



CURRENT BIOCHEMISTRY

ISSN: 2355-7877

e-ISSN: 2355-7931

Journal homepage: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/cbj>

Journal E-mail: [current.biochemistry@apps.ipb.ac.id](mailto:current.biochemistry@apps.ipb.ac.id)

**CB** Current  
Biochemistry

## Analisis Simulasi Tegangan Pada *Bone Plate Stainless Steel 316L* untuk Aplikasi Biomaterial

Stress Simulation Analysis on 316L Stainless Steel Bone Plate for Biomaterial Applications

Ahmad Fikri<sup>1\*</sup>, Agam Muarif<sup>2</sup>, Rizka Mulyawan<sup>2</sup>, Nursakinah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Material, Teknik, Universitas Malikussaleh, 24351, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Kimia, Teknik, Universitas Malikussaleh, 24351, Indonesia

\*email korespondensi: [ahmadfikri@unimal.ac.id](mailto:ahmadfikri@unimal.ac.id)

### ABSTRACT

*Biomaterials are materials used to replace lost or diseased biological structures. This material must be accepted with body. One of the most widely used biomaterials for bone plate applications is stainless steel 316L. When applied to the patient's body, this material will get a load on a parallel surface. It is a dominant load received in the 316L stainless steel bone plate. The load received by the 316L stainless steel bone plate will change. So it is necessary to simulate the stress by applying a compressive force to the 316L stainless steel bone plate. Stress simulation is carried out by drawing and analyzing stresses using Autodesk Fusion 360 software. Then a static load is applied to the material ranging from 150 N to 2300 N. The results of the stress analysis show that the stress distribution is in the middle and ends of the bone plate. The strain and deformation show an increase with increasing stress. The compressive stress of 150 N to 600 N is permitted load because it is still below the yield strength of stainless steel 316L which is 170 MPa. Applying compressive of 700 N to 2300 N is not allowed because it has exceeded the yield strength. This will cause the material having plastic deformation and fracture.*

**Keywords:** Biomaterial, Bone Plate, SS316L, Stress Analysis

### ABSTRAK

*Biomaterial adalah material yang digunakan untuk mengganti struktur biologis yang hilang atau sakit. Material ini harus dapat diterima oleh tubuh. Salah satu biomaterial yang paling banyak digunakan untuk aplikasi bone plate adalah stainless steel 316L. Saat diaplikasikan pada tubuh pasien, material ini akan mendapatkan beban sejajar permukaan. Beban ini merupakan beban yang cukup dominan diterima oleh bone plate stainless steel 316L. Beban yang diterima bone plate stainless steel 316L akan berubah dan bervariasi. Sehingga perlu dilakukan simulasi tegangan dengan memberikan gaya tekan pada bone plate stainless steel 316L. Simulasi tegangan dilakukan dengan menggambar dan menganalisis tegangan dengan menggunakan software Autodesk Fusion 360. Selanjutnya material tersebut diberikan beban berupa static load mulai dari 150 N sampai 2300 N. Hasil analisis tegangan menunjukkan distribusi tegangan terdapat ditengah dan ujung bone plate. Regangan dan perubahan bentuk menunjukkan peningkatan seiring dengan kenaikan nilai tegangan. Gaya tekan 150 N sampai 600 N merupakan beban yang aman karena masih dibawah titik luluh 170 MPa. Gaya tekan 700 N sampai 2300 N merupakan beban yang tidak aman karena sudah melebihi titik luluhnya. Hal ini akan menyebabkan material mengalami deformasi plastis dan patah.*

**Kata kunci:** Analisis Tegangan, Biomaterial, Bone Plate, SS316L

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan biomaterial sudah ada sejak perang dunia ke-2. Biomaterial adalah material yang digunakan untuk struktur dalam mengganti struktur biologis yang hilang atau sakit agar dapat terbentuk dan menjalankan fungsinya. Biomaterial dicontrol dengan dua sifat yaitu memiliki bio fungsionalitas dan biokompatibilitas. Biofungsionalitas merujuk kepada sifat mekanik pada biomaterial. Biokompatibilitas merujuk kepada kemampuan material untuk diterima oleh tubuh (Deshmukh & Kulkarni, 2015).

Tubuh manusia ditopang oleh jaringan tulang yang merupakan jaringan kritis dalam tubuh manusia. Tulang adalah jaringan alami yang tersusun atas kristal pada fase inorganik berupa kalsium, mineral dan air, masing-masing sebanyak 30%, 60% dan 10% (Tan et al., 2021). Jaringan ini memberikan dukungan mekanik pada organ tubuh lainnya (Girón et al., 2021). Jaringan tulang terdiri dari *cortical bone* yang memiliki modulus 17 GPA sampai 20 GPA dan cancellous Bone yang memiliki modulus elastis dari 50 MPA sampai 100 MPA (Tan et al., 2021). Dalam melaksanakan tugasnya sebagai penyangga organ lain, tulang sering mendapatkan beban berlebih sehingga mengalami patah. Patah tulang merupakan trauma yang umum pada bidang klinis. Patah tulang ini ditunjukkan dengan perubahan bentuk fungsi dan posisinya (Ma et al., 2023). Upaya yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan patah tulang adalah dengan meregenerasi sel tulang yang dibantu dengan penyangga tulang (*bone plate*). Logam memiliki sifat mekanik yang kuat menjadi pilihan yang baik untuk *bone plate*. Salah satu biomaterial yang umum digunakan sebagai *bone plate* adalah stainless steel 316L.

Penelitian yang dilakukan oleh Chandramohan (2014) melakukan analisis tegangan pada berbagai material logam. Material logam menunjukkan perilaku mekanik yang berbeda disebabkan karena sifat mekaniknya (Chandramohan, 2014). Penelitian analisis finite elemen juga dilakukan oleh Thalita (2021) dengan menggunakan Ti6Al4V. Material tersebut menunjukkan sifat mekanik yang baik saat menahan beban

(Asmaria et al., 2021). Khristina (2010) telah melakukan analisis pada finite elemen dengan menggunakan biomaterial pelindung tegangan di sekitar tulang. Metode ini dapat menurunkan kehilangan tulang, pergeseran *screw* dan menjaga plat lebih stabil (Asmaria et al., 2021). Penelitian di atas perlu ditambahkan dengan variasi gaya tekan yang dihadapi oleh tulang. saat penyangga tulang di aplikasikan, material tersebut akan mendapatkan beban berupa gaya tekan, tarik dan geser. Gaya tekan pada arah sejajar permukaan merupakan gaya yang cukup dominan dihadapi oleh *bone plate*. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis tegangan pada bonplate stainless steel 316l untuk aplikasi biomaterial.

## 2. METODOLOGI

Material yang digunakan untuk analisis *bone plate* adalah stainless steel 316L. Stainless steel 316L banyak digunakan untuk aplikasi biomaterial seperti *bone plate* (Branquinho et al., 2021). Stainless steel adalah besi paduan dengan jumlah kromium (Cr) minimal 12%. Beberapa stainless steel memiliki kandungan kromium sampai dengan 30%. Komposisi kimia pada stainless steel 316 L ditunjukkan pada tabel 1. Pada Stainlees Steel 316 L memiliki 17% Cr dan minimal 61,9% Fe. Stainless steel 316L juga memiliki sifat biokompatibel dan memiliki rentang korosi yang rendah (Kuffner et al., 2021).

Tabel 1. Komposisi Kimia Stainless Steel 316 L  
(Callister Jr & Rethwisch, 2020)

Komposisi Kimia	Jumlah (%)
Fe	Min 61,9
C	0,08
Cr	17
Ni	12
Mo	2,5
Mn	2

Stainless steel juga menunjukkan sifat mekanis material yang baik. Parameter stainless steel 316 L ditunjukkan pada tabel 2. Modulus elastisitas pada stainless steel 316L adalah 193 GPa. Kekuatan luluh pada material ini adalah 170 MPa. Selain itu kekuatan maksimum pada material ini adalah 485 MPa. Nilai kekuatan

tarik tersebut masih dibawah baja paduan lain yang memiliki kekuatan tarik 520 MPa – 1720 MPa.

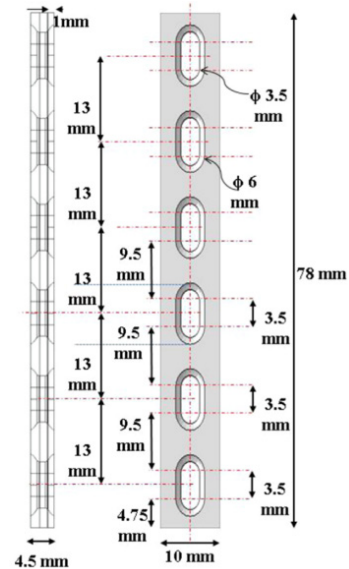
Tabel 2. Parameter Stainless Steel 316 L (Fikri, 2023)

Paramater	Nilai
Densitas	$7,99 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Modulus Young	193 GPa
Rasio Poisson's	0,25
Kekuatan Luluh	170 MPa
Kekuatan Tarik	485 MPa
Konduktivitas Termal	0,0163 W/mmC
Koofisien Ekspansi Termal	$1,59 \cdot 10^{-5}/C$
Spesifik Panas	500 J/kgC

Analisis tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L dilakukan menggunakan software Autodesk Fusion 360. *Bone plate* digambar dengan menggunakan *computer aided desain (CAD)* lalu diberikan beban statis yang sejajar dengan permukaan material. Gambar 1 menunjukkan spesifikasi *bone plate* yang digunakan untuk analisis. Dimensi panjang, lebar dan tebal adalah 78 mm, 10 mm dan 4,5 mm. Dibagian tengah *bone plate* diberikan lubang sekrup (*screw*) yang digunakan untuk mengikat *bone plate* dengan tulang. Diameter sekrup yang digunakan untuk bone plate jenis ini adalah 6 mm. Tulang yang digunakan untuk bone plate ini adalah tulang panjang seperti tulang pada lengan dan kaki.

Beban yang dipilih adalah *compression stress*. Hal ini disebabkan karena *bone plate* stainless steel 316L akan mendapatkan gaya

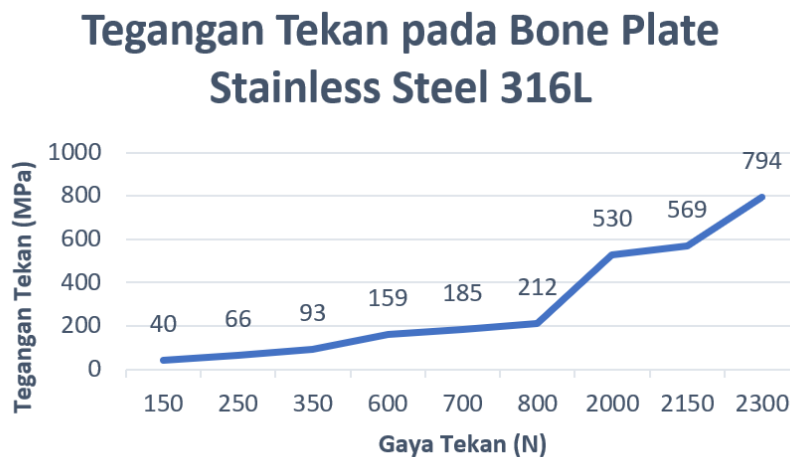
tekan pada arah tersebut. Gaya tekan yang dipilih bervariasi mulai dari rendah 150 N sampai 2300 N. Hasil dari analisis tegangan *bone plate* stainless steel 316L menunjukkan tegangan, regangan, perubahan bentuk dan penyebaran tegangan.



Gambar 1. Spesifikasi *Bone Plate* (Chakladar et al., 2016).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tegangan tekan pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada grafik 1. Gaya tekan yang digunakan bervariasi mulai dari 150 N sampai 2300 N. Tegangan meningkat seiring dengan penambahan gaya yang diberikan pada *bone plate*. Tegangan terendah ditunjukkan pada 40 MPa dengan gaya 150 N dan 794 MPa pada gaya 2300 N.



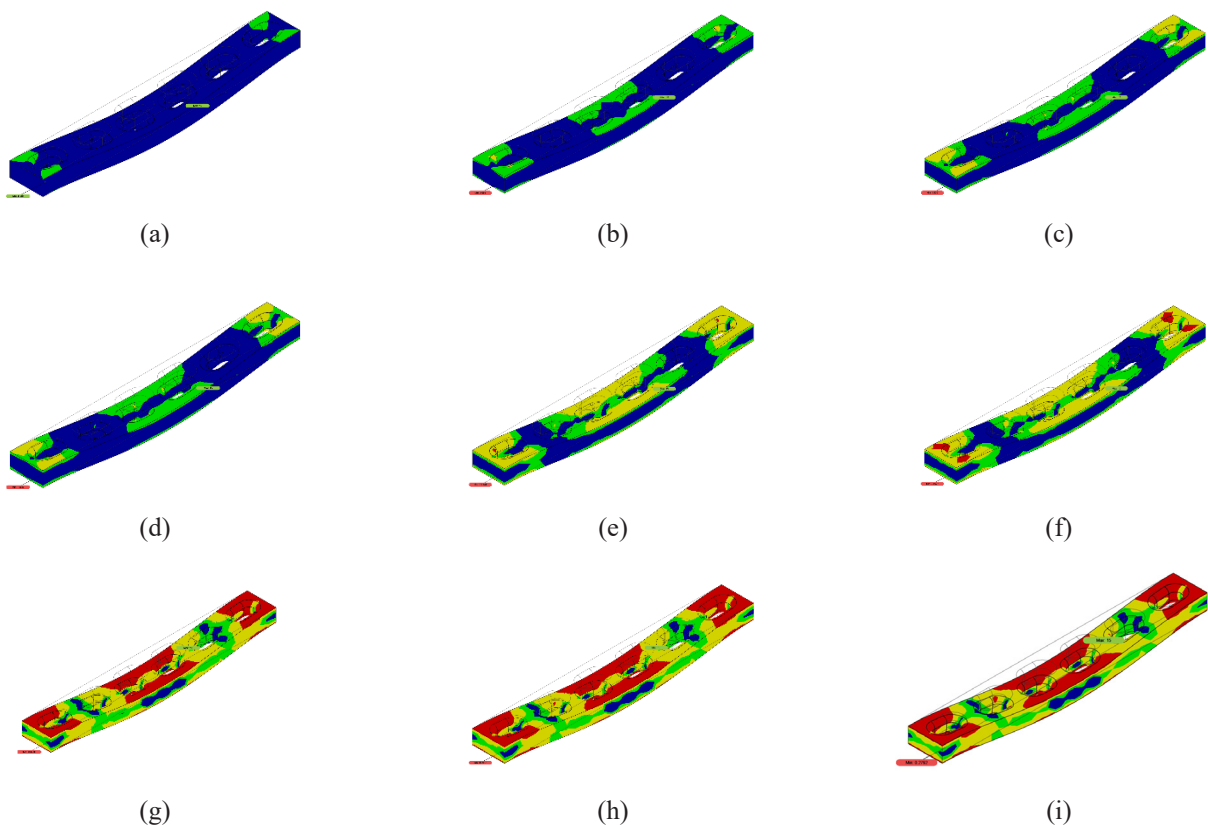
Grafik 1. Tegangan Tekan pada Bone Plate Stainless Steel 316L

Peningkatan gaya tekan juga meningkatkan regangan dan perubahan bentuk pada *bone plate* stainless steel 316L. Pada gaya 150 N regangan dan perubahan bentuk yang dihasilkan adalah 0,00024 dan 0,019 mm. Sedangkan pada gaya 2300 N regangan meningkat menjadi 0,00497 dan perubahan bentuk 0,375 mm. Peningkatan regangan dan perubahan bentuk pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Analisis Tegangan pada *Bone Plate* Stainless Steel 316 L

Gaya Tekan (N)	Regangan	Perubahan Bentuk (mm)
150	0,00024	0,019
250	0,00039	0,031
350	0,00056	0,043
600	0,00096	0,075
700	0,00111	0,087
800	0,00128	0,099
2000	0,00319	0,249
2150	0,00344	0,269
2300	0,00479	0,375

Distribusi tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada gambar 1. Distribusi tegangan muncul saat gaya tekan mulai diberikan pada 150 N. Tegangan yang diberikan pada bagian tengah *bone plate* stainless steel 316L menyebabkan distribusi tegangan muncul di kedua ujungnya. Hal ini ditunjukkan dengan munculnya warna hijau di bagian ujung *bone plate* stainless steel 316L. Distribusi tegangan mulai muncul di bagian tengah *bone plate* stainless steel 316L saat gaya tekan 250 N. Selain itu distribusi tegangan lebih tinggi muncul pada 350 N sampai 2300 N. Tegangan pada level ini ditunjukkan dengan warna kuning pada *bone plate*. Tegangan ini mulai muncul dari bagian tengah dan terus menyebar ke bagian ujung *bone plate* stainless steel 316L. Tegangan kritis mulai muncul pada saat gaya tekan 800 n. Tegangan ini mulai menyebar di bagian tengah dan ujung *bone plate* stainless steel 316L sampai pada gaya tekan 2300 Newton.



Gambar 1. Distribusi Tegangan pada Bone Plate Stainless Steel 316 L pada Gaya Tekan 150N (a), 250 N (b), 350 N (c), 600 N (d), 700 N (e), 800 N (f), 2000 N (g), 2150 N(h), dan 2300 N (i).

Regangan pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada gambar 2a. Regangan pada *bone plate* stainless steel 316L mulai muncul di bagian ujung material. Kemudian regangan muncul di bagian tengah *bone plate* stainless steel 316L. Regangan tersebut ditunjukkan dengan adanya warna hijau baik di bagian tengah dan ujung *bone plate* stainless steel 316L. Selain itu, bagian sebelum ujung *bone plate* stainless steel 316L tidak mengalami regangan. Hal itu ditunjukkan dengan warna biru pada *bone plate* stainless steel 316L.

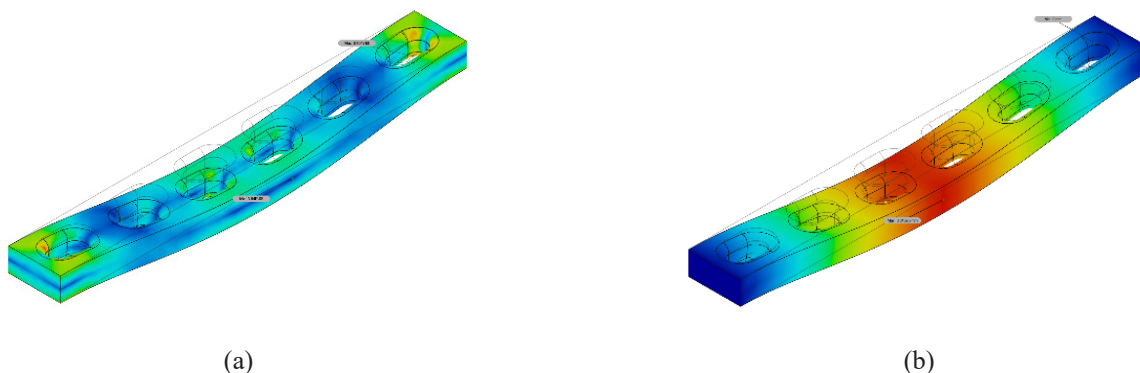
Perubahan bentuk *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada gambar 2b. Perubahan bentuk yang akan terjadi melebihi dimensi awal paling tinggi ditunjukkan pada bagian tengah *bone plate* stainless steel 316L. Hal ini ditunjukkan dengan warna merah pada *bone plate* stainless steel 316L. Selain itu perubahan bentuk akan mulai menyebar mulai dari bagian tengah *bone plate* stainless steel 316L yang ditandai warna kuning dan hijau. Adapun di bagian ujung *bone plate* stainless steel 316L tidak mengalami perubahan bentuk. Hal ini ditunjukkan dengan warna biru pada gambar 2b.

Hasil analisis tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L menunjukkan adanya pengaruh pada material tersebut. Adapun pengaruh dari material tersebut adalah penyebaran tegangan yang didistribusikan ke seluruh permukaan material. Selain itu pengaruh adanya tegangan menghasilkan regangan dan perubahan bentuk. Menurut penelitian Po-Kuei Wu dkk. (2021) tegangan yang diberikan kepada material akan menghasilkan regangan dan

perubahan bentuk (Wu et al., 2022). Regangan dan perubahan bentuk ini harus diperhatikan agar tidak terjadi patah pada *bone plate* saat di aplikasikan.

*Bone plate* stainless steel 316L pada saat diberi beban 150 N sampai dengan 600 N akan menghasilkan tegangan maksimum 39,71 MPa dan 158,8 MPa. Nilai tegangan ini masih di bawah kekuatan luluh dari material *bone plate* stainless steel 316L. Berdasarkan penelitian Abdulsalam dkk. (2019) tegangan maksimum di bawah kekuatan luluh masih dalam kondisi baik (Al-Tamimi et al., 2020). Artinya beban masih di aman untuk digunakan dan tidak mengalami deformasi plastis. Sedangkan pada gaya tekan 700 N sampai 2300 N menunjukkan nilai tegangan maksimum 185,3 MPa dan 794,2 MPa. Tegangan maksimum tersebut sudah berada di atas kekuatan luluh material *bone plate* stainless steel 316L. Saat tegangan maksimum tersebut diberikan pada *bone plate* stainless steel 316L maka akan terjadi deformasi dan patah.

Gaya tekan yang disimulasikan pada *bone plate* stainless steel 316L merupakan pembebanan statik (*load static*). Pada aplikasinya *bone plate* stainless steel 316L juga menghadapi beban dynamic. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi pembebanan dinamik pada *bone plate* stainless steel 316L (Izzawati et al., 2017). Selain itu *bone plate* stainless steel 316L juga mengalami beban torsi (Satapathy et al., 2018). Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi terhadap beban torsi sehingga dapat memberikan gambaran *bone plate* stainless steel 316L saat diaplikasikan pada pasien.



Gambar 2. Regangan (a) dan Perubahan Bentuk (b)

## KESIMPULAN

Analisis simulasi tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L untuk aplikasi biomaterial menunjukkan pengaruh distribusi tegangan, regangan dan perubahan bentuk. Distribusi tegangan menunjukkan penyebaran diseluruh permukaan *bone plate*. Gaya tekan 150 N – 600 N merupakan beban yang aman untuk diaplikasikan pada *bone plate*. Sedangkan gaya tekan 700 N – 2300 N merupakan gaya yang tidak aman karena telah melebihi kekuatan luluhnya. Hal ini dapat menyebabkan *bone plate* stainless steel 316L mengalami deformasi plastis dan patah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Program Studi Teknik Material Jurusan Teknik Kimia Universitas Malikussaleh yang telah memberikan akses dalam pengambilan data simulasi *bone plate* stainless steel 316L.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Tamimi, A. A., Quental, C., Folgado, J., Peach, C., & Bartolo, P. (2020). Stress analysis in a bone fracture fixed with topology-optimised plates. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 19(2), 693–699. <https://doi.org/10.1007/s10237-019-01240-3>
- Asmaria, T., Mayasari, D. A., Ramdhani, S., Utomo, M. S., Malau, D. P., Annur, D., Amal, M. I., & Kartika, I. (2021). Finite Element Analysis of Patient Specific Bone Plate with Ti6Al4V Material Selection. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 11(1), 83–93. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v11n1.p83-93>
- Branquinho, M. V., Ferreira, S. O., Alvites, R. D., Magueta, A. F., Ivanov, M., Sousa, A. C., Amorim, I., Faria, F., Fernandes, M. H. V., Vilarinho, P. M., & Maurício, A. C. (2021). In vitro and in vivo characterization of PLLA-316L stainless steel electromechanical devices for bone tissue engineering—A preliminary study. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14). <https://doi.org/10.3390/ijms22147655>
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons.
- Chakladar, N. D., Harper, L. T., & Parsons, A. J. (2016). Optimisation of composite bone plates for ulnar transverse fractures. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 57, 334–346. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.01.029>
- Chandramohan, D. (2014). Analysis on natural fiber bone plates. *Pelagia Research Library European Journal of Experimental Biology*, 4(2), 323–332. [www.pelagiaresearchlibrary.com](http://www.pelagiaresearchlibrary.com)
- Deshmukh, R. M., & Kulkarni, S. S. (2015). International Journal of Current Engineering and Technology A Review on Biomaterials in Orthopedic Bone Plate Application. 2587 | *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(4), 2587–2591. <http://inpressco.com/category/ijcet>
- Fikri, A. (2023). *Pemodelan Tegangan dan Regangan pada Bone Plate dengan Menggunakan Material Stainless Steel 316 L*. 1(3), 265–269.
- Girón, J., Kerstner, E., Medeiros, T., Oliveira, L., Machado, G. M., Malfatti, C. F., & Pranke, P. (2021). Biomaterials for bone regeneration: An orthopedic and dentistry overview. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 54(9), 1–15. <https://doi.org/10.1590/1414-431X2021E11055>
- Izzawati, B., Daud, R., Afendi, M., Abdul Majid, M. S., Zain, N. A. M., & Bajuri, Y. (2017). Stress analysis of implant-bone fixation at different fracture angle. *Journal of Physics: Conference Series*, 908(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/908/1/012019>
- Kuffner, B. H. B., Capellato, P., Ribeiro, L. M. S., Sachs, D., & Silva, G. (2021). Production and characterization of a 316l stainless steel/ $\beta$ -tcp biocomposite using the functionally graded materials (Fgms)

- technique for dental and orthopedic applications. *Metals*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/met11121923>
- Ma, Z., Liu, B., Li, S., Wang, X., Li, J., Yang, J., Tian, S., Wu, C., & Zhao, D. (2023). A novel biomimetic trabecular bone metal plate for bone repair and osseointegration. *Regenerative Biomaterials*, 10(February). <https://doi.org/10.1093/rb/rbad003>
- Satpathy, P. K., Sahoo, B., Panda, L. N., & Das, S. (2018). Finite element analysis of functionally graded bone plate at femur bone fracture site. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 330(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012027>
- Tan, J., Natarajan, E., Lim, W., Ramesh, S., Ang, C., Parasuraman, S., & Singh, D. K. J. (2021). Effects of bone-plate materials on the healing process of fractured tibia bone under time-varying conditions: A finite element analysis. *Materials Research Express*, 8(9). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac24f8>
- Wu, P. K., Lee, C. W., Sun, W. H., & Lin, C. L. (2022). Biomechanical analysis and design method for patient-specific reconstructive implants for large bone defects of the distal lateral femur. *Biosensors*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/bios12010004>