

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS DLC/Ti/Cu PADA
PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE
PECVD DAN PVD SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG**

SKRIPSI

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



Oleh:

Putri Azzahra

08031182126010

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS DLC/Ti/Cu PADA PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE PECVD DAN PVD SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG

SKRIPSI

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

Oleh :

PUTRI AZZAHRA

08031182126010

Indralaya, 12 Maret 2025

Pembimbing I

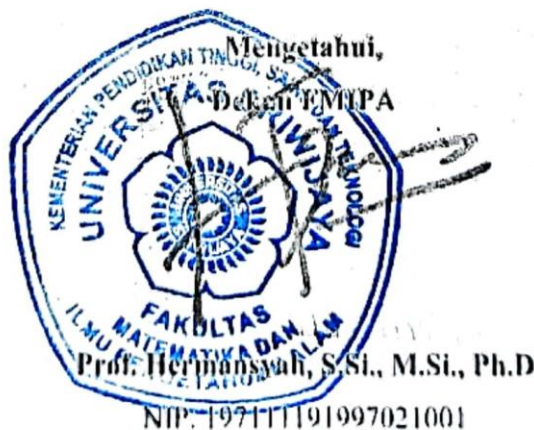
Dr. Muhammad Said, M.T

NIP. 197407212001121001

Pembimbing II

Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T

NIP. 198310072008012010



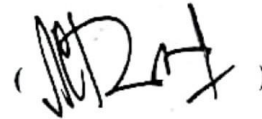
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Putri Azzahra (08031182126010) dengan judul "Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis DLC/Ti/Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 menggunakan Metode PECVD dan PVD sebagai Bahan Biomaterial Implan Tulang" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 6 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 12 Maret 2025

Ketua :

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si**
NIP. 196808271994022001

()

Anggota :

1. **Dr. Muhammad Said, M.T**
NIP. 197407212001121001
2. **Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T**
NIP. 198310072008012010
3. **Dr. Ferlinahayati, M.Si**
NIP. 197402052000032001

()

()

()

Mengetahui,



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Putri Azzahra
NIM : 08031182126010
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, 12 Maret 2025



Penulis,

Putri Azzahra

NIM. 08031182126010

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

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Putri Azzahra
NIM : 08031182126010
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 yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis DLC/Ti/Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 menggunakan Metode PECVD dan PVD sebagai Bahan 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/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 12 Maret 2025

Yang Menyatakan,



Putri Azzahra

NIM. 08031182126010

HALAMAN PERSEMBAHAN

QS. Ar-Rum: 6

“(Itulah) janji Allah. Allah tidak akan menyalahi janji-Nya, tetapi kebanyakan manusia tidak mengetahui.”

-

QS. Ghafir: 44

“Aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sesungguhnya Allah Maha Melihat hamba-hamba-Nya.”

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT.
2. Almarhum Bapak Irianto dan Ibu Eni Supriyatin selaku kedua orang tua tersayang serta kakak-kakak tercinta (Martina dan Apriani) yang selalu memberikan semangat, motivasi dan doa kepada penulis.
3. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan semangat.
4. Dosen pembimbing skripsiku, Bapak Dr. Muhammad Said, M.T., Mbak Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T., dan Mas Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc.
5. Dosen pembimbing akademisku, Bapak Dr. Ady Mara, M.Si.
6. Sahabat dan teman-teman seperjuangan serta Almamaterku yang aku banggakan, Universitas Sriwijaya.
7. Diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur selalu terucap atas rahmat dan berkat karunia Allah SWT yang maha kuasa dan maha pengasih serta maha penyayang sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis DLC/Ti/Cu pada Permukaan *Stainless Steel* 316 menggunakan Metode PECVD dan PVD 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.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun, dengan kesabaran, keikhlasan dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa penuh tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari beberapa pihak, baik material maupun moril, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pembimbing yaitu **Bapak Dr. Muhammad Said, M.T**, yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tuaku (Alm) Bapak Irianto dan Ibu Eni Supriyatin tersayang, terima kasih sudah selalu memberikan yang terbaik untuk anaknya. Bapak, sosok teladan penuh ketulusan dan keteguhan yang selalu hidup dalam ingatan dan hati penulis. Meski kini telah tiada dan hadir dalam kenangan, cinta, doa dan segala pengorbanannya akan selalu menjadi pijakan terkuat dalam hidup. Setiap langkah pencapaian ini adalah bentuk bakti dan harapan agar beliau bangga di sisi-Nya. Terima kasih telah menjadi cahaya penuntun, meski kini penulis harus melangkah sendiri tanpa kehadiran Bapak. Ibu, yang selalu mencintai, mendukung dan memberikan doa sehingga penulis mampu bertahan hingga titik ini. Panjang umur bu, temani aku selalu. Tanpa restu dan doa dari kalian, orang tua yang sangat luar biasa, pencapaian ini tidak mungkin bisa terwujud karena kalian adalah sumber kekuatan dan inspirasi yang tak tergantikan. Skripsi ini merupakan bukti

dari penghormatan, apresiasi, cinta, perjuangan, pengorbanan dan rasa syukur penulis kepada kalian berdua.

2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Ady Mara, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T, Mbak Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T dan Mas Bayu Mahdi Kartika, S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang selalu memberikan bimbingan, dukungan, materi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.
7. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu, mendidik serta membimbing dalam dunia perkuliahan.
8. Kak Iin dan Mbak Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu sedia membantu selama masa perkuliahan hingga lulus.
9. Peneliti BRIN; Mbak Anjar, Mbak Karina, Mas Hari, Mas Wafi yang selalu memberikan saran, masukan dan membantu selama penelitian.
10. Kakak-kakakku tersayang, Mbak Tina, Mbak Ani, Mas Rudi dan Mas Wawan. Terima kasih sudah menjadi motivasi penulis untuk selalu bertahan dan mengusahakan yang terbaik.
11. Keponakanku tersayang, Adek Ayu dan Adek Bagus, terima kasih sudah menjadi teman berbagi cerita dan memberikan semangat kepada penulis.
12. Kost Zan – Kost Mushku tercinta (Rahel, Mira, Okta, Devi). Terima kasih ya guys, sudah selalu ada dari maba sampai sekarang. Terima kasih sudah membuat masa kuliahku berwarna, terima kasih sudah menjadi teman terbaik dan partner bertukar pikiran. Terima kasih untuk semua dukungan kalian. Sehat selalu orang baik.
13. Teman seperjuangan penelitian di BRIN Jogja (Mira dan Aca), terima kasih karena selalu bisa diandalkan, terima kasih untuk semua support dan

bantuan kalian. Terima kasih sudah mau berjuang bersama sampai sekarang. Panjang umur ya kalian.

14. Gilang, Ale, Aghni, Kya, Adel, Anek, Nursal, Deviriana, Putri Anika, Alya, Devimul. Terima kasih untuk semuanya guys. Alhamdulillah bintang lima.
15. Abang dan Kakak Asuhku (Bang Rafly dan Kak Sera), terima kasih sudah menjadi kasuh yang baik dan selalu membantu penulis dari awal maba. Sukses selalu untuk karir dan kehidupan abang kakak sekalian.
16. Adik-adik asuhku tersayang (Tazira, Indah, Putmel), terima kasih sudah selalu kebersamai penulis di setiap langkah, momen dan pencapaian. Terima kasih untuk pengalaman barunya ya. Terima kasih sudah menambah warna masa perkuliahan penulis. Semangat terus untuk kedepannya, sehat dan lancar-lancar semuanya sampai akhir. Mohon maaf jika penulis masih memiliki banyak kekurangan sebagai kakak asuh kalian.
17. Dibun tetangga kamar kostku, terima kasih banyak sudah menjadi orang yang selalu bisa diandalkan. Terima kasih untuk setiap kebersamaan. Ayo kita realisasikan masuk dan keluar kost bareng.
18. Kak Icak dan Kak Nandya, terima kasih banyak sudah memberikan aku pengalaman untuk menjadi bagian dari Himaki. Semangat terus untuk kedepannya ya kak, lancar-lancar semuanya.
19. Teman-teman seperjuangan Kimia 2021, terima kasih untuk kebersamaan di perkuliahan ini.
20. Diri saya sendiri, terima kasih atas keberanian untuk bermimpi, keteguhan untuk berjuang dan ketangguhan untuk tidak menyerah bahkan ketika dunia terasa begitu berat dan untuk setiap air mata yang jatuh dalam kesendirian, untuk setiap malam yang dihabiskan dengan keraguan serta setiap langkah kecil yang diambil meski hati terasa lelah. Semua itu tidak pernah sia-sia. Skripsi ini adalah bukti bahwa penulis mampu melawan rasa takut, melewati segala batas untuk mencapai apa yang sebelumnya terlihat mustahil dan tetap percaya pada impian. Semoga langkah ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih baik ke depannya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun kedepannya.

Indralaya, 12 Maret 2025

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Putri Azzahra', written in a cursive style.

Putri Azzahra

NIM. 08031182126010

SUMMARY

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF DLC/Ti/Cu THIN LAYER ON THE SURFACE OF STAINLESS STEEL 316 USING PECVD AND PVD METHODS AS BIOMATERIALS FOR BONE IMPLANTS

Putri Azzahra: Supervised by Dr. Muhammad Said, M.T and Wiwien Andriyanti,
S.ST., M.T

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

x + 57 pages, 13 figures, 3 tables, 12 attachments

Bone fracture is a condition where there is a discontinuity in the bone. One of the most common ways to treat fracture cases is to insert an implant into the body. One of the metal materials that can be used as a bone implant material is SS316. SS316 material has limitations for long-term use because it has low corrosion resistance and does not have antibacterial properties. Therefore, it is necessary to modify the surface of SS316 as a bone implant material to reduce corrosion and provide antibacterial properties so that it can extend the life of the implant. Surface modification is carried out by depositing a thin layer of Diamond Like-Carbon (DLC)/Ti/Cu on the surface of the SS316 substrate using the Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) and Physical Vapor Deposition (PVD) methods. Thin layer deposition is carried out in 3 variations, including DLC/Cu, Ti/Cu and DLC/Ti/Cu. The PECVD method is carried out for 4 hours with C₂H₂ gas for DLC thin layer deposition. The PVD method is carried out for 60 minutes for the Cu thin layer and 15 minutes for the Ti interlayer. The results of surface modification were tested and characterized using the Vickers hardness test, WCA test, XRD, SEM-EDX and antibacterial test using *Staphylococcus aureus*. The Vickers hardness test obtained optimum conditions for the DLC/Ti/Cu layer variation of 212.35 VHN. The WCA test on the DLC/Ti/Cu specimen showed a contact angle value of 145.73° with a surface energy of 1.83 dyne/cm. The results of the XRD and SEM-EDX tests showed that the deposition of DLC, Ti and Cu layers on the stainless steel surface had been successful, which was indicated by the appearance of typical peaks on the diffractogram and the thickness of each DLC/Cu, Ti/Cu and DLC/Ti/Cu layer variation respectively of 0.74 μm; 1.11 μm; 1.51 μm and the distribution of elements on EDX. Furthermore, the antibacterial test on the Ti/Cu layer did not form an inhibition zone, whereas the DLC/Ti/Cu layer variation formed a symmetrical inhibition zone of 15.2 mm.

Keywords : SS316, Deposition, DLC, Ti, Cu, Specimen Characterization

Citations : 51 (1970-2024)

RINGKASAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS DLC/Ti/Cu PADA PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316 MENGGUNAKAN METODE PECVD DAN PVD SEBAGAI BAHAN BIOMATERIAL IMPLAN TULANG

Putri Azzahra: Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.T dan Wiwien Andriyanti, S.ST., M.T

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

x + 57 halaman, 13 gambar, 3 tabel, 12 lampiran

Fraktur tulang merupakan kondisi terjadinya diskontinuitas pada tulang. Salah satu cara yang paling umum dilakukan untuk menangani kasus fraktur adalah memasukkan implan ke dalam tubuh. Salah satu material logam yang dapat digunakan sebagai bahan implan tulang adalah SS316. Material SS316 memiliki keterbatasan untuk penggunaan jangka panjang karena memiliki ketahanan korosi yang rendah dan tidak memiliki sifat antibakteri. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi permukaan SS316 sebagai bahan implan tulang untuk mengurangi korosi dan memberikan sifat antibakteri sehingga dapat memperpanjang masa penggunaan implan. Modifikasi permukaan dilakukan dengan mendeposisikan lapisan tipis *Diamond Like-Carbon* (DLC)/Ti/Cu pada permukaan substrat SS316 menggunakan metode *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) dan *Physical Vapor Deposition* (PVD). Deposisi lapisan tipis dilakukan sebanyak 3 variasi, diantaranya DLC/Cu, Ti/Cu dan DLC/Ti/Cu. Metode PECVD dilakukan selama 4 jam dengan gas C₂H₂ untuk deposisi lapisan tipis DLC. Metode PVD dilakukan selama 60 menit untuk lapisan tipis Cu dan 15 menit *interlayer* Ti. Hasil modifikasi permukaan dilakukan pengujian dan karakterisasi menggunakan uji kekerasan vickers, uji WCA, XRD, SEM-EDX dan uji antibakteri dengan menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*. Uji kekerasan vickers didapatkan kondisi optimum pada variasi lapisan DLC/Ti/Cu sebesar 212,35 VHN. Uji WCA pada spesimen DLC/Ti/Cu menunjukkan nilai sudut kontak sebesar 145,73° dengan energi permukaan 1,83 dyne/cm. Hasil uji XRD dan SEM-EDX menunjukkan bahwa deposisi lapisan DLC, Ti dan Cu diatas permukaan *stainless steel* telah berhasil dilakukan, yang ditandai dengan munculnya puncak khas pada difraktogram dan ketebalan setiap variasi lapisan DLC/Cu, Ti/Cu dan DLC/Ti/Cu berturut-turut sebesar 0,74 µm; 1,11 µm; 1,51 µm serta sebaran unsur pada EDX. Selanjutnya, uji antibakteri pada lapisan Ti/Cu tidak membentuk zona hambat sedangkan pada variasi lapisan DLC/Ti/Cu terbentuk zona hambat yang simetris sebesar 15,2 mm.

Kata Kunci : SS316, Deposisi, DLC, Ti, Cu, Karakterisasi Spesimen

Sitasi : 51 (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	xi
RINGKASAN.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fraktur Tulang	5
2.2 Implan Tulang.....	5
2.3 Logam <i>Stainless Steel</i> 316	5
2.4 <i>Diamond Like-Carbon</i>	6
2.5 <i>Surface Treatment</i>	7
2.5.1. <i>Physical Vapor Deposition (PVD)</i>	7
2.5.2. <i>Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)</i>	9
2.6 Logam Tembaga (Cu).....	10
2.7 Logam Titanium (Ti)	10
2.8 Karakterisasi.....	11

2.8.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.8.2	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	12
2.8.3	<i>Water Contact Angle (WCA)</i>	13
2.8.4	Uji Kekerasan Vickers	14
2.8.5	Uji Antibakteri	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		17
3.1	Waktu dan Tempat.....	17
3.2	Alat dan Bahan.....	17
3.3	Prosedur Penelitian	18
3.3.1	Preparasi Spesimen	18
3.3.2	Deposisi Variasi Lapisan Cu, Ti dan DLC	18
3.3.3	Karakterisasi Hasil	19
3.3.3.1	Uji Kekerasan Vickers	19
3.3.3.2	Karakterisasi dengan XRD	19
3.3.3.3	Karakterisasi dengan SEM-EDX.....	20
3.3.3.4	Karakterisasi dengan WCA.....	20
3.3.3.5	Uji Antibakteri	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Deposisi Variasi Lapisan Cu, Ti dan DLC	21
4.2	Karakterisasi.....	22
4.2.1	Karakterisasi Spesimen dengan Kekerasan Vickers	22
4.2.2	Karakterisasi Spesimen dengan WCA.....	23
4.2.3	Karakterisasi Spesimen dengan XRD.....	25
4.2.4	Karakterisasi Spesimen dengan SEM-EDX.....	31
4.2.5	Uji Antibakteri	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1	Kesimpulan	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		36
LAMPIRAN		41
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Stainless Steel 316</i>	6
Gambar 2. Skema Alat DC <i>Sputtering</i>	8
Gambar 3. Skema Alat PECVD	10
Gambar 4. Rangkaian Alat SEM	13
Gambar 5. Material Uji Keras dan Indentor	15
Gambar 6. Spesimen Hasil Deposisi Pada Permukaan <i>Stainless Steel</i> (a) <i>Raw Material (SS316)</i> , (b) <i>SS316/DLC</i> , (c) <i>SS316/DLC/Cu</i> , (d) <i>SS316/Ti/Cu</i> , (e) <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	21
Gambar 7. Grafik Nilai Uji Kekerasan Vickers	22
Gambar 8. Grafik Hasil Uji WCA	24
Gambar 9. Pola difraksi (a) <i>SS316/DLC</i> , (b) <i>SS316/DLC/Cu</i> , (c) <i>SS316/Ti/Cu</i> dan (d) <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	26
Gambar 10a. Grafik Analisis Le Bail <i>Refinement</i> <i>SS316/DLC/Cu</i>	28
Gambar 10b. Grafik Analisis Le Bail <i>Refinement</i> <i>SS316/Ti/Cu</i>	28
Gambar 10c. Grafik Analisis Le Bail <i>Refinement</i> <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	29
Gambar 11. Analisis SEM <i>Cross Section</i> (a) <i>SS316/DLC/Cu</i> , (b) <i>SS316/Ti/Cu</i> , (c) <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	31
Gambar 12. Analisis EDX Mapping (a) <i>SS316/DLC/Cu</i> , (b) <i>SS316/Ti/Cu</i> , (c) <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	32
Gambar 13. Hasil Uji Antibakteri (a) <i>SS316/Ti/Cu</i> , (b) <i>SS316/DLC/Ti/Cu</i>	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai GoF, Rp dan Rwp Setiap Spesimen.....	29
Tabel 2. Nilai DoC Setiap Spesimen	30
Tabel 3. Referensi <i>Database</i>	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN	41
Lampiran 1. Prosedur Preparasi Spesimen	42
Lampiran 2. Diagram Alir Proses	43
Lampiran 3. Skema Deposisi Lapisan	44
Lampiran 4. Hasil Analisa XRD.....	45
Lampiran 5. Hasil Uji Kekerasan Vickers	47
Lampiran 6. Hasil Uji WCA.....	48
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	50
Lampiran 8. Tabel Data Hasil Uji Kekerasan Vickers	52
Lampiran 9. Tabel Hasil Nilai Rata-Rata Analisis WCA.....	53
Lampiran 10. Gambar Alat Penelitian	54
Lampiran 11. Perhitungan	55
Lampiran 12. Persentase Unsur Setiap Spesimen.....	57

DAFTAR SINGKATAN

DLC	: <i>Diamond Like-Carbon</i>
DoC	: <i>Degree of Crystallinity</i>
GoF	: <i>Goodness of Fitting</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>
SS316	: <i>Stainless Steel 316</i>
VHN	: <i>Vickers Hardness Number</i>
WCA	: <i>Water Contact Angle</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2020 *World Health Organization* (WHO) mencatat peningkatan jumlah insiden fraktur, sekitar 13 juta orang mengalami fraktur dengan besar prevalensi 2,7% (Noorisa *et al.*, 2017). Kondisi dimana terjadinya diskontinuitas tulang disebut sebagai fraktur (Hanifa *et al.*, 2024). Peristiwa trauma (*traumatic fracture*) seperti kecelakaan lalu lintas maupun non-lalu lintas dapat menjadi penyebab fraktur (Ridwan *et al.*, 2019). Jaringan lunak di sekitar lokasi fraktur biasanya rusak setelah peristiwa fraktur terjadi. Semakin parah kerusakan pada jaringan lunak dan tulang, maka semakin lama juga proses penyembuhannya. Pola penyembuhan tulang dapat diubah oleh lingkungan dan intervensi bedah (Donsu *et al.*, 2021). Salah satu cara yang paling umum untuk menangani fraktur adalah dengan memasukkan implan ke dalam tubuh (Hanifa *et al.*, 2024).

Jenis implan dapat berupa plat, sekrup atau pin yang ditempatkan di sekitar tulang yang patah untuk mempertahankan posisinya yang tepat dan dapat mempercepat proses penyembuhannya (Hanifa *et al.*, 2024). Material logam yang dapat digunakan sebagai bahan implan tulang diantaranya adalah titanium, paduan kobalt dan *stainless steel* (Mahyudin *et al.*, 2019). Sifat material logam yang diharapkan sebagai bahan implan tulang diantaranya, *biocompatible* dan melindungi sel dari infeksi serta inflamasi atau reaksi tubuh yang berbahaya lainnya (Huzum *et al.*, 2021); tidak memberikan efek toksik selama proses degradasi serta membantu proses penyembuhan dan osseointegrasi tulang (Kamrani and Fleck, 2019); menjaga integritas mekanik sehingga jaringan pulih dengan memiliki ketahanan korosi yang seimbang (Amukarimi and Mozafari, 2022); dan memiliki sifat yang sebanding dengan tulang, seperti ketangguhan, keuletan, kekerasan, kekuatan fatik dan modulus elastisitas (Ali *et al.*, 2019).

Jenis *stainless steel* yang banyak digunakan adalah tipe 316. *Stainless steel* 316 merupakan baja tahan karat austenit yang telah banyak digunakan untuk aplikasi temperatur tinggi. *Stainless steel* 316 memiliki kadar karbon yang cukup tinggi, yaitu sebesar 0,25% (Zakiyya dan Drastiawati, 2016). Apabila dibandingkan

dengan *stainless steel* austenit lainnya, *stainless steel* 316 memiliki kekuatan mekanik dan daya tahan yang luar biasa (Kumaran *et al.*, 2021), namun ketahanan korosi yang tidak lebih baik dibandingkan titanium (Mahyudin *et al.*, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan sifat permukaan *stainless steel* 316, salah satunya dengan *surface treatment*.

Proses *surface treatment* pada suatu material secara umum bertujuan untuk meningkatkan kemampuan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik dari material dasarnya. Salah satu cara umum proses *surface treatment* dapat dilakukan dengan cara pelapisan (*coating*). Proses pelapisan (*coating*) pada material, substrat tidak akan bereaksi dengan bahan tambah atau bahan pelapis dan juga tidak mengalami proses difusi ke dalam substrat. Jenis-jenis proses pelapisan (*coating*) diantaranya *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Salah satu metode pelapisan (*coating*) yang termasuk dalam jenis *Physical Vapor Deposition* adalah *sputtering* (Sutrisno, 2014).

Suatu material diubah menjadi fase uap di dalam ruang vakum dan dikondensasikan pada permukaan substrat. Proses *sputtering* menggunakan gas argon (Ar) sebagai media pembentuk plasma karena memiliki massa yang lebih besar dibandingkan gas mulia lainnya dan lebih mudah terionisasi. Salah satu jenis metode *sputtering* yang sering digunakan adalah DC *sputtering*, dimana target dipasang pada katoda dan substrat diletakkan pada anoda yang letaknya saling berhadapan (Sutrisno, 2014). Selain PVD, proses pelapisan (*coating*) dapat juga menggunakan CVD.

CVD merupakan proses pelapisan dengan melibatkan reaksi kimia yang diinduksi secara termal. Pereaksi yang digunakan berbentuk gas pada permukaan substrat yang dipanaskan. Parameter yang paling penting untuk menumbuhkan film tipis oleh CVD adalah laju aliran gas, karena laju ini terkait dengan transportasi gas dalam reaktor CVD (Mustafi *et al.*, 2018). Salah satu bagian dari metode CVD adalah *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD). PECVD adalah proses yang relatif murah dan beroperasi pada suhu 60-300°C dan memberikan kontrol ketebalan yang baik (Amirzada *et al.*, 2016).

Proses PECVD dapat dibagi berdasarkan jenis lapisan yang dihasilkan. Jenis lapisan yang dihasilkan dalam proses PECVD tergantung pada material yang

digunakan. Secara umum, lapisan yang dihasilkan antara lain, lapisan organik berupa film berbasis polimer, lapisan anorganik seperti Silikon Oksida (SiO_2), serta lapisan hibrida yang terbentuk dari kombinasi antara lapisan organik dan lapisan anorganik. Lapisan tipis yang dihasilkan pada proses PECVD juga dipengaruhi oleh laju aliran gas. Gas dalam reaktor berinteraksi dengan elektron, lalu fragmen molekul bergerak ke permukaan dan membentuk lapisan tipis (Snyders *et al.*, 2023). PVD dan PECVD merupakan dua jenis proses pelapisan (*coating*) yang biasa digunakan dalam *surface treatment* pada material *stainless steel* 316. Pelapisan material dapat menggunakan film tipis yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik, seperti *Diamond Like-Carbon* (DLC).

Walaupun film tipis DLC merupakan bahan karbon dengan kekerasan tinggi, ketahanan aus yang menjanjikan serta memiliki aktivitas antibakteri, namun perlu dilakukan pelapisan kembali pada permukaan DLC dengan menggunakan logam untuk mengurangi sisa tekanan internal dan meningkatkan kekuatan perekat film DLC (Lee *et al.*, 2023). Logam yang dapat digunakan sebagai pelapis antara lain tembaga (Cu) dan titanium (Ti). Logam tembaga (Cu) mempunyai sifat antibakteri yang dapat diaplikasikan dalam aktivitas pengontrolan bakteri, seperti *Escherichia Coli* (*E. Coli*) dan *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Ion Cu^{2+} menunjukkan aktivitas ketahanan terhadap bakteri *in vitro* yang sangat tinggi (Rachma *et al.*, 2019), sedangkan logam titanium (Ti) memiliki tingkat kekerasan mikro yang menjanjikan, kekuatan perekat yang sangat baik dan biokompatibilitas (Lee *et al.*, 2023) serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi (Milan *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai pelapisan (*coating*) pada *Diamond Like-Carbon* (DLC) dengan *Copper (Cu) doped Amorphous Carbon-Hydrogen* (Cu/AC:H) yang dilakukan oleh (Milan *et al.*, 2020) menghasilkan bahwa pelapis Cu/AC:H yang diperkaya Cu menunjukkan sifat antibakteri yang lebih baik, serta aktivitas angiogenesis dan osteogenesis yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan keberhasilan implan. Selain itu, penelitian tentang pengaruh laju rasio metana pada sifat struktural dan mekanik film DLC yang didoping oleh Ti dilakukan oleh Lee *et al* (2023) dan melalui uji gores terbukti bahwa film DLC menempel dengan baik

pada substrat dan secara signifikan mengurangi kekasaran permukaan serta tingkat keausan.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan hasil positif dari masing-masing metode, namun perbandingan langsung antara keduanya dalam konteks aplikasi implan tulang, terutama dengan modifikasi DLC/Ti/Cu pada SS316 menggunakan metode PECVD dan PVD masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian komprehensif tentang pelapisan *Diamond Like-Carbon* (DLC)/Ti/Cu pada permukaan *stainless steel* 316 menggunakan metode PECVD dan PVD sebagai bahan biomaterial implan tulang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh proses deposisi lapisan tipis DLC/Ti/Cu di atas substrat SS316 dengan menggunakan metode PECVD dan PVD terhadap perubahan warna spesimen?
2. Bagaimana pengaruh variasi lapisan terhadap analisa uji kekerasan, uji *Water Contact Angle* (WCA), XRD, SEM-EDX dan uji antibakteri?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh proses deposisi lapisan tipis DLC/Ti/Cu di atas substrat SS316 dengan menggunakan metode PECVD dan PVD terhadap perubahan warna spesimen.
2. Menentukan pengaruh variasi lapisan terhadap hasil analisa uji kekerasan, uji *Water Contact Angle* (WCA), XRD, SEM-EDX dan uji antibakteri.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas implantasi dengan meningkatkan sifat hidrofobisitas permukaan, ketahanan mekanik dan antibakteri. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memperluas penggunaan SS316 dalam implan tulang dan meningkatkan keandalannya dalam aplikasi medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, H., Sujitno, T., Trikusuma, A. C., Pribadi, B., & Rachmanita, R. E. (2022). Modifikasi Lapisan Permukaan Stainless Steel 316L dengan Metode Plasma Sputtering untuk Peningkatan Karakteristik Microhardness. *Journal of Physics and Applied*. 1(1), 22-28. <https://doi.org/10.34312/LJPA.vxxixx.xxx>.
- Ahmed, Y. M., Sahari, K. S. M., Ishak, M., & Khidhir, B. A. (2014). Titanium and its Alloy. *International Journal of Science and Research*. 3(10), 1351–1361.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*. 12(2), 1-25. <https://doi.org/10.3390/min12020205>.
- Ali, M., Hussein, M. A., & Al-Aqeeli, N. (2019). Magnesium-based Composites and Alloys for Medical Applications: A Review of Mechanical and Corrosion Properties. *Journal of Alloys and Compounds*. 792, 1162–1190. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.04.080>.
- Aminatun., Furqon, I. A., Hikmawati, D., & Abdullah, C. A. C. (2021). Antibacterial Properties of Silver Nanoparticle (AgNPs) on Stainless Steel 316L. *Nanomedicine Research Journal*. 6(2), 117–127. <https://doi.org/10.22034/nmrj.2021.02.004>.
- Amirzada, M. R., Tatzel, A., Viereck, V., & Hillmer, H. (2016). Surface Roughness Analysis of SiO₂ for PECVD, PVD and IBD on Different Substrates. *Applied Nanoscience (Switzerland)*. 6(2), 215–222. <https://doi.org/10.1007/s13204-015-0432-8>.
- Amukarimi, S., & Mozafari, M. (2022). Biodegradable Magnesium Biomaterials—Road to the Clinic. *Bioengineering*. 9(3), 1-20. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9030107>.
- Anjarsari., Dahlan, K., Suptijah, P., & Kemala, T. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit BCP/Kolagen sebagai Material Perancah Tulang. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 19(3), 356-361. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v19i3.14542>.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. G., & 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>.
- Choudhary, O. P., & Priyanka. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(5), 1877–1882. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.605.207>.
- Choudhary, S., Sarma, J. V. N., Pande, S., Ababou-Girard, S., Turban, P., Lepine, B., & Gangopadhyay, S. (2021). Oxidation Mechanism of Thin Cu Films: A Gateway Towards the Formation of Single Oxide Phase. *AIP Advances*. 1(1), 1-16. <https://doi.org/10.1063/1.5028407>.

- Donsu, M. B., Lengkong, A. C., & Rawung, R. B. V. (2021). Gambaran Penyembuhan Tulang Sekunder pada Fraktur dengan Anatomical Reduction Fixation Tipe Plate and Screw di RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Periode 2019 – 2020. *E-CliniC*. 9(1), 149–153. <https://doi.org/10.35790/ecl.v9i1.32120>.
- 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>.
- 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 - Medical Journal Faculty of Medicine Muhammadiyah Surabaya*. 3(1), 7-13. <https://doi.org/10.30651/jqm.v3i1.1612>.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*. 1(1), 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>.
- 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*. 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130595>.
- Hanifa, K., Suprihanto, A., & Haryadi, G. D. (2024). Pengaruh Persentase Flake Polylactic Acid (PLA) terhadap Densitas Campuran Biodegradable Polymer PLA dengan Polycaprolactone. *Jurnal Teknik Mesin*. 12(2), 71–76.
- Hassan, M. A., Satriawan, L., Taharuddin, J., Mardiyati., & Steven. (2023). Kajian Penggunaan Baja Tahan Karat 316L sebagai Implan Sendi Panggul. *Jurnal Mesin*. 29(1), 80–105. <https://doi.org/10.5614/mesin.2023.29.1.6>
- Husain., & Herlinda, H. (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>.
- Huzum, B., Puha, B., Necoara, R. M., Gheorghevici, S., Puha, G., Filip, A., Sirbu, P. D., & Alexa, O. (2021). Biocompatibility Assessment of Biomaterials Used in Orthopedic Devices: An Overview (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*. 22(5), 1–9. <https://doi.org/10.3892/etm.2021.10750>.
- Ibrahim, H., Esfahani, S. N., Poorganji, B., Dean, D., & Elahinia, M. (2017). Resorbable Bone Fixation Alloys, Forming, and Post-Fabrication Treatments. *Materials Science and Engineering C*. 70(1), 870–888. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.09.069>.
- Inkson, B. J. (2016). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. *Elsevier Ltd*. 1(1), 1-27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>.

- Javidparvar, A. A., Mosavi, M. A., & Ramezanzadeh, B. (2023). Nickel-Aluminium Bronze (NiBRAI) Casting Alloy Tribological/Corrosion Resistance Properties Improvement via Deposition of a Cu-Doped Diamond-Like Carbon (DLC) Thin Film; Optimization of Sputtering Magnetron Process Conditions. *Materials Chemistry and Physics*. 1(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.127279>.
- Kaelble, D. H. (1970). Dispersion-Polar Surface Tension Properties of Organic Solids. *The Journal of Adhesion*. 2(2), 66–81. <https://doi.org/10.1080/0021846708544582>.
- Kamrani, S., & Fleck, C. (2019). Biodegradable Magnesium Alloys as Temporary Orthopaedic Implants: A Review. *BioMetals*. 32(2), 185–193. <https://doi.org/10.1007/s10534-019-00170-y>.
- 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>.
- Kumaran, S. T., Baranidharan, K., Uthayakumar, M., & Parameswaran, P. (2021). Corrosion Studies on Stainless Steel 316 and Their Prevention – A Review. *INCAS Bulletin*. 13(3), 245–251. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2021.13.3.21>.
- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. (2017). Studi Uji kekerasan Rockwell Superficial vs Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*. 2(2), 85-89. <https://doi.org/10.36048/jtpii.v2i2.789>.
- Lee, W. H., Hu, C. C., Sun, Y. T. A., Wang, B. Y., Chang, H., & Hsu, C. Y. (2023). Influence of Methane Flow Ratios on the Structural and Mechanical Properties of Ti-Doped Diamond-Like Carbon Films. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1(1), 1145–1157. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12368-z>.
- 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*. 8(14), 1–9. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2017014>.
- Makhlouf, A. S. H. (2016). *Handbook of Smart Coatings for Materials Protection* (Issue 0). Cambridge: Woodhead Publishing, United Kingdom.
- Marmur, A., Volpe, C. D., Siboni, S., Amirfazli, A., & Drelich, J. W. (2017). Contact Angles and Wettability: Towards Common and Accurate Terminology. *Surface Innovations*. 5(1), 3–8. <https://doi.org/10.1680/jsuin.17.00002>.
- Maulana, N. B. (2018). Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium dan Besi Cor. *Mer-C*. 1(10), 1–5.

- Milan, P. B., Khamseh, S., Zarrintaj, P., Ramezanzadeh, B., Badawi, M., Morisset, S., Vahabi, H., Saeb, M. R., & Mozafari, M. (2020). Copper-Enriched Diamond-Like Carbon Coatings Promote Regeneration at the Bone–Implant Interface. *Heliyon*. 6(4), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03798>.
- 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>.
- Noorisa, R., Apriliwati, D., Aziz, A., & Bayusentono, S. (2017). The Characteristic of Patients with Femoral Fracture in Department of Orthopaedic and Traumatology RSUD Dr. Soetomo Surabaya 2013 – 2016. *Occupational Medicine*. 53(4), 1-11.
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. (2020). Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*. 1(2), 41-46. <https://doi.org/10.24198/jthp.v1i2.27537>.
- Pratama, M. A. (2019). Studi Eksperimen Ketahanan Korosi, Keausan, dan Kekerasan pada Material Baja Paduan SS 316 sebagai Bahan Sterntube Seal Liners pada Kapal. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*. 16(1), 16–22. <https://doi.org/10.14710/kapal.v16i1.17882>.
- Pratiwi, D. K., Arifin, A., Gunawan., Mardhi, A., & Afriansyah. (2023). Investigation of Welding Parameters of Dissimilar Weld of SS316 and ASTM A36 Joint Using a Grey-Based Taguchi Optimization Approach. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/jmmp7010039>.
- Rachma, F. yulia, Karna, W., & Iqmal, T. (2019). Material Cuo/Bentonit sebagai Bahan Antibakteri Escherichia Coli. *Bimipa*. 25(3), 216–223.
- Rajak, D. K., Kumar, A., Behera, A., & Menezes, P. L. (2021). Diamond-Like Carbon (DLC) Coatings : Classification, Properties and Applications. *MDPI Appl.Sci*. 1(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app11104445>.
- Rauf, F. A., Sappu, F. P., & Lakat, A. M. A. (2018). Uji Kekerasan dengan Menggunakan Alat Microhardness Vickers pada Berbagai Jenis Material Teknik. *Jurnal Tekno Mesin*. 5(1), 21–24.
- Ridwan, U. N., Pattiha, A. M., & Selomo, P. A. M. (2019). Karakteristik Kasus Fraktur Ekstremitas Bawah di Rumah Sakit Umum Daerah Dr H Chasan Boesoerie Ternate Tahun 2018. *Kieraha Medical Journal*. 1(1), 9–15.
- Saifudin, Purwanto, W., & Su, J. C. T. (2019). Characteristics of Diamond-Like Carbon Coating Using Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition on Steel Tool. *Automotive Experiences*, 2(2), 41–46.
- Septiano, A. F., Susilo., & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX)

- Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. 44(2), 81–85. <https://doi.org/10.15294/ijmns.v44i2.33143>.
- Sherpa, B. B., Kuroda, M., Ikeda, T., Kawamura, K., Inao, D., Tanaka, S., & Hokamoto, K. (2023). Investigation of Interfacial Microstructure and Mechanical Characteristics of Ti/SS316 Clads Fabricated by Explosive Welding Process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1(1), 1403–1418. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12010-y>.
- Siahaan, M. Y. R., Siregar, R. A., Tanjung, F. A., & Saktiawan, A. (2023). Analisis Karakteristik Bahan Tembaga Akibat Pengaruh Proses Penempaan terhadap Kekuatan Impak. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. 6(1), 99–105. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i1.13709>.
- 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), 1-36. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/acdabc>.
- Sujiono, E. H., Zharvan, V., Poetra, S. A., Muchtar, M., Idris, A. M., & Dahlan, M. Y. (2020). Structure Identification of $\text{Nd}_{1-x}\text{Yb}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.01, 0.05$ and 0.10) Using Rietveld Refinement Method. *Materials Today: Proceedings*. 44(1), 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. <http://www.e-journal.polmanceper.ac.id/index.php/Foundry/article/view/46>.
- Zakiyya, H., & Drastiawati, N. S. (2016). Evaluasi Sensitasi pada Baja Tahan Karat 316 Menggunakan Alat Uji Kemampukerasan Type Jominy. *Mekanika*. 15(2), 52–55.