

**Pembuatan *Biomaterial Fe Cr Ag* untuk Material Implan
(*Making Fe Cr Ag Biomaterials for Implant Materials*)**

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Wilan Raenaldy Tasmaya

NPM: 163030048



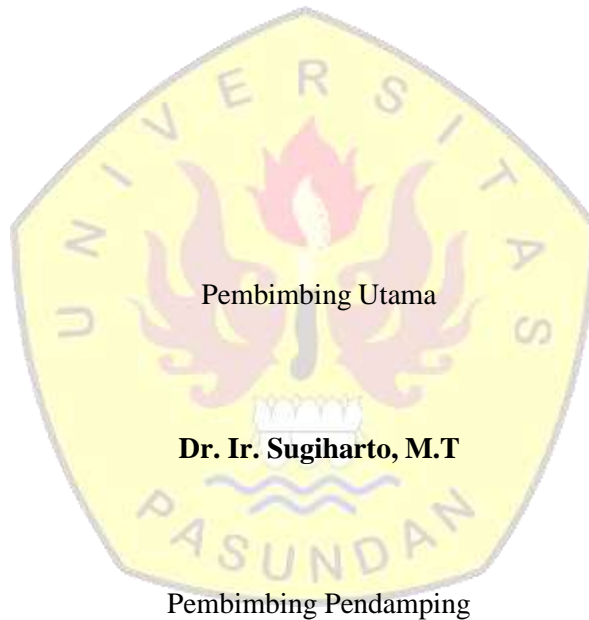
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Pembuatan *Biomaterial* Fe Cr Ag untuk Material Implan



Nama : Wilan Raenaldy Tasmaya
NPM : 163030048



Dr. Ir. Djoko H. Prajitno, MSME

ABSTRAK

Biomaterial implan merupakan salah satu pilihan untuk memperbaiki atau menggantikan fungsi organ tubuh manusia. Banyaknya permintaan akan implan dan *biomaterial* terus memotivasi para peneliti untuk melakukan berbagai penelitian. Untuk mencegah penolakan dari dalam tubuh, salah satu persyaratan material implan adalah ketahanan korosi yang tinggi. Oleh sebab itu dilakukan penelitian dengan komposisi material Fe-Cr-Ag, penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat kekerasan pada logam paduan Fe-Cr-Ag, bagaimana struktur dan komposisi sampel pada logam paduan Fe-Cr-Ag, bagaimana sifat korosi pada logam paduan Fe-Cr-Ag dalam larutan ringer laktat dengan metode polarisasi. Material yang digunakan Fe-17Cr-1Ag dan Fe-17Cr-5Ag. Prosedur peleburan menggunakan *Single Arc Melting Furnace* dengan lingkungan atmosfer gas argon. Hasil dari spesimen setelah melakukan prosedur peleburan dilanjutkan dengan *treatment* pada spesimen terlebih dahulu kemudian dianalisis dengan menggunakan mikroskop optik, SEM-EDS, uji kekerasan Vickers, dan uji korosi. Hasil uji vickers, variasi komposisi Ag dapat mempengaruhi tingkat kekerasan spesimen, terbukti bahwa spesimen Fe-Cr-5Ag memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dengan nilai kekerasan rata-rata 268,31 HV sedangkan spesimen Fe-Cr-1Ag memiliki tingkat kekerasan rata-rata 159,78 HV. Data SEM memperlihatkan perbedaan antara spesimen Fe-Cr-1Ag dan Fe-Cr-5Ag yang memiliki karakteristik material yang sangat berbeda. Berdasarkan hasil pengujian EDS, paduan Fe-Cr-1Ag dan Fe-Cr-5Ag tidak jauh berbeda namun memiliki tingkat error yang cukup tinggi pada komposisi Ag di kedua spesimen tersebut, penyebab dapat terjadinya error tersebut adalah spot atau titik saat melakukan pengujian EDS tidak secara menyeluruh pada permukaan spesimen sehingga material Ag tidak terbaca sepenuhnya dan oksidasi pada Ag karena pada saat proses peleburan berada di temperatur $\pm 2000^{\circ}\text{C}$ sehingga pada temperatur tersebut material Ag telah melebihi titik didih. Dengan menggunakan potensiostat dan metode polarisasi Tafel dalam larutan ringer laktat, Hasil pengujian korosi menunjukkan data dimana laju korosi tertinggi dalam larutan ringer laktat adalah paduan Fe-Cr-1%Ag, dengan laju korosi 112.1 mpy, sedangkan spesimen dengan laju korosi terendah adalah spesimen Fe-Cr-5%Ag, dengan laju korosi 0.923 mpy.

Kata kunci: *Biomaterial* Fe-Cr-Ag

ABSTRACT

Biomaterials are one of the options to repair or replace the function of human organs. The high demand for implants and biomaterials continues to motivate researchers to conduct various studies. To prevent rejection from within the body, one of the requirements of implant materials is high corrosion resistance. Therefore, research was conducted with Fe-Cr-Ag material composition, this research aims to determine how the hardness properties of Fe-Cr-Ag alloy metal, how the structure and composition of samples in Fe-Cr-Ag alloy metal, how the corrosion properties of Fe-Cr-Ag alloy metal in lactic ringer solution by polarization method. The materials used were Fe-17Cr-1Ag and Fe-17Cr-5Ag. The melting procedure used Single Arc Melting Furnace with argon gas atmosphere environment. The results of the specimens after the melting procedure were followed by treatment on the specimens first and then analyzed using optical microscopy, SEM-EDS, Vickers hardness test, and corrosion test. Vickers test results, Ag composition variation can affect the hardness level of the specimen, it is proven that the Fe-Cr-5Ag specimen has a higher hardness level with an average hardness value of 268.31 HV while the Fe-Cr-1Ag specimen has an average hardness level of 159.78 HV. SEM data shows the difference between Fe-Cr-1Ag and Fe-Cr-5Ag specimens which have very different material characteristics. Based on the results of EDS testing, Fe-Cr-1Ag and Fe-Cr-5Ag alloys are not much different but have a fairly high error rate on the composition of Ag in both specimens, the cause of the error is the spot or point when doing EDS testing is not thoroughly on the surface of the specimen so that the Ag material is not fully read and oxidation on Ag because during the smelting process at a temperature of $\pm 2000^{\circ}C$ so that at that temperature the Ag material has exceeded the boiling point. By using a potentiostat and Tafel polarization method in lactated ringer solution, the corrosion test results show data where the highest corrosion rate in lactated ringer solution is Fe-Cr-1%Ag alloy, with a corrosion rate of 112.1 mpy, while the specimen with the lowest corrosion rate is Fe-Cr-5%Ag specimen, with a corrosion rate of 0.923 mpy.

Keywords : Biomaterial Fe-Cr-Ag

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel	viii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Rumusan Masalah.....	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Batasan Masalah	3
6. Sistematika Penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
1. <i>Biomaterial</i>	5
2. Dental implan.....	9
3. Besi (Fe).....	10
4. Kromium (Cr)	11
5. Perak (Ag).....	11
6. Korosi.....	12
7. Pengecoran dan peleburan logam	14
8. Laju korosi	14
BAB III METODELOGI PENELITIAN	16
1. Tahapan Penelitian.....	16
2. Tempat penelitian.....	17
3. Setup Pengukuran/Pengujian	18
4. Alat Ukur dan Bahan yang digunakan	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
1. Hasil Pengukuran/Pengujian dan Pembahasan.....	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34

Kesimpulan	34
Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	39



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Indonesia memiliki sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan *biomaterial*, maka sangat penting untuk mengkaji sumber daya alam tersebut agar dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian selanjutnya tentang *biomaterial* yang dibuat dari bahan baku Indonesia.

Kemajuan baru dalam teknologi telah memungkinkan untuk menggantikan organ manusia yang rusak dengan yang berfungsi sebagaimana mestinya. Karena banyaknya kecelakaan dan penyakit yang merusak organ tubuh manusia, semakin banyak penelitian yang dilakukan tentang *biomaterial*. *Biomaterial* adalah bahan buatan manusia yang digunakan untuk menggantikan atau mengganti fungsi jaringan atau cairan tubuh, atau untuk membantu mengembalikan fungsi jaringan tubuh. *Biomaterial* digunakan untuk memperbaiki jaringan yang rusak atau memburuk sehingga pasien dapat memiliki kualitas hidup yang lebih baik. *Biomaterial* terbaik adalah yang tidak bereaksi buruk dengan jaringan tubuh, tahan terhadap korosi, dan memiliki kekuatan fisik dan ketangguhan yang baik. Perangkat implan, seperti yang digunakan dalam ortopedi, kedokteran gigi, kedokteran kardiovaskular, dan sebagainya, itu adalah salah satu cara penggunaan *biomaterial*.

Biomaterial dalam implan gigi atau *dental implant* adalah salah satu langkah yang digunakan untuk meningkatkan kesehatan manusia. Banyak variabel yang dapat menyebabkan kerusakan pada gigi, termasuk asupan gula yang berlebihan, penuaan, kecelakaan, dan kondisi mulut yang tidak higienis adalah penyebab paling umum dari gangguan dan kerusakan gigi pada manusia, implan gigi merupakan alternatif bagi individu dengan gigi yang hilang [1].

Alat kesehatan yang berinteraksi langsung dengan sistem biologis pada saat digunakan sering kali dibuat dengan menggunakan bahan sintesis yang berperan sebagai *biomaterial*. Setiap jenis bahan, termasuk logam, komposit, polimer, dan keramik, dapat digunakan dalam produksi *biomaterial*. Meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan manusia harus menjadi fokus dari semua upaya yang dilakukan untuk menemukan *biomaterial* yang sesuai [2].

Paduan titanium telah menjadi bahan implan yang paling sering digunakan dalam kedokteran gigi hingga saat ini. Titanium (Ti) adalah *bioinert* dan memiliki kekuatan yang besar. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian lebih lanjut telah dilakukan pada toksisitas titanium. Implan gigi yang terbuat dari titanium dapat menyebabkan korosi dan keausan. Karena korosi dan keausan, partikel dan ion titanium serta komponen paduan titanium dapat menumpuk di jaringan sekitarnya, menyebabkan respons peradangan [1].

Terjadinya masalah implan gigi disebabkan oleh keausan dan korosi, yang dapat menyebabkan peradangan. Sangat penting untuk menghasilkan bahan dengan kualitas yang diperlukan untuk mengatasi masalah yang muncul, maka pada kesempatan ini telah memproduksi bahan paduan dengan kemampuan ketangguhan, anti korosi, dan anti bakteri yang diharapkan sesuai dengan harapan. Oleh karena itu logam paduan Fe, Cr, dan Ag diharapkan dapat digunakan sebagai *biomaterial* implan gigi alternatif di masa depan.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan informasi yang disajikan di atas, masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Bagaimana pembuatan paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag
- Bagaimana sifat kekerasan pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag
- Bagaimana struktur dan komposisi sampel pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag
- Bagaimana sifat korosi pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag

3. Tujuan

Pembuatan material ini ditujukan untuk pengembangan logam paduan material implan. Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- Melakukan pembuatan paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag
- Melakukan pengujian *Vickers* untuk mengetahui kekerasan pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag.
- Melakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan melakukan pengujian SEM-EDS untuk menganalisis struktur dan komposisi sampel pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag.
- Melakukan pengujian korosi guna mengetahui sifat korosi pada logam paduan Fe-Cr-1% Ag dan Fe-Cr-5% Ag.

4. Manfaat

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya, sebagai berikut:

- Memberikan pengetahuan tentang pembuatan, kekerasan, struktur mikro, ketahanan korosi dan yang lainnya pada logam paduan Fe-Cr-Ag.
- Memperluas wawasan tentang *biomaterial* yang diteliti dan pengembangan material implan gigi bagi pembaca dan penulis.
- Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan alternatif *biomaterial* untuk implan gigi yang memiliki ketahanan korosi dan sifat antibakteri yang baik di dalam tubuh manusia.

5. Batasan Masalah

Agar penulisan penelitian ini lebih jelas dan terarah maka perlu adanya pembatasan masalah yang akan dibahas, yaitu:

- Pembuatan logam paduan ini terdiri dari 3 jenis logam yaitu Fe-Cr-Ag.
- Pada penelitian ini hanya sebatas pembuatan logam paduan Fe-Cr-Ag tidak berupa produk implan yang siap digunakan.
- Material yang diuji yaitu logam paduan Fe-Cr-Ag.
- Pengujian yang dilakukan adalah uji *Vickers*, uji korosi, dan uji SEM EDS.
- Pengujian korosi menggunakan metode polarisasi Standard (ASTM G59).
- Media pada pengujian laju korosi menggunakan *Simulated Body Fluid* (SBF) larutan *ringer laktat*.
- Penelitian ini hanya sebatas pembuatan dan pengujian logam paduan Fe-Cr-Ag yang di tujukan untuk material dental implan.

6. Sistematika Penulisan

Laporan ini disusun bab demi bab dan terdiri dari empat bab, isi masing-masing bab adalah sebagai berikut:

Bab I membahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II membahas teori dasar yang mendukung penelitian dengan meninjau dari sejumlah buku dan jurnal. Tentang *biomaterial*, implan gigi, logam besi (Fe), logam krom (Cr), dan logam perak (Ag), korosi, pengecoran dan peleburan logam, laju korosi. Bab III membahas tentang tahapan penelitian pembuatan *biomaterial* Fe-Cr-Ag untuk material implan, lokasi pengujian, peralatan dan bahan yang digunakan, setup pengukuran/pengujian, metode pengukuran/pengujian, dan metode pengolahan data. Bab IV membahas data hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan mengenai data hasil penelitian tersebut sesuai dengan parameter penelitian yang dilakukan. Bab V membahas kesimpulan yang didapatkan dari pembahasan data hasil penelitian dan saranyang dapat dilakukan untuk penelitian serupa dimasa yang akan datang. Daftar pustaka, bab ini berisikan susunan tulisan di akhir sebuah karya ilmiah yang isinya berupa nama penulis, judul tulisan, penerbit, identitas penerbit, dan tahun terbit. Lampiran, bab ini merupakan dokumen tambahan yang ditambahkan ke dokumen utama.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil pengujian vickers, variasi komposisi Ag dapat mempengaruhi tingkat kekerasan pada spesimen, hal tersebut terbukti bahwa spesimen Fe-Cr-1Ag memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 268,31 HV sedangkan pada spesimen Fe-Cr-5Ag memiliki tingkat kekerasan rendah dengan rata-rata sebesar 159,78 HV.
- Berdasarkan hasil pengujian SEM, terlihat sifat material yang jauh berbeda antara paduan Fe-Cr-1Ag dan Fe-Cr-5Ag dimana pada paduan Fe-Cr-5Ag memiliki bentuk butir seperti dendrit, untuk Fe-Cr-1Ag memiliki bentuk butir seperti ferrit.
- Berdasarkan hasil pengujian EDS, paduan Fe-Cr-1Ag dan Fe-Cr-5Ag tidak jauh berbeda dengan komposisi yang ada di dalam perhitungan komposisi material namun memiliki tingkat error yang cukup tinggi pada komposisi Ag di kedua spesimen tersebut, penyebab error tersebut yang pertama adalah oksidasi pada Ag karena pada saat proses peleburan berada di temperatur $\pm 2000^{\circ}\text{C}$ sehingga pada temperatur tersebut material Ag telah melebihi titik didih, yang kedua yaitu pada saat proses pengujian EDS tidak seluruh permukaan yang di *scan* sehingga terdapat material Ag yang tidak terdeteksi.
- Hasil pengujian korosi menunjukkan data dimana laju korosi terendah dalam larutan ringer laktat adalah paduan Fe-Cr-1%Ag, dengan laju korosi 0.923 *mpy*, sedangkan spesimen dengan laju korosi tertinggi adalah spesimen Fe-Cr-5%Ag, dengan laju korosi 112.1 *mpy*. bahwa penambahan unsur Ag pada spesimen dapat mempengaruhi laju korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. B. Respati, "bahan biomaterial stainless," vol. 6, no. 1, pp. 5–8, 2010, [online].available:
<https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/momentum/article/view/132/1> 25
- [2] Hendra hermawan, "pengenalan pada biomaterial," *assoc. Profr. Laval univ. Canada*, pp. 1–8, 2019, doi: 10.31227/osf.io/v3z5t.
- [3] Yudi prasetyo, "ceramic biomaterials," *yudiprasetyo53.wordpress.com*, 2011. <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/10/24/ceramic-biomaterials/> (accessed sep. 29, 2022).
- [4] H. D. K. Yulianto, "dan estetika : handbook of oral biomaterials," vol. 4, no. 1, pp. 93–97, 2014, [online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=-6_sbqaaqbj&oi=fnd&pg=pp1&dq=handbook+of+oral+biomaterials&ots=5b1rpkgmac&sig=cqx492cgdwecwcwx_ijkl5ozv6kg&redir_esc=y#v=onepage&q=handbook of oral biomaterials&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=-6_sbqaaqbj&oi=fnd&pg=pp1&dq=handbook+of+oral+biomaterials&ots=5b1rpkgmac&sig=cqx492cgdwecwcwx_ijkl5ozv6kg&redir_esc=y#v=onepage&q=handbook+of+oral+biomaterials&f=false)
- [5] T. S. Hin, "engineering materials for biomedical applications," *natl. Univ. Singapore world sci.*, vol. 1, no. Biomaterials engineering and processing series, [online]. Available: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/5673#t=aboutbook>
- [6] Sulistioso giat sukaryo, a. Purnama, and h. Hermawan, "biomaterials and medical devices," *adv. Struct. Mater.*, vol. 58, pp. 1–22, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-14845-8.
- [7] M. Mozartha, "hidroksiapatit dan aplikasinya di bidang kedokteran gigi," *Cakradonya dent j*, vol. 7(2), no. 2, pp. 807–868, 2015.
- [8] N. Ananda, l. Dwi sulistyani, and e. Winiati bachtiar, "pertimbangan penggunaan implan gigi pada lansia," *insisiva dent. J. Maj. Kedokt. Gigi insisiva*, vol. 6, no. 1, pp. 47–55, 2017, doi: 10.18196/di.6181.
- [9] A. Pratiwi, "material implan dan maksilofasa," *yogyakarta univ. Gajah mada*, 2014.
- [10] E. Sudjana, "karakterisasi senyawa kompleks logam transisi cr , mn , dan ag dengan glisin melalui spektroskopi ultraungu dan sinar tampak," *bonatura*, vol. 4, no. 2, pp. 69–86, 2002, [online]. Available: journal.unpad.ac.id
- [11] N. Djustiana, m. A. A. S. Syam, y. Faza, and a. Cahyanto, "<p>uji mikrostruktur prototipe implan gigi titanium pasca perlakuan modifikasi permukaan alternate soaking process dengan konsentrasi cacl2 dan na2hpo4 yang berbeda</p><p>microstructuralexamination of titanium dental implant prototype after alternate soaking process surface modification treatment with different concentrations of cacl2 and na2hpo4</p>," *j.*

- Kedokt. Gigi univ. Padjadjaran*, vol. 33, no. 3, p. 247, 2021, doi: 10.24198/jkg.v33i3.37203.
- [12] C. Oldani and a. Dominguez, “titanium as a biomaterial for implants,” *recent adv. Arthroplast.*, 2012, doi: 10.5772/27413.
- [13] B. Irawan, “titanium dan paduan titanium material pilihan kedokteran gigi masa depan,” *kedokt. Gigi*, vol. 7, no. 1, pp. 106–109, 2000.
- [14] W. F. Cui, n. Liu, and g. W. Qin, “microstructures, mechanical properties and corrosion resistance of the zr-xTi (ag) alloys for dental implant application,” *mater. Chem. Phys.*, vol. 176, pp. 161–166, 2016, doi: 10.1016/j.matchemphys.2016.04.009.
- [15] D. Cahyaningsih, a. Dahliaty, and a. Linggawati, “sintesis dan karakterisasi membran bionanokomposit selulosa bakteri-ag sebagai membran antibakteri,” *j. Online mhs. Fak. Mat. Dan ilmu pengetah. Alam univ. Riau*, vol. 2, no. 1, pp. 222–231, 2015.
- [16] A. N. Sidiqa, a. Rahaju, t. Trilarasati, and m. Khoirunnisa, “hardness evaluation of carbonate apatite reinforced with zirconia as a dental implant,” *padjadjaran j. Dent. Res. Students*, vol. 4, no. 1, p. 21, 2020, doi: 10.24198/pjdrs.v4i1.25710.
- [17] H. Hadijaya, s. Aida, and m. Masrukan, “pengaruh temperatur dan waktu homogenisasi terhadap karakteristik pelat paduan ag3ne,” *urania j. Ilm. Daur bahan bakar nukl.*, vol. 24, no. 2, pp. 73–84, 2018, doi: 10.17146/urania.2018.24.2.4391.
- [18] F. Al afghani, yanlinastuti, a. S. D. Putri, y. D. A. Susanto, and r. Sigit, “material struktur reaktor nuklir berbasis paduan zirconium dan baja tahan karat,” *j. Apl. Isot. Dan radiasi*, vol. Xii, no. 23, pp. 61–70, 2019.
- [19] Y. B. Rosanto *et al.*, “pengaruh konsentrasi cobalt chromium pada uji hemolisis sebagai implan gigi universitas gadjah mada yogyakarta (medical seiring dengan peningkatan konsentrasi cobalt,” vol. 2, no. 3, pp. 116–120, 2016.
- [20] a n. B. Udianto, k. R. P. Urwantini, b. A t. J. S. Ujitno, j. Babarsari, k. Pos, and y. Yogyakarta, “antar butir dari material baja tahan karat austenitik setelah mengalami proses pemanasan material karat structure observation of,” *jfn*, vol. 3, no. 2, pp. 107–130, 2009.
- [21] P. Sotoudehbagha, s. Sheibani, m. Khakbiz, s. Ebrahimi-barough, and h. Hermawan, “novel antibacterial biodegradable fe-mn-ag alloys produced by mechanical alloying,” *materials science and engineering c*, vol. 88. Pp. 88–94, 2018. Doi: 10.1016/j.msec.2018.03.005.
- [22] N. P. Sari, “nitridasi pada paduan berbasis fecn sebagai kandidat bahan struktur reaktor guna meningkatkan ketahanan korosi temperatur tinggi,” *univ. Sebel. Maret*, 2011.
- [23] M. Niinomi, “metallic biomaterials,” *j. Artif. Organs*, vol. 11, no. 3, pp. 105–110, 2008, doi: 10.1007/s10047-008-0422-7.

- [24] S. Ardhy, j. Affi, and y. Yetri, “karakteristik permukaan pelapisan hidroksiapatit pada material implan ti-6al-4v eli: studi literatur,” *pros. Semin. Nas. Tek. Tahun 2020 (senastika 2020)*, vol. 2020, no. Senastika, 2020.
- [25] P. S. Bagha, m. Khakbiz, s. Sheibani, s. Ebrahimi-barough, and h. Hermawan, “in vitro degradation, hemocompatibility, and cytocompatibility of nanostructured absorbable fe-mn-ag alloys for biomedical application,” *acs biomaterials science and engineering*, vol. 6, no. 4. Pp. 2094–2106, 2020. Doi: 10.1021/acsbiomaterials.0c00263.
- [26] D. Puspitasari and e. Herda, “implan zirkonia tipe y-tzp sebagai piranti alternatif pilihan selain implan titanium,” *dentika dent. J.*, vol. 17, no. 4, pp. 387–401, 2013.
- [27] M. F. Sidiq, “electrochemical process,” *met. Finish.*, vol. 100, no. 2, p. 123, 2002, doi: 10.1016/s0026-0576(02)80201-x.
- [28] C. Y. Fitriani and a. Wibawa, “biokompatibilitas material titanium implan gigi,” *insisiva dent. J. Maj. Kedokt. Gigi insisiva*, vol. 8, no. 2, pp. 53–58, 2019, doi: 10.18196/di.8208.
- [29] L. Wang and r. Darvishi kamachali, “density-based grain boundary phase diagrams: application to fe-mn-cr, fe-mn-ni, fe-mn-co, fe-cr-ni and fe-cr-co alloy systems,” *acta mater.*, vol. 207, 2021, doi: 10.1016/j.actamat.2021.116668.
- [30] H. Hermawan, “updates on the research and development of absorbable metals for biomedical applications,” *prog. Biomater.*, vol. 7, no. 2, pp. 93–110, 2018, doi: 10.1007/s40204-018-0091-4.
- [31] D. Arsista and y. K. Eriwati, “<p>desain dan fungsi implan kedokteran gigi yang beredar di pasaran</p><p>design and function of dental implants widely circulated on the market</p>,” *j. Kedokt. Gigi univ. Padjadjaran*, vol. 30, no. 3, p. 168, 2018, doi: 10.24198/jkg.v30i3.18007.
- [32] T. D. Ramadhan, “analisis variasi temperatur solution treatment terhadap perubahan struktur mikro, kekerasan dan ketahanan korosi paduan ti-6al-7nb untuk aplikasi implan gigi,” 2019, [online]. Available: [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/48882/1/tiara destia ramadhan-fst.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/48882/1/tiara_destia_ramadhan-fst.pdf)
- [33] N. N. Hidayat, “sintesis dan karakterisasi sifat makroskopik nano-komposit hidroksiapatit/kitosan (n-hap/cs) untuk aplikasi implan tulang nanang,” *adln perpust. Univ. Airlangga*, pp. 1–14, 2010, [online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/1909/3/03>. Bab ii.pdf