	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Penelitian	17
3.3.1 Preparasi Spesimen	17
3.3.2 Proses pembentukan variasi lapisan Ag, Ti dan DLC	18
3.3.3 Pengujian dan Karakterisasi Hasil Proses	20
3.3.3.1 Pengujian Kekerasan	20
3.3.3.2 Pengujian Sudut Kontak Air (WCA)	20
3.3.3.3 Karakterisasi Menggunakan XRD	21
3.3.3.4 Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX	22
3.3.3.5 Pengujian Antibakteri	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Pelapisan DLC, Ag dan Ti pada <i>Stainless Steel</i>	24
4.2 Hasil Pengujian dan Karakterisasi	25
4.2.1 Pengujian Kekerasan dengan Hardness Vickers Test	25
4.2.2 Pengukuran Sudut Kontak Air (WCA)	26
4.2.3 Karakterisasi Spesimen dengan XRD	28
4.2.4 Karakterisasi Spesimen dengan SEM-EDX	31
4.2.5 Pengujian Antibakteri	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema proses PECVD (Arya, 2024).	8
Gambar 2. Skema Proses DC-Sputtering (Arya, 2024).....	9
Gambar 3. Mekanisme Proses DC-sputtering (Sutrisno, 2014).	10
Gambar 4. Sudut Kontak Permukaan (Rohaeti, 2017)	13
Gambar 5. Difraksi sinar-X pada bidang nanokristal (Mursal, 2018).	14
Gambar 6. (a). DC-sputtering (b). PECVD (Sumber: BRIN).	19
Gambar 7. Micro Hardness tester MMT-X7 Matsuzawa (Sumber: BRIN).....	20
Gambar 8. Water Contact Angle (Sumber: BRIN).	21
Gambar 9. X-Ray Diffraction (Sumber: BRIN).	22
Gambar 10. SEM-EDX (Sumber: BRIN).....	22
Gambar 11. (a) Raw Material (Stainless steel) (b)SS/DLC (c) SS/DLC/Ag.....	24
Gambar 12. Grafik Uji Kekerasan	25
Gambar 13. Grafik Water Contact Angle.....	27
Gambar 14. Peak Profiling XRD (a)SS316/DLC (b)SS316/DLC/Ag.....	29
Gambar 15. Analisis Le Bail (a) SS316/DLC/Ag (b) SS316/Ti/Ag dan (c) SS316/DLC/Ti/Ag	30
Gambar 16. Hasil SEM variasi spesimen (a) DLC/Ag (b) Ti/Ag dan (c) DLC/Ti/Ag	31
Gambar 17. Zona Hambat pada spesimen (a) Ti/Ag (b) DLC/Ti/Ag	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Kimia Substrat SS316 (Mustafi <i>et al.</i> , 2018).....	6
Tabel 2. Analisis Le Bail	30
Tabel 3. Persentase elemen yang terdapat dalam DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag dari karakterisasi menggunakan SEM-EDX	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir	41
Lampiran 2. Skema Deposisi.....	43
Lampiran 3. Hasil Pengujian Kekerasan	44
Lampiran 4. Nilai Rata-rata WCA	45
Lampiran 5. Hasil Analisis XRD variasi pada <i>stainless steel</i> 316	46
Lampiran 6. Hasil Analisis Le Bail	48
Lampiran 7. Hasil Uji Water Contact Angle	50
Lampiran 8. Hasil Uji Kekerasan Micro Vicker.....	53
Lampiran 9. <i>Elemental Mapping</i>	54
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian	58

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biomaterial merupakan sebuah bahan murni, paduan, atau campuran yang diperoleh dari alam atau buatan yang bertujuan untuk pengaplikasian sistem biologi. Biomaterial berfungsi untuk memperbaiki (*to repair*), mengganti (*to replace*), mendukung (*to support*), dan mengembalikan (*to restore*) organ atau bagian tubuh manusia. Biomaterial yang akan digunakan harus memiliki biokompabilitas yang baik. Biokompabilitas merupakan parameter kemampuan sebuah material agar dapat digunakan sebagai implan pada makhluk hidup yang dapat memberikan respon spesifik sesuai tujuan implantasinya (Saputra *et al.*, 2022).

Pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20, ahli bedah Amerika, M. S. Petersen membuat cetakan artroplasti pertama untuk implan panggul berbahan *stainless steel*. Perkembangannya saat ini, material tersebut masih digunakan sebagai bahan implantasi, seperti *stainless steel* 316L (SS316L) (Hassan dkk, 2023). Jenis *stainless steel* ini merupakan baja yang memiliki sifat antikorosi dan kinerja yang sangat baik dengan biaya yang relatif murah (Lou *et al.*, 2022). *Stainless steel* merupakan salah satu jenis logam yang dapat diaplikasikan dalam bidang medis. Akan tetapi, penggunaan *stainless steel* saja tanpa penanganan yang tepat dapat menyebabkan efek merugikan akibat kandungan unsur rawan korosi yang dapat bereaksi saat diimplantasikan ke dalam tubuh (Sutowo dkk, 2014).

Stainless steel mengandung beberapa unsur-unsur di antaranya berupa besi (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co), dan molibdenum (Mo) yang apabila ion logam ini berlebihan di dalam tubuh akan merugikan kesehatan akibat terjadinya korosi, pertumbuhan bakteri, biokompabilitas yang rendah, dan umur implan yang singkat (Tiwari & Mishra, 2018). Selain itu, tubuh memiliki cairan elektrolit berupa ion-ion klorida yang memicu terjadinya korosi, akibatnya menimbulkan resiko korosi lokal (*pitting*) dan penurunan umur implan (Wang *et al.*, 2019). Bociaga *et al.* (2015), menjelaskan bahwa pembentukan koloni bakteri pada permukaan logam implan medis saat ini masih menjadi masalah yang serius. Salah satu solusi yang

dapat dilakukan adalah dengan *surface modification* untuk meningkatkan sifat material sehingga cocok untuk penggunaan medis.

Modifikasi permukaan (*surface modification*) adalah sebuah perlakuan yang dilakukan pada material untuk meningkatkan kemampuan sifat fisis dan mekanis dibandingkan material dasarnya saja (Januś, 2018). Salah satu metode *surface modification* yang paling umum digunakan adalah pelapisan dengan *diamond-like carbon* (DLC). Material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik dan tribologinya yang unggul dan biokompabilitas yang tinggi serta ketahanan terhadap koloni bakteri. Sifat tersebut membuat pelapis DLC menjadi paling relevan untuk aplikasi biomedis. Pelapisan material implan dapat dilakukan melalui dua cara yaitu deposisi uap kimia atau yang dikenal sebagai *chemical vapor deposition* (CVD) dan deposisi uap fisika atau yang dikenal dengan *physical vapor deposition* (PVD) (Mustafi *et al.*, 2018).

Salah satu pengembangan metode CVD yang terkenal adalah *plasma enhanced chemical vapor deposition* (PECVD). Metode ini memanfaatkan plasma untuk terbentuknya deposisi lapisan tipis dalam fase gas. Keuntungan metode ini selain dapat menggunakan suhu yang relatif rendah juga ramah lingkungan. Salah satu metode PVD yang terkenal adalah *sputtering*. Metode ini memanfaatkan gas argon yang menumbuk target material sehingga atom yang terlepas membentuk lapisan tipis pada material yang akan dilapisi (substrat) (Wang *et al.*, 2023). Baik metode PECVD dan *sputtering* masih memiliki kelemahan berupa biaya yang relatif mahal, adanya gas beracun, dan dikhawatirkan meledak dalam aliran plasma. Penggunaan logam yang dapat mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan sifat antimikroba menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas material. Beberapa logam yang umum digunakan antara lain Ag dan Ti (Hamedani *et al.*, 2016).

Penggunaan logam Ag dan Ti pada pelapisan DLC menghasilkan pelapis yang lebih baik. Hal ini disebabkan DLC memiliki tegangan internal yang relatif besar dan kekuatan ikatan yang rendah pada substrat (Zhang *et al.*, 2019). Logam Ag dikenal memiliki sifat antibakterial yang cukup terkenal pada pelapis logam. Sementara itu Ti berfungsi meningkatkan kekuatan adhesi lapisan, meningkatkan ketahanan korosi dan mengurangi tegangan internal, serta sifat mekanik yang lebih baik seperti kekerasan dan ketangguhan (Lou *et al.*, 2022). Menurut Zhang *et al.*

(2020), dengan penambahan Ti pada DLC akan mengurangi modulus elastisitas akibat tegangan internal yang diberikan DLC, sehingga modulus elastisitasnya akan mendekati tulang dan mengurangi resiko kelebihan beban dan kerusakan tulang. Ag juga memberikan peranan yang sama yaitu dapat mengurangi tegangan internal dari DLC (Ghadai *et al.*, 2024). Penambahan logam Ag dan Ti ini akan menjadikan pelapis material yang baik untuk biomaterial implan tulang akibat dari sifat antibakteri dan sifat adhesinya.

Pada beberapa penelitian sebelumnya, hanya digunakan salah satu logam yang terdeposisi pada permukaan *stainless steel*, sementara pada penelitian ini akan dicoba variasi penggunaan DLC, Ti dan Ag dan dilihat bagaimana pengaruh pelapisannya pada *stainless steel*. Selanjutnya sampel dikarakterisasi menggunakan instrumen uji kekerasan Micro Vickers untuk mengetahui kekerasan masing-masing spesimen, *water contact angle* (WCA) untuk mengetahui sifat kebasahan spesimen, *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui unsur-unsur yang terdeposisi dan keteraturan spesimen, *scanning electron microscope energy dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui ketebalan deposisi dan perbandingan komposisi spesimen dan uji antibakteri untuk mengetahui kekuatan unsur Ag pada spesimen.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana preparasi deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 menggunakan metode PECVD dan DC-*sputtering*?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 terhadap sifat mekanis lapisan untuk implan dengan mengkaraktisasinya menggunakan instrumen uji kekerasan Micro Vickers, WCA, XRD dan SEM-EDX?
3. Bagaimana pengaruh perlakuan deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 terhadap kekuatan antibakteri untuk implan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan proses perlakuan deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 menggunakan metode PECVD dan DC-*sputtering*.

2. Menentukan pengaruh perlakuan deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 terhadap sifat mekanis lapisan untuk implan dengan mengkaraktisasinya menggunakan instrumen uji kekerasan Micro Vickers, WCA, XRD dan SEM-EDX
3. Menentukan pengaruh perlakuan deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag pada *stainless steel* 316 terhadap kekuatan antibakteri untuk implan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui cara preparasi deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag untuk implan tulang menggunakan metode PECVD dan DC-*sputtering*.
2. Dapat mengelola dan menghasilkan data dari hasil uji menggunakan instrumen uji kekerasan Micro Vickers, WCA, XRD dan SEM-EDX
3. Memberikan informasi penelitian terbaru mengenai pengaruh variasi deposisi DLC/Ag, Ti/Ag dan DLC/Ti/Ag.

DAFTAR PUSTAKA

- Bimariga, K., Noerochiem, L., & Nurdiansah, H. (2019). Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Ketahanan Korosi Hasil Elektroplating Nikel-Hard Chromium pada Baja AISI 4340. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), 12–16.
- Bociaga, D., Komorowski, P., Batory, D., Szymanski, W., Olejnik, A., Jastrzebski, K., & Jakubowski, W. (2015). Silver-doped nanocomposite carbon coatings (Ag-DLC) for biomedical applications - Physiochemical and biological evaluation. *Applied Surface Science*, 355(1), 388–397. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.07.117>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray 2018*Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Fachrully Septiano, A., & Erna Setyaningsih, N. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). In *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences* (Vol. 44, Issue 2). <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Ferdiansyah., Waskita, H. C., Utomo, D. N., Suroto, H., & Martanto, T. W. (2019). Uji Biokompabilitas pada Implan Orthopedi Antara Implan Impor, Implan Lokal dari Material Impor, dan Prototipe Stainless Steel 316L dari Material Lokal. *Qanun Medika*, 3(1), 7-13.
- 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>
- Ghadai, R. K., Shanmugasundar, G., Vanitha, M., Čep, R., Das, S., & Swain, B. P. (2024). Investigation of mechanical properties of silver-doped diamond-like carbon coating by varying deposition temperature. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 10(February), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1354903>
- Granek, A., Monika, M., & Ozimina, D. (2018). Diamond-like carbon films for use in medical implants. *AIP Conference Proceedings*, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.5056269>
- Gusrita, D., Ratnawulan, & Gusnedi. (2014). Pengaruh Viskositas Fluida Terhadap Sifat Hydrophobic dari Berbagai Macam Daun. *Pillar of Physics*, 1(April), 9–16.
- 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. In *Chemical Vapor Deposition - Recent Advances and Applications in Optical, Solar Cells and Solid State Devices*. InTech. <https://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. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130595>
- Hassan, M. A., Satriawan, L., Taharuddin, J., & Steven, S. (2023). Kajian Penggunaan Baja Tahan Karat 316L sebagai Implan Sendi Panggul. *Mesin*, 29(1), 80–105. <https://doi.org/10.5614/mesin.2023.29.1.6>
- Husain, T., & Herlinda. (2022). Penentuan Sifat Hidrofobik dan Hidrofilik Bahan Dengan Metode Sudut Kontak. *JSAI: Journal Scientific and Applied Informatics*, 5(3), 257–265.
- Januś, M. (2018). DLC Layers Created Using CVD Techniques and Their Application. In *Chemical Vapor Deposition for Nanotechnology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79526>
- Khatami, Z., Wolz, L., Wojcik, J., & Mascher, P. (2024). A comprehensive calibration of integrated magnetron sputtering and plasma enhanced chemical vapor deposition for rare-earth doped thin films. *Journal of Materials Research*, 39(1), 150–164. <https://doi.org/10.1557/s43578-023-01207-2>
- Khoirunisa', S., & Ariswan, D. (2017). Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S 0,8 Te 0,2) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum. *Jurnal Fisika*, 6(3), 177–180.
- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. (2017). Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers Comparison Study Of Hardness Testing By Using Rockwell Superficial VS Microvickers. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 2(2), 85–89.
- Lou, J., Ren, B., Zhang, J., He, H., Gao, Z., & Xu, W. (2022). Evaluation of Biocompatibility of 316 L Stainless Steels Coated with TiN, TiCN, and Ti-DLC Films. *Coatings*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/coatings12081073>
- Moore, P. L., & Booth, G. (2014). *The welding engineer's guide to fracture and fatigue*. Elsevier.
- Movahed, S., Nguyen, A. K., Goering, P. L., Skoog, S. A., & Narayan, R. J. (2020). Argon and oxygen plasma treatment increases hydrophilicity and reduces adhesion of silicon-incorporated diamond-like coatings. *Biointerphases*, 15(4), 1–28. <https://doi.org/10.1116/6.0000356>
- Mursal, I. L. P. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xpoler: Jurnal Sains Dan Ilmu Farmasi*, 3(2), 214–221.

- Musbah, A., Eljaafari, W., Fessatwi, E., & Elshahli, Y. (2021). Comparison Between Chemical Vapor Deposition CVD and Physical Vapor Deposition PVD Coating Techniques: A Review Paper. *Scientific Research Journal for Metal Engineering and Technologies*, 2(1), 79–90. <https://www.researchgate.net/publication/358818945>
- Mustafi, L., Rahman, M. M., Al Nasim, M. N. 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>
- Písařík, P., Jelínek, M., Remsa, J., Mikšovský, J., Zemek, J., Jurek, K., Kubinová, Lukeš, J., & Šepitka, J. (2017). Antibacterial, mechanical and surface properties of Ag-DLC films prepared by dual PLD for medical applications. *Materials Science and Engineering C*, 77, 955–962. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.04.005>
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., Widiarti, N., Kimia, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) dan Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. In *J. Chem. Sci* (Vol. 9, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Purwanto, P., Yunasfi, & Mustofa, S. (2014). Fabrikasi Lapisan Tipis C-Cr Pada Permukaan Si Dengan Menggunakan Metode Sputtering. *Journal of Industrial Research and Inovation*, 8(3), 101–106.
- Rauf, F. A., Sappu, F. P., & Lakat, A. M. A. (2018). Uji Kekerasan Dengan Penggunaan Alat Microhardness Vickers Pada Berbagai Jenis Material Teknik. *Jurnal Tekno Mesin*, 5(1), 21–24. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jtmu/article/view/33031>
- Rohaeti, E., & Yogyakarta, U. N. (2017). The Hydrophobicity and the Antibacterial Activity of Polyester Modified With Silver Nanoparticle and Hexadecyltrimethoxysilane. 12(1):1-10. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2017.12.1.295>
- 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>
- Saifudin, Purwanto, W., & Su, J. C. T. (2020). Characteristics of diamond-like carbon coating using plasma assisted chemical vapor deposition on steel tool. *Automotive Experiences*, 3(1), 27–32. <https://doi.org/10.31603/ae.v3i1.3417>

- Saputra, R., Savetlana, S., & Sukmana, I. (2022). Aplikasi Komposit Berbasis PLA (Poly Lactic Acid) untuk Scaffolding Biomaterial. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 15(2), 67–76. <https://doi.org/10.24843/jem.2016.v15.i02.p01>
- Schalk, N., Tkadletz, M., & Mitterer, C. (2022). Hard coatings for cutting applications: Physical vs. chemical vapor deposition and future challenges for the coatings community. *Surface and Coatings Technology*, 429, 127949. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127949>
- Snyders, R., Hegemann, D., Thiry, D., Zabeida, O., Klemberg-Sapieha, J., & Martinu, L. (2023). Foundations of plasma enhanced chemical vapor deposition of functional coatings. *Plasma Sources Science and Technology*, 32(7). <https://doi.org/10.1088/1361-6595/acdabc>
- Sukmana, I., Risano, A. Y. E., Wicaksono, M. A., & Saputra, R. A. (2022). Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review. *Insologi: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 635-646.
- Sutowo, C., Ikhsan, M., & Kartika, I. (2014). Karakteristik Material Biokompetibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate. *Prociding Semnastek*, 1–5.
- Sutrisno. (2014). Penggunaan Metode Sputtering. *Journal Foundry*, 4(1), 29–33.
- Tiwari, S., & Mishra, S. B. (2018). Corrosion of Stainless Steel and its Prevention through Surface Modification for Biomedical Application: A Review. *Asian Journal of Engineering and Applied Technology*, 7(2), 60–66. <https://doi.org/10.51983/ajeat-2018.7.2.954>
- Tyagi, A., Walia, R. S., Murtaza, Q., Pandey, S. M., Tyagi, P. K., & Bajaj, B. (2019). A critical review of diamond like carbon coating for wear resistance applications. In *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (Vol. 78, pp. 107–122). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2018.09.006>
- Wang, H., Lin, N., Nouri, M., Liu, Z., Yu, Y., Zeng, Q., Ma, G., Fan, J., Li, D., & Wu, Y. (2023). Improvement in surface performance of stainless steel by nitride and carbon-based coatings prepared via physical vapor deposition for marine application. *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 6021–6046. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.307>
- Wang, H., Wang, L., & Wang, X. (2021). Surface & Coatings Technology Structure characterization and antibacterial properties of Ag-DLC films fabricated by dual-targets HiPIMS. *Surface & Coatings Technology*, 410(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126967>
- Wang, H., Wu, Y., Sun, X., Ling, J., & Zou, D. (2019). Corrosion Resistance to Chloride of a Novel Stainless Steel: The Threshold Chloride Value and Effect of Surface State. *Materials*, 12(14), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma12142235>

- Zhang, J., Lou, J., He, H., & Xie, Y. (2019). Comparative Investigation on the Tribological Performances of TiN, TiCN, and Ti-DLC Film-Coated Stainless Steel. *JOM*, *71*(12), 4872–4879. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03718-y>
- 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>
- Zhao, Y. Y., Zhao, B., Su, X., Zhang, S., Wang, S., Keatch, R., & Zhao, Q. (2018). Reduction of bacterial adhesion on titanium-doped diamond-like carbon coatings. *Biofouling*, *34*(1), 26–33. <https://doi.org/10.1080/08927014.2017.1403592>