

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag DAN Cu PADA PADUAN
Ti-6Al-7Nb TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI DAN
KETAHANAN KOROSI UNTUK APLIKASI
IMPLAN ORTOPEDI**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Raihan Diva Nauval
3334200028

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
BANTEN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

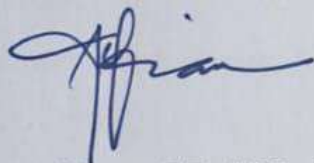
**PENGARUH PENAMBAHAN Ag DAN Cu PADA PADUAN
Ti-6Al-7Nb TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI DAN
KETAHANAN KOROSI UNTUK APLIKASI
IMPLAN ORTOPEDI**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197406292003121001

Pembimbing II



Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.
NIP. 191591041988121001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag DAN Cu PADA PADUAN
Ti-6Al-7Nb TERHADAP SIFAT ANTIBAKTERI DAN
KETAHANAN KOROSI UNTUK APLIKASI
IMPLAN ORTOPEDI**

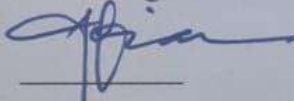
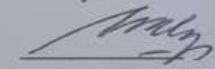
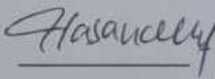
SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Raihan Diva Nauval

3334200028

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 26 Agustus 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.	
Penguji II	: Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.	
Penguji III	: Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Dr. Eng. Abdul Aziz, ST., MT.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Pengaruh Penambahan Ag dan Cu pada Paduan Ti-6Al-7Nb
terhadap Sifat Antibakteri dan Ketahanan Korosi untuk
Aplikasi Implan Ortopedi

Nama Mahasiswa : Raihan Diva Nauval

NIM : 3334200028

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 26 Agustus 2024



Raihan Diva Nauval
NIM. 334200028

ABSTRAK

Perkembangan paduan berbasis titanium (Ti) dengan sifat antibakteri dan modulus elastisitas rendah telah menjadi perhatian dalam penelitian biomaterial logam. Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat infeksi setelah prosedur implantasi, meskipun dengan prosedur operasi aseptik yang ketat. Selain itu, fenomena *stress shielding* akibat perbedaan modulus elastisitas antara material implan dan tulang, meningkatkan risiko kegagalan implan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan paduan Ti-6Al-7Nb dengan penambahan Ag dan Cu masing-masing sebesar 1%, 3%, dan 5% untuk meningkatkan sifat antibakteri, ketahanan korosi, dan menurunkan modulus elastisitas. Sampel paduan dibuat menggunakan alat *Single Arc Vacuum Furnace* menggunakan gas argon UHP 99,9%. Pengujian yang dilakukan meliputi *X-ray Fluorescence* (XRF), struktur mikro dilakukan menggunakan Mikroskop Optik dan *X-ray diffraction* (XRD), antibakteri dilakukan menggunakan metode *Plate Count* dengan menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*, modulus elastisitas menggunakan metode Ultrasonik Pulsa Gema, dan korosi dengan Polarisasi dalam larutan *Ringer Lactate*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro *as-cast* paduan Ti-6Al-7Nb dengan penambahan Ag dan Cu terjadi penghalusan struktur *lamellar* dan tetap memiliki fasa $\alpha+\beta$ dengan struktur dasar *Widmanstätten* dengan pola *basketweave*. Penambahan unsur Ag dan Cu terbukti meningkatkan sifat antibakteri dan ketahanan korosi, serta menurunkan nilai modulus elastisitas. Namun, penambahan unsur Ag lebih efektif karena menghasilkan nilai sifat antibakteri, ketahanan korosi, dan nilai modulus elastisitas yang lebih optimal. Paduan yang menunjukkan hasil terbaik terdapat pada paduan dengan penambahan 5% Ag dengan nilai laju antibakteri mencapai 95%, laju korosi sebesar 0,00759 *mpy*, dan modulus elastisitas sebesar 82 Gpa.

Kata Kunci: Titanium, Sifat Antibakteri, Ketahanan Korosi, Modulus Elastisitas

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan rasa syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga mampu menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Pengaruh Penambahan Ag dan Cu pada Paduan Ti-6Al-7Nb terhadap Sifat Antibakteri dan Ketahanan Korosi untuk Aplikasi Implan Ortopedi”**. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mengerjakan tugas akhir pada program S1 di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Selesaiannya laporan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, sehingga penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Abdul Aziz, S.T., M. T. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta.
2. Bapak Prof. Alfirano, S. T., M. T., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah membimbing dengan memberikan masukan, kritik, dan motivasi membangun yang berguna bagi penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno MSME selaku pembimbing kedua dari Lembaga Badan Riset dan Inovasi Nasional Kota Bandung (BRIN) yang telah membimbing, memberikan masukan, dan motivasi selama penulis melakukan percobaan di Laboratorium Fisika dan Metalurgi BATAN, Bandung.
4. Orang tua penulis yaitu Ibu Inne Rachmavitriane dan Keluarga Besar Turangga yang telah memberikan bantuan baik moral maupun moril kepada penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.

5. Ibu Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan motivasi dan masukan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
6. Ibu Andinnie Juniarsih, ST., MT. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta.
7. Bapak Toni Agung Priambodo selaku Kepala Inspeksi Teknik yang telah memberikan izin dan membantu dalam penggunaan alat *Ultrasonic Flaw Detector* di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T).
8. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Metalurgi, baik senior, rekan satu angkatan, dan junior atas masukan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan laporan skripsi ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis terbuka terhadap saran, koreksi, dan tanggapan untuk perbaikan berikutnya. Harapan penulis semoga laporan skripsi ini dapat berguna sebagai acuan penelitian bagi penulis dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian dan studi maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis ucapkan terimakasih.

Cilegon, 26 Agustus 2024

Raihan Diva Nauval

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Biomaterial	9
2.2 Titanium Dalam Aplikasi Biomedis.....	12
2.3 Paduan Ti-6Al-7Nb	16
2.4 Paduan Titanium Antibakteri	20
2.5 Sifat Antibakteri Perak dan Tembaga (Cu).....	21

2.6	Pengaruh Ag dan Tembaga Cu Terhadap Sifat Mekanik.....	25
2.7	Pengaruh Ag dan Tembaga Cu Terhadap Ketahanan Korosi	27
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2	Diagram Alir Penelitian	29
3.3	Alat dan Bahan.....	31
3.2.1	Alat-alat yang Digunakan.....	31
3.2.2	Bahan-bahan yang Digunakan.....	32
3.3	Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1	Prosedur Preparasi Sampel Paduan Ti-6Al-7Nb-xAg/Cu.....	33
3.3.2	Prosedur Pengamatan Metalografi	34
3.3.3	Prosedur Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	34
3.3.4	Prosedur Pengujian Ultrasonik	35
3.3.5	Prosedur Pengujian Korosi	36
3.3.6	Prosedur Pengujian Antibakteri.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia	39
4.2	Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	41
4.3	Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	44
4.4	Hasil Pengujian Ultrasonik.....	48
4.5	Hasil Pengujian Korosi.....	54
4.6	Hasil Pengujian Antibakteri	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65

5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	73
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN.....	82
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Paduan Titanium yang Digunakan dalam Aplikasi Biomedis	16
Tabel 2.2 Persyaratan komposisi kimia paduan Ti-6Al-7Nb.....	17
Tabel 2.3 Parameter kurva polarisasi paduan Ti-13Nb-13Zr-xCu.....	28
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Larutan <i>Ringer Lactate</i>	36
Tabel 4.1 Komposisi Paduan Hasil Uji XRF	40
Tabel 4.2 Parameter Struktural Berdasarkan Hasil Pengujian XRD.....	45
Tabel 4.3 Presentase Fasa α dan β Pada Paduan Ti-6Al-7Nb.....	46
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Ultrasonik.....	49
Tabel 4.5 Perbandingan Panjang <i>Nearfield</i> dan Ketebalan Sampel.....	51
Tabel 4.6 Data Berat Ekuivalen, Densitas, dan Luas Permukaan Sampel Uji.....	54
Tabel 4.7 Data Hasil Kurva Polarasasi Tafel	55
Tabel 4.8 Kategori Ketahanan Korosi Relatif.....	58
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Antibakteri	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Klasifikasi Biomaterial.....	10
Gambar 2.2 Klasifikasi Biomaterial Berdasarkan Jenis Material	12
Gambar 2.3 Efek dari (a)penstabil α dan (b)penstabil β pada struktur mikro paduan titanium	15
Gambar 2.4 Pengaruh Komposisi Niobium Terhadap Sifat Mekanik Paduan.....	18
Gambar 2.5 Pengaruh Al pada Sifat Paduan Ti	19
Gambar 2.6 Struktur Mikro <i>as cast</i> Ti-6Al-7Nb.....	20
Gambar 2.7 Mekanisme Antibakteri Ion Logam	22
Gambar 2.8 Sifat Antibakteri Perak dan Tembaga	24
Gambar 2.9 Pengaruh Penambahan Ag terhadap Sifat Mekanik Ti-Nb	26
Gambar 2.10 Pengaruh Penambahan Cu terhadap Sifat Mekanik Ti-13Nb-13Zr .	26
Gambar 2.11 Pengaruh Penambahan Ag terhadap Ketahanan Korosi cp-Ti.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Struktur Mikro <i>As Cast</i> Paduan Ti-6Al-7Nb	41
Gambar 4.2 Struktur Mikro <i>As Cast</i> Paduan Ti-6Al-7Nb	42
Gambar 4.3 Kurva Pengaruh Penambahan Unsur Ag dan Cu Terhadap Intensitas Fasa Relatif yang Terbentuk pada Paduan Ti-6Al-7Nb.....	46
Gambar 4.4 Pola Difraksi Paduan Ti-6Al-7Nb-xAg/Cu	48
Gambar 4.5 Kurva Pengaruh Penambahan Unsur Ag dan Cu Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Paduan Ti-6Al-7Nb	52
Gambar 4.6 Diagram Hasil Variasi Komposisi Ag dan Cu Pada Paduan Ti-6Al-7Nb terhadap Laju Korosi.....	56
Gambar 4.7 Kurva Polarisasi Tafel Paduan Ti-6Al-7Nb-xAg/Cu.....	57

Gambar 4.8 Representatif Hasil Uji Antibakteri <i>As Cast</i> Paduan Ti-6Al-7Nb.....	61
Gambar 4.9 Mekanisme Sifat Antibakteri Paduan Ti-6Al-7Nb-xAg/Cu	63
Gambar C.1 <i>Laminar Air Flow</i>	94
Gambar C.2 Cawan Petri.....	94
Gambar C.3 <i>Bunsen</i>	94
Gambar C.4 Neraca Digital.....	94
Gambar C.5 <i>Single Arc Melting Furnace</i>	94
Gambar C.6 <i>Hot Plate</i>	94
Gambar C.7 XRF Bruker S1 Titan.....	95
Gambar C.8 Inkubator.....	95
Gambar C.9 Mikropipet	95
Gambar C.10 XRD.....	95
Gambar C.11 <i>Ultrasonic Flaw Detector</i>	95
Gambar C.12 Jangka Sorong.....	95
Gambar C.13 <i>Probe Lurus 5 MHz Diameter 0, 25 inci</i>	96
Gambar C.14 <i>Grinding Machine</i>	96
Gambar C.15 <i>Kroll's Reagent</i>	96
Gambar C.16 <i>Set Alat Potensiodimanik</i>	96
Gambar C.17 Larutan <i>Phospate Buffer</i>	96
Gambar C.18 Isolat Bakteri <i>S.aureus</i> A29213.....	96
Gambar C.19 <i>Shot Titanium</i>	97
Gambar C.20 <i>Aquadest</i>	97
Gambar C.21 <i>Shot Tembaga</i>	97

Gambar C.22 <i>Shot Aluminum</i>	97
Gambar C.23 <i>Media Nutrient Broth</i>	97
Gambar C.24 <i>Media Agar</i>	97
Gambar C.25 <i>Shot Perak</i>	98
Gambar C.26 <i>Coupling Agent</i>	98
Gambar C.27 <i>Wire Niobium</i>	98
Gambar C.28 <i>Ringer Lactate</i>	98
Gambar C.29 <i>Gas Argon UHP</i>	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tulang memainkan peran penting dalam tubuh manusia, karena tulang berfungsi sebagai pendukung aktivitas fisik dan melindungi organ-organ tubuh. Kerusakan tulang yang tidak ditangani dapat berdampak terhadap kualitas hidup manusia. Oleh karena itu, diperlukan bahan untuk memperbaiki jaringan tulang yang rusak, yang dikenal sebagai biomaterial [1]. Dilaporkan bahwa lebih dari 2,5 juta perangkat medis terbuat dari logam dan paduannya [2]. Logam dan paduannya, termasuk baja tahan karat, paduan titanium, dan paduan kobalt, telah banyak digunakan secara klinis dalam aplikasi implan tulang. Di antara jenis logam tersebut, titanium dan paduannya menjadi pilihan utama dalam aplikasi implan ortopedi karena memiliki densitas yang rendah, dengan sifat mekanik, ketahanan terhadap korosi, dan biokompabilitas yang baik [3].

Paduan Ti-6Al-7Nb merupakan salah satu paduan titanium yang telah digunakan secara klinis dalam aplikasi implan ortopedi untuk menggantikan paduan Ti-6Al-4V ELI (*Extra Low Interstitial*). Paduan Ti-6Al-7Nb menggunakan unsur niobium sebagai unsur penstabil β , karena unsur vanadium diketahui berbahaya bagi tubuh manusia. Paduan ini memiliki biokompatibilitas, ketahanan terhadap korosi, dan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan paduan Ti-6Al-4V [4]. Namun, perlu diketahui penggunaan jangka panjang biomaterial logam sebagai perangkat implan dapat menyebabkan adhesi mikroorganisme pada perangkat

implan, yang dapat berpotensi menyebabkan suatu prognosis baru [5]. Adhesi mikroorganisme dapat menyebabkan penyakit infeksi akibat implan (*Implant-Related Infection/IRI*), yang merupakan infeksi serius yang terjadi setelah pemasangan implan ortopedi. Infeksi ini menyebabkan osteomyelitis (peradangan tulang) dan kegagalan implan, yang kemudian memerlukan tindakan bedah ulang untuk memperbaiki jaringan yang terinfeksi (*debridement*) dan mengganti implan yang rusak. *Staphylococcus aureus* merupakan patogen yang menyebabkan sebagian besar kasus penyakit infeksi akibat implan (IRI). *Staphylococcus Aureus* Yang Resisten Terhadap Metisilin (MRSA) akan memperburuk penyakit infeksi akibat implan (IRI), karena pembentukan biofilm yang dapat melindungi bakteri dari sistem kekebalan tubuh dan pengobatan antibiotik, sehingga mempersulit proses penyembuhan. Jika dibandingkan bagian spesialisasi medis lainnya, tingkat terjadinya MRSA lebih tinggi di bagian spesialisasi ortopedi [6]. Di Amerika Serikat, terdapat sekitar 2,6 juta implan ortopedi dipasang setiap tahun, dan sekitar 112.000 di antaranya (4,3%) mengalami infeksi dalam berbagai tingkatan. Selain itu, terdapat kejadian infeksi setelah operasi penggantian lutut (*total knee arthroplasty*) berkisar antara 0,5% hingga 5%, sedangkan pada operasi penggantian pinggul (*total hip arthroplasty*) berkisar antara 0,6% hingga 16% [7].

Dalam pengembangan paduan untuk aplikasi implan ortopedi, nilai modulus elastisitas dari sebuah implan perlu dipertimbangkan karena sifat ini memengaruhi distribusi tegangan. Semakin besar perbedaan modulus elastisitas ini dibandingkan dengan jaringan tulang, semakin besar kemungkinan terjadinya fenomena *stress shielding*. Implan akan menanggung sebagian besar beban, jaringan tulang membawa beban biologis yang rendah, menyebabkan resorpsi jaringan tulang dan

meningkatkan risiko kegagalan implan [8 - 9]. Selain itu, sifat ketahanan korosi merupakan faktor yang sangat penting dalam proses desain paduan untuk digunakan pada tubuh manusia (*in vivo*). Proses korosi dapat mengakibatkan pelepasan zat alergenik, toksik, sitotoksik, atau karsinogenik yang berdampak negatif pada biokompatibilitas implan [10].

Oleh karena itu, diperlukan suatu penanganan yang lebih terarah pada pencegahan terjadinya infeksi dan pembentukan biofilm akibat bakteri pada daerah implantasi, dengan tetap memperhatikan nilai modulus elastisitas dan ketahanan terhadap korosi. Salah satu penanganan adhesi mikroorganisme pada implan dapat dilakukan dengan *alloying* menggunakan unsur yang memiliki ketahanan terhadap bakteri. Di antara teknologi pencegahan pertumbuhan bakteri pada implan, metode *alloying* memiliki ketahanan sifat antibakteri jangka panjang jika dibandingkan metode *surface modification*. Pada metode *surface modification*, ketahanan sifat antibakteri dapat lebih rentan terhadap keausan atau abrasi ketika dilakukan proses permesinan [2].

Saat ini, penggunaan unsur Ag (perak) dan Cu (tembaga) banyak digunakan dalam pengembangan logam paduan antibakteri. Penggunaan perak dalam paduan antibakteri dikarenakan sifat antibakterinya yang efektif melawan berbagai jenis bakteri. Konsentrasi hambat minimum (*Minimum Inhibitory Concentration/MIC*) untuk perak mencapai 37,4 μM , menunjukkan perak sebagai pilihan yang efektif untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri dan mencegah infeksi pada tingkat konsentrasi yang rendah. Penggunaan tembaga dalam paduan antibakteri juga memiliki efisiensi ketahanan terhadap bakteri dibandingkan dengan unsur lain. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah koloni bakteri, efektivitas antibakteri unsur

logam tersebut berurutan dari tinggi ke rendah adalah $Pb > Cu > Co > Zn > Ni > Zr > Mo$ [2].

Penelitian telah menunjukkan bahwa paduan biomedis yang mengandung Ag dan Cu dalam Ti murni dan paduan Ti memiliki sifat antibakteri yang sangat baik. Bao *et al.*, (2022) telah membuktikan penggunaan unsur Ag terhadap sifat antibakteri dengan menggunakan paduan $Ti_{50}Zr_{25}Nb_{25}-Ag_x$ ($x = 1\%$, 3% , dan 5%), didapatkan peningkatan laju antibakteri seiring dengan penambahan komposisi Ag menjadi $81,4\%$, $98,0\%$, dan $99,1\%$ terhadap bakteri *S.aureus* [8]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ren *et al.*, (2014) membuktikan penggunaan unsur Cu terhadap sifat antibakteri dengan menggunakan paduan Ti-6Al-4V. Seiring dengan peningkatan kandungan Cu, aktivitas antibakteri dari paduan Ti-6Al-4V- x Cu ($x = 1\%$, 3% , dan 5%) semakin meningkat dan mampu membunuh hampir semua koloni bakteri *S.aureus* dan *E.coli* [7].

Penambahan Ag dan Cu ke dalam paduan tidak hanya memberikan sifat antibakteri yang kuat, tetapi juga memberikan dampak positif pada sifat mekanik dan ketahanan korosi. Sebagai unsur penstabil fasa β , tembaga dan perak dapat mengurangi temperatur transisi fasa β , memperluas wilayah fasa β , dan memfasilitasi pembentukan struktur fasa β [11]. Cai *et al.*, (2024) menggunakan paduan $Ti-Nb_{13}-Nb_{13}-Ag_x$ ($x = 7\%$ dan 10%) telah membuktikan peningkatan kandungan Ag dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi dari paduan Ti-13Nb-13Zr- x Ag serta mengurangi modulus elastisitasnya [12]. Sedangkan penelitian lainnya yang membuktikan pengaruh kandungan Cu dilakukan oleh Yuan *et al.*, (2021) menggunakan paduan $Ti-Nb_{13}-Zr_{13}-Cu_x$ ($x = 4\%$, 7% , 10% , dan

13%) telah membuktikan, penambahan unsur Cu memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai modulus elastisitas dan rapat arus korosi [13].

Pada penelitian ini, paduan Ti-6Al-7Nb dipilih sebagai matrix dengan variasi komposisi unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%) dipilih sebagai unsur antibakteri untuk mengidentifikasi perbedaan respons paduan terhadap perubahan komposisi Ag dan Cu. Paduan Ti-6Al-7Nb-xAg/Cu dirancang untuk meningkatkan sifat antibakteri dan ketahanan korosi dengan mempertahankan nilai modulus elastisitas tetap rendah. Penambahan unsur Ag dan Cu pada paduan Ti-6Al-7Nb belum pernah dilakukan, hal inilah yang mendasari perlunya dilakukan penelitian untuk menghasilkan data teknis yang dipertimbangkan penggunaannya dalam aplikasi implan ortopedi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, didapatkan identifikasi masalah yang ada dalam penelitian ini yaitu mengetahui nilai aktivitas antibakteri, ketahanan korosi, dan modulus elastisitas pada paduan Ti-6Al-7Nb terhadap variasi komposisi unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%). Seluruh variasi tersebut akan dibandingkan dengan paduan tanpa penambahan Ag dan Cu untuk mengetahui unsur antibakteri yang efektif dalam meningkatkan nilai aktivitas antibakteri dan ketahanan korosi dengan mempertahankan nilai modulus elastisitas yang rendah. Hal ini dilakukan karena keberadaan implan dapat meningkatkan respons tubuh terhadap bakteri, yang menyebabkan besar kemungkinan terjadinya infeksi akibat implan. Selain itu, untuk mencegah terjadinya efek *stress shielding* dan meningkatkan biokompatibilitas pada implan. Dengan mengetahui pengaruh penambahan Ag dan Cu yang dilakukan, diharapkan dapat diprediksi potensi

material implan ortopedi yang memiliki sifat antibakteri dan ketahanan korosi yang kuat dengan nilai modulus elastitas yang rendah.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan material implan medis dengan sifat antibakteri dan ketahanan korosi tinggi dengan nilai modulus elastisitas yang rendah. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis penambahan unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%) terhadap nilai laju antibakteri *staphylococcus aureus* pada paduan Ti-6Al-7Nb.
2. Menganalisis pengaruh penambahan unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%) terhadap nilai laju korosi paduan Ti-6Al-7Nb pada larutan simulasi tubuh *ringer lactate*.
3. Menganalisis pengaruh penambahan unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%) terhadap nilai modulus elastisitas paduan Ti-6Al-7Nb.
4. Menganalisis pengaruh penambahan unsur Ag (1%, 3%, 5%) dan Cu (1%, 3%, 5%) terhadap struktur mikro yang terbentuk pada paduan Ti-6Al-7Nb.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu meliputi:

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan *As-Cast* paduan Ti-6Al-7Nb dengan bahan baku *shot* titanium, niobium, aluminium,

tembaga, dan perak dengan kadar 99% menggunakan *Single Arc Melting Furnace*.

2. Karakterisasi sampel sebelum dilakukan pengujian menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi paduan.

3. Variasi tetap:

Variasi Komposisi Ag dan Cu masing-masing adalah 1%, 3%, dan 5%.

4. Variasi terikat:

a. Nilai modulus elastisitas

b. Laju antibakteri

c. Struktur mikro

d. Laju korosi

5. Pengujian yang dilakukan:

a. Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan XRD.

b. Pengujian modulus elastisitas menggunakan uji ultrasonik pulsa gema.

c. Pengujian korosi menggunakan metode polarisasi dengan menggunakan *ringer lactate* sebagai larutan simulasi tubuh.

d. Pengujian antibakteri menggunakan metode *total plate count* menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab I menjelaskan latar belakang, identifikasi masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan mengenai tinjauan Pustaka yang berisi penjelasan teori secara umum tentang biomaterial, titanium dalam aplikasi

biomedis, paduan Ti-6Al-7Nb, paduan titanium antibakteri, sifat antibakteri perak dan tembaga, dan penelitian yang relevan mengenai pengaruh perak dan tembaga terhadap sifat antibakteri, sifat mekanik, dan ketahanan terhadap korosi. Bab III menjelaskan mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, metode penelitian yang berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian mulai dari preparasi hingga proses pengamatan dan pengujian. Bab IV menjelaskan hasil dan pembahasan dari data hasil *alloying* dengan variasi unsur Ag dan Cu (1%, 3%, dan 5%) serta membahas mengenai hubungan variable tetap terhadap variable terikat pada penelitian yang telah dilakukan. Bab V menjelaskan tentang kesimpulan penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya. Daftar Pustaka berisi berbagai referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi. Dan pada akhir skripsi terdapat lampiran yang berisi perhitungan, data pengujian, dan gambar alat serta bahan yang digunakan pada penelitian mengenai pengaruh penambahan Ag dan Cu terhadap sifat antibakteri dan ketahanan korosi pada paduan Ti-6Al-7Nb.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Xue *et al.*, “Bone Tissue Engineering in the Treatment of Bone Defects,” *Pharmaceuticals*, vol. 15, no. 7, p. 879, Jul. 2022, doi: 10.3390/ph15070879.
- [2] E. Zhang, X. Zhao, J. Hu, R. Wang, S. Fu, and G. Qin, “Antibacterial metals and alloys for potential biomedical implants,” *Bioact Mater*, vol. 6, no. 8, pp. 2569–2612, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.01.030.
- [3] Ş. Culfa and S. M. Toker, “Interaction of Ti-6Al-7Nb alloy with simulated body fluid; a preliminary biocompatibility investigation,” *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, vol. 4, no. 3, pp. 111–117, Dec. 2023, doi: 10.51753/flsrt.1294479.
- [4] M. Fellah *et al.*, “Tribological behavior of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb Alloys for Total Hip Prosthesis,” *Advances in Tribology*, vol. 2014, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1155/2014/451387.
- [5] H. P. Felgueiras, “Special Issue ‘Antimicrobial Biomaterials: Recent Progress,’” *Int J Mol Sci*, vol. 25, no. 13, p. 7153, Jun. 2024, doi: 10.3390/ijms25137153.
- [6] Y. Zhuang, L. Ren, S. Zhang, X. Wei, K. Yang, and K. Dai, “Antibacterial effect of a copper-containing titanium alloy against implant-associated infection induced by methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*,” *Acta Biomater*, vol. 119, pp. 472–484, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.actbio.2020.10.026.
- [7] L. Ren *et al.*, “Antibacterial properties of Ti-6Al-4V-xCu alloys,” *J Mater Sci Technol*, vol. 30, no. 7, pp. 699–705, 2014, doi: 10.1016/j.jmst.2013.12.014.
- [8] X. Bao *et al.*, “ β duplex phase Ti–Zr–Nb–Ag alloys with impressive mechanical properties, excellent antibacterial and good biocompatibility,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 19, pp. 5008–5016, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.07.007.
- [9] J. Dias Corpa Tardelli, B. Monteiro de Barros Ciribelli Alves, M. Lima da Costa Valente, and A. Cândido dos Reis, “Influence of the modulus of elasticity of dental implants on the distribution of stresses in the alveolar

- bone by the finite element method: A systematic review,” *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol*, vol. 35, no. 5, pp. 383–389, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.ajoms.2023.02.008.
- [10] N. Eliaz, “Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review,” *Materials*, vol. 12, no. 3, p. 407, Jan. 2019, doi: 10.3390/ma12030407.
- [11] M. Kikuchi, M. Takahashi, and O. Okuno, “Elastic moduli of cast Ti–Au, Ti–Ag, and Ti–Cu alloys,” *Dental Materials*, vol. 22, no. 7, pp. 641–646, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.dental.2005.05.015.
- [12] D. Cai *et al.*, “Effect of Ag content on the microstructure and antibacterial activity of biomedical titanium alloy Ti-13Nb-13Zr-xAg (x = 7,10 wt%),” *Mater Lett*, vol. 354, p. 135389, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.matlet.2023.135389.
- [13] Y. Yuan, Z. Ke, L. Zhang, Y. Jiang, and Z. He, “Mechanical, corrosion and antibacterial properties of Ti-13Nb-13Zr-based alloys with various Cu contents,” *Mater Res Express*, vol. 8, no. 11, Nov. 2021, doi: 10.1088/2053-1591/ac2f74.
- [14] N. Randi Pratama and D. Hadi Prajitno, “Corrosion Behavior of Ternary Zr-25Ti-5Sn Alloy Doped with Ge as Biomaterials Implant in Simulation Body Fluid Solution,” *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, vol. 2722–3213, no. 04, pp. 59–67, 2020, Accessed: Jul. 10, 2024. [Online]. Available: <https://mechta.ub.ac.id/index.php/mechta/article/view/26/9#:~:text=The%20results%20of%20corrosion%20testing,values%20of%201%2D5%20mpy>.
- [15] K. S. Ødegaard, J. Torgersen, and C. W. Elverum, “Structural and biomedical properties of common additively manufactured biomaterials: A concise review,” Dec. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/met10121677.
- [16] F. D. Al-Shalawi *et al.*, “Biomaterials as Implants in the Orthopedic Field for Regenerative Medicine: Metal versus Synthetic Polymers,” Jun. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/polym15122601.
- [17] N. Filip *et al.*, “Biomaterials in Orthopedic Devices: Current Issues and Future Perspectives,” Oct. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/coatings12101544.

- [18] A. Bharadwaj, "An Overview on Biomaterials and Its Applications in Medical Science," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1116, no. 1, p. 012178, Apr. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1116/1/012178.
- [19] J. Quinn, R. Mcfadden, C.-W. Chan, and L. Carson, "iScience Titanium for Orthopedic Applications: An Overview of Surface Modification to Improve Biocompatibility and Prevent Bacterial Biofilm Formation," *iScience*, vol. 23, p. 101745, 2020, doi: 10.1016/j.isci.
- [20] C. Oldani and A. Dominguez, "Titanium as a Biomaterial for Implants," in *Recent Advances in Arthroplasty*, InTech, 2012. doi: 10.5772/27413.
- [21] E. Marin and A. Lanzutti, "Biomedical Applications of Titanium Alloys: A Comprehensive Review," Jan. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/ma17010114.
- [22] J. C. W. Gerd Lütjering, *Titanium*, 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. doi: 10.1007/978-3-540-73036-1.
- [23] J. Disegi, *Implant Materials. Titanium-6% Aluminum-7% Niobium*. Second Edition About the Cover. Synthes, 2008. Accessed: Jul. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/235706163/ImplantMaterials-Titanium-6-Aluminum-7-Niobium>
- [24] ASTM F1295-22, "Standard Specification for Wrought Titanium-6Aluminum-7Niobium Alloy for Surgical Implant Applications {UNS R56700} 1", doi: 10.1520/F129.
- [25] Y. Zhang, D. Sun, J. Cheng, J. K. H. Tsoi, and J. Chen, "Mechanical and biological properties of Ti-(0–25 wt%)Nb alloys for biomedical implants application," *Regen Biomater*, vol. 7, no. 1, pp. 119–127, Feb. 2020, doi: 10.1093/rb/rbz042.
- [26] M. Shakir Hashim, "Corrosion and Structure Characterization of Anodized Ti-6Al-7Nb Alloy," *Eng. & Tech. Journal*, vol. 32, no. 3, 2014, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/340527521>
- [27] C. Sutowo, F. Rokmanto, M. Waluyo K, and Alfirano, "Pengaruh Variasi Temperatur Solution Treatment Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Paduan Ti-6al-6nb Untuk Aplikasi Biomedis," *Jurnal Universitas*

Muhammadiyah Jakarta, Nov. 2017, Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

- [28] S. C. J. van Dun *et al.*, “Influence of surface characteristics of implant materials on MRSA biofilm formation and effects of antimicrobial treatment,” *Front Microbiol*, vol. 14, 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1145210.
- [29] B. Sun, X. L. Meng, Z. Y. Gao, and W. Cai, “Martensite structure and mechanical property of Ti-Nb-Ag shape memory alloys for biomedical applications,” *Vacuum*, vol. 156, pp. 181–186, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.vacuum.2018.07.029.
- [30] C. Pu *et al.*, “Effect of Ag addition on the microstructure and corrosion properties of Sn–9Zn lead-free solder,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 27, pp. 6400–6411, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.11.123.
- [31] J. Liu, Y. Zhao, R. Hu, M. Zhang, and Y. Ding, “Effects of Cu and Ag Elements on Corrosion Resistance of Dual-Phase Fe-Based Medium-Entropy Alloys,” *Materials*, vol. 16, no. 8, p. 3243, Apr. 2023, doi: 10.3390/ma16083243.
- [32] M. Chen *et al.*, “Effect of nano/micro-Ag compound particles on the bio-corrosion, antibacterial properties and cell biocompatibility of Ti-Ag alloys,” *Materials Science and Engineering: C*, vol. 75, pp. 906–917, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.msec.2017.02.142.
- [33] F. Sasmita, C. Claudia, G. Wibisono, T. Z. S. Tarigan, H. Judawisastra, and T. A. Priambodo, “Penentuan Modulus Elastisitas Logam Dengan Metode Ultrasonik Pulsa Gema,” *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, vol. 8, no. 1, p. 27, Dec. 2019, doi: 10.37209/jtbtt.v8i1.115.
- [34] Y. Marsumi and A. W. Pramono, “Influence of Niobium or Molybdenum in Titanium Alloy for Permanent Implant Application,” *Adv Mat Res*, vol. 900, pp. 53–63, Feb. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.900.53.
- [35] C. Zhong *et al.*, “Laser metal deposition of Ti6Al4V-A brief review,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 3, Feb. 2020, doi: 10.3390/app10030764.

- [36] Aoki T, Okafor IC, Watanabe I, Hattori M, Oda Y, Okabe T. Mechanical properties of cast Ti-6Al-4V-XCu alloys. *J Oral Rehabil*. 2004 Nov;31(11):1109-14. doi: 10.1111/j.1365-2842.2004.01347.x. PMID: 15525390.
- [37] M. K. Han, M. J. Hwang, D. H. Won, Y. S. Kim, H. J. Song, and Y. J. Park, "Massive transformation in titanium-silver alloys and its effect on their mechanical properties and corrosion behavior," *Materials*, vol. 7, no. 9, pp. 6194–6206, 2014, doi: 10.3390/ma7096194.
- [38] P. Christianto and H. Purwaningsih, "Analisa Rietveld terhadap Transformasi Fasa ($\alpha \rightarrow \beta$) pada Solid Solution Ti-3 at.% Al pada Proses Mechanical Alloying dengan Variasi Milling Time," *JURNAL Teknik Pomits*, vol. Vol. 2, no. No. 1, 2013, Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/2284>
- [39] R. Yamanoglu, F. Khoshnaw, I. Daoud, and E. Efendi, "Effect of silver content on the wear and mechanical properties of powder metallurgical ti-5al-2.5fe-xag alloys," *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, vol. 56, no. 1, pp. 119–125, 2020, doi: 10.2298/JMMB190319056Y.
- [40] B. Ekmekci, "Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM)," *Appl Surf Sci*, vol. 253, no. 23, pp. 9234–9240, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.apsusc.2007.05.078.
- [41] M. Fahrur Rozy, A. Hadi Djaelani, and M. Agus Choiron, "Pemanfaat Frekuensi Bunyi Material Sebagai Dasar Pengujian Modulus Elastisitas Pada Pengujian Tanpa Merusak (Non Destructive Test)," *Jurnal ROTOR*, vol. 6, no. 1, 2013. <<https://jurnal.unej.ac.id/index.php/RTR/article/view/1163>>.
- [42] J. Black and G. Hastings, *Handbook of Biomaterial Properties*, vol. First Edition. Springer US, 1998. doi: 10.1007/978-1-4615-5801-9.
- [43] R. Chaim and M. Hefetz, "Effect of grain size on elastic modulus and hardness of nanocrystalline ZrO₂-3 wt% Y₂O₃ ceramic," *J Mater Sci*, vol. 39, no. 9, pp. 3057–3061, May 2004, doi: 10.1023/B:JMSC.0000025832.93840.b0.

- [44] M. Pourbaix, *Atlas of Electrochemical Equilibria in-Aqueous Solutions*, 2nd English Ed. Houston: NACE International, National Association of Corrosion Engineers, 1974. Accessed: Jul. 10, 2024. [Online]. Available: <http://sunlight.caltech.edu/aic/pourbaix.pdf>
- [45] M. G. Fontana, *Corrosion engineering*, Third. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. Doi: 10.4236/ojapps.2022.125044
- [46] K. Aniołek *et al.*, “Mechanical properties, corrosion resistance and bioactivity of oxide layers formed by isothermal oxidation of ti-6al-7nb alloy,” *Coatings*, vol. 11, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/coatings11050505.
- [47] K. D. Ralston and N. Birbilis, “Effect of Grain Size on Corrosion: A Review,” *CORROSION*, vol. 66, no. 7, pp. 075005-075005–13, Jul. 2010, doi: 10.5006/1.3462912.
- [48] D. Cai *et al.*, “A novel biomedical titanium alloy with high antibacterial property and low elastic modulus,” *J Mater Sci Technol*, vol. 81, pp. 13–25, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jmst.2021.01.015.
- [49] X. Mao *et al.*, “The Influence of Copper Content on the Elastic Modulus and Antibacterial Properties of Ti-13Nb-13Zr-xCu Alloy,” *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 7, p. 1132, Jul. 2022, doi: 10.3390/met12071132.