



Pemodelan Tegangan dan Regangan pada *Bone Plate* dengan Menggunakan Material Stainless Steel 316 L

Ahmad Fikri¹

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

¹ahmadfikri@unimal.ac.id

Abstrak

Jumlah populasi dan kualitas hidup manusia terus bertambah sehingga membutuhkan teknologi yang lebih maju dalam menyelesaikan masalah hidupnya. Semakin banyaknya populasi manusia maka jumlah kendaraan dan pekerjaan konstruksi semakin banyak. Hal ini menjadikan kecelakaan kerja berupa patah tulang sering terjadi di masyarakat. Patah tulang merupakan penyakit traumatik yang umum terjadi pada manusia. Proses penyembuhan patah tulang bisa dilakukan dengan fiksasi yang tergantung pada stabilitas dan proses biologi pada tulang yang patah. Proses fiksasi membutuhkan alat bantu berupa bone plate. Sedangkan proses biologis membutuhkan material yang biokompatibel sebagai alat bantu fiksasi tulang. Stainless steel 316L menunjukkan kemampuan biokompatibel dan biomekanik yang baik untuk digunakan sebagai penyangga patah tulang. Sebelum dilakukan pemasangan bone plate stainless steel 316L pada pasien perlu dilakukan pemodelan untuk mengetahui perilaku material tersebut saat diberi beban. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan CAD/CAM. Bone plate dibuat dengan mengikuti dimensi bone plate pada umumnya kemudian diberi beban. Beban yang diberikan pada bone plate stainless steel 316L berupa gaya tekan yang searah dengan cross sectional sebesar 49 N sampai 492 N. Gaya tersebut merupakan gaya yang umum diterima oleh orang dewasa. Pengaruh gaya tekan berupa tegangan regangan dan perubahan bentuk kemudian dibandingkan dengan kekuatan luluh dan tarik pada material stainless steel 316L. Selain itu pengaruh gaya tekan juga menunjukkan distribusi gaya dan perilaku material saat diberikan beban. Terjadi peningkatan tegangan, regangan dan perubahan bentuk pada material saat beban diberikan. Selain itu deformasi elastis terjadi di seluruh permukaan bone plate stainless steel 316L. Perubahan bentuk terjadi di bagian tengah secara signifikan dan menyebar ke bagian samping pada bone plate stainless steel 316L.

Kata kunci: tegangan, regangan, *bone plate*, CAD, CAM, SS 316L

1. Pendahuluan

Jumlah populasi dan kualitas hidup manusia yang meningkat menjadikan perkembangan teknologi menjadi lebih maju (Sales et al., 2023). Perkembangan ini juga terjadi di dunia kesehatan terutama bidang biomaterial. Biomaterial adalah material natural atau artifisial yang diproses secara manufaktur untuk mengganti struktur biologi manusia yang hilang atau sakit sehingga dapat terbentuk kembali sesuai dengan fungsinya (Deshmukh & Kulkarni, 2015). Biomaterial memiliki dua karakteristik yaitu biofungsional dan biokompatibilitas. Biofungsional adalah kemampuan material untuk dapat dibentuk sesuai dengan fungsi dan memiliki sifat mekanik yang baik. Sedangkan biokompatibilitas adalah kemampuan material untuk dapat diterima oleh tubuh. Salah satu material yang digunakan adalah *bone plate* yang telah digunakan untuk menahan patah tulang lebih dari 100 tahun (Ma et al., 2023).

Patah tulang merupakan penyakit traumatik yang umum terjadi pada manusia (Ma et al., 2023). Penyakit ini biasanya disebabkan oleh beban yang tiba-tiba diterima oleh tulang pada manusia. Proses penyembuhan patah

tulang bisa dilakukan dengan proses remodelling namun hanya 50% dapat diterima oleh tulang alveolar dan proses penyembuhan berlangsung selama tiga bulan (Kovac et al., 2023). Dalam proses penyembuhan tantangan utama adalah infeksi setelah fiksasi patah tulang yang dapat menyebabkan komplikasi, penyembuhan yang lama, kehilangan tulang secara permanen, amputasi bahkan kematian (Zhang et al., 2023). Oleh karena itu proses penyembuhan patah tulang membutuhkan alat bantu berupa *bone plate* yang mampu secara signifikan menahan tegangan tekan di bagian permukaan. Hal ini akan membantu proses penyembuhan karena patah tulang dilindungi dari beban eksternal berupa gaya tarik atau tekan (Hossain et al., 2021)

Kesuksesan perbaikan tulang yang patah menggunakan teknik fiksasi patah bagian dalam tergantung pada stabilitas dan proses biologi di dalam tulang yang patah. Kemampuan untuk stabilisasi posisi tulang dilakukan dengan menyangga tulang agar tetap dalam posisinya. Sedangkan proses biologi ditunjukkan dengan biokompatibilitas dari tulang dengan Bounce (Hossain et al., 2020). *bone plate* harus memiliki dampak pada

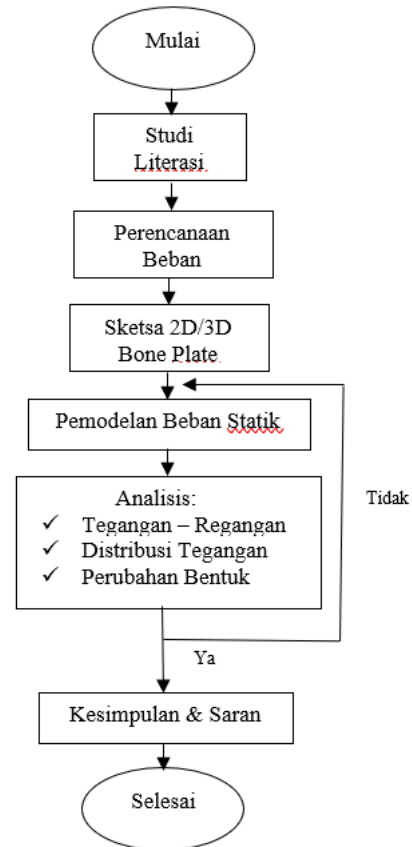
remodelling proses dan memberikan perlindungan terhadap adanya tegangan saat tulang baru terbentuk (Dučić et al., 2022). Pada aplikasinya *bone plate* dipasang dengan prosedur operasi dengan cara membuka bagian tubuh, memasang *bone plate* dan memberikan penyangga atau penyambung pada saat fiksasi (Li et al., 2020). Sebelum diaplikasikan pada tubuh pasien *bonplate* perlu dilakukan uji biomekanik dengan beban yang berbeda-beda baik statis maupun dinamis (Chung et al., 2020).

Navigasi komputer saat ini telah diperkenalkan di bidang pembedahan tulang (Wong et al., 2012). Pengembangan teknologi informasi berupa komputer *computer aided design* dan *computer aided manufacture* (CAD/CAM) telah banyak digunakan sejak tahun 1970-an (Wang et al., 2022). Teknologi CAD/CAM merupakan teknologi inovatif yang dapat digunakan untuk mensimulasi secara virtual yang membantu perencanaan treatment pada pasien sebelum dilakukan operasi (Kim et al., 2023)(Chen et al., 2022). CAD/CAM juga mampu merekonstruksi plat sehingga dapat menunjukkan kekakuan yang baik dan mempengaruhi penyembuhan tulang (Ruf et al., 2022). CAD/CAM mampu menggambarkan geometri 3 dimensi pada tulang panjang, *bone plate* dan *screw* untuk melihat model tulang dan penyangga yang sulit. oleh karena itu perlu dilakukan proses pemodelan terhadap beban berupa tegangan dan regangan pada *bone plate* yang akan diaplikasikan terutama menggunakan stainless steel 316L.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk pemodelan tegangan dan regangan pada *bone plate* dengan menggunakan material Stainless Steel 316 adalah eksperimen. *Bone plate* stainless steel 316L diberikan variasi beban agar dapat menunjukan perilaku material tersebut saat diberi beban. Proses pemodelan tegangan dan regangan pada *bone plate* dengan menggunakan material Stainless Steel 316 ditunjukkan pada gambar 1.

Studi literasi dilakukan untuk mengetahui beban statik yang harus diterima saat *bone plate* diaplikasikan pada pasien. Selain itu studi literasi juga dilakukan untuk mengetahui dimensi *bone plate* serta parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pemodelan. Hasil dari studi literasi adalah berupa beban yang akan diaplikasikan pada *bone pate*. Pembebanan yang digunakan adalah rendah yaitu 49 N sampai dengan 492 N. Beban tersebut merupakan beban yang biasa diterima oleh orang dewasa sekitar 20 kg – 30 kg.



Gambar 1. Proses pemodelan tegangan dan regangan pada *bone plate* dengan menggunakan material Stainless Steel 316

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan CAD/CAM pada aplikasi Autodesk Fusion 360. Sketsa *bone plate* stainless steel 316L dibentuk dengan dimensi yang menyerupai penyangga tulang agar dapat mengetahui perilaku saat diberikan gaya tekan yang sejajar dengan *cross sectional*. Arah gaya tersebut merupakan arah gaya yang sering diterima oleh pasien saat menggunakan *bone plate*. Material yang digunakan untuk aplikasi *bone plate* stainless steel 316L dipilih adalah stainless steel 316L karena memiliki biokompatibilitas dan sifat mekanis yang baik untuk aplikasi struktural tulang. Parameter *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Stainless Steel 316L

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	$1,59 \cdot 10^{-5}/\text{C}$
Spesifik Panas	500 J/kgC

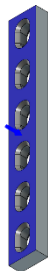
Bone plate stainless steel 316L kemudian dilakukan analisis berupa analisis tegangan statis. Arah gaya tekan pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada gambar 2. Tanda panah biru merupakan arah gaya yang diberikan pada *bone plate* stainless steel 316L. Sedangkan warna biru dan abu menunjukkan permukaan yang dikenai beban dan *bone plate* stainless steel 316L. Hasil analisis berupa nilai tegangan, regangan dan perubahan bentuk material. Hasil analisis tersebut didapatkan dari persamaan tegangan pada persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Sedangkan regangan ditunjukkan dari persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Penarikan kesimpulan dilakukan dengan membandingkan data tegangan dan regangan yang diperoleh dengan parameter stainless steel 316 L. *Bone plate* dapat digunakan dengan aman jika nilai tegangan tekan hasil pemodelan lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan luluh material.



Gambar. 2 Arah Gaya Tekan pada Bone Plate Stainless Steel 316L

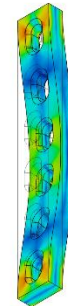
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil modeling pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan tegangan, regangan dan perubahan bentuk *bone plate* stainless steel 316L saat diberi gaya tekan mulai dari 49 N sampai 492 N. Tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L menunjukkan peningkatan mulai dari 11,97 MPa sampai 120,2 MPa. Regangan juga mengalami kenaikan dari $7,75 \cdot 10^{-5}$ sampai $77,82 \cdot 10^{-5}$. Selain itu perubahan bentuk juga mengalami kenaikan dari $6,25 \cdot 10^{-3}$ mm sampai $62,72 \cdot 10^{-3}$ mm.

Tabel 2. Tegangan, Regangan dan Perubahan Bentuk pada Bone Plate Stainless Steel 316L

Gaya (N)	Tegangan (MPa)	Regangan	Perubahan Bentuk (mm)
49	11,97	$7,75 \cdot 10^{-5}$	$6,25 \cdot 10^{-3}$
98	23,95	$15,5 \cdot 10^{-5}$	$12,49 \cdot 10^{-3}$
147	35,92	$23,25 \cdot 10^{-5}$	$18,74 \cdot 10^{-3}$
197	48,14	$31,16 \cdot 10^{-5}$	$25,11 \cdot 10^{-3}$
246	60,11	$38,91 \cdot 10^{-5}$	$31,36 \cdot 10^{-3}$
295	72,08	$46,66 \cdot 10^{-5}$	$37,61 \cdot 10^{-3}$
344	84,06	$54,41 \cdot 10^{-5}$	$43,85 \cdot 10^{-3}$
393	96,03	$62,16 \cdot 10^{-5}$	$50,10 \cdot 10^{-3}$
442	108	$69,91 \cdot 10^{-5}$	$56,35 \cdot 10^{-3}$
492	120,2	$77,82 \cdot 10^{-5}$	$62,72 \cdot 10^{-3}$

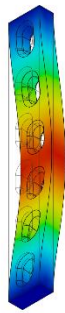
Distribusi tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan pada gambar 3. Distribusi tegangan pada *bone plate* stainless steel 316L terjadi hampir di seluruh area material. Distribusi tegangan tersebut menghasilkan deformasi elastis pada material. Warna biru menunjukkan pengaruh distribusi tegangan yang kecil pada material dan terjadi mendekati ujung material. Warna biru muda menunjukkan adanya deformasi elastis dengan pengaruh yang kecil namun tetap mengalami deformasi elastis dengan nilai yang sangat kecil. Sedangkan warna kuning dan merah menunjukkan pengaruh distribusi tegangan pada material dengan pengaruh yang cukup besar. Pengaruh distribusi tegangan yang cukup besar ditunjukkan di bagian ujung *bone plate* stainless steel 316L.



Gambar 3. Model Tegangan pada Bone Plate Stainless Steel 316L dengan Gaya 492 N

Perubahan bentuk *bone plate* stainless steel 316L dengan gaya maksimum 492 N ditunjukkan pada gambar 4. Perubahan terjadi mulai dari ujung sampai dengan Tengah material *bone plate* stainless steel 316L. Warna biru menunjukkan dimensi *bone plate* stainless steel 316L tidak terpengaruh oleh adanya gaya 492 N. Sedangkan warna hijau menunjukkan adanya perubahan bentuk pada *bone plate* stainless steel 316L akibat adanya gaya sebesar 492 N namun pengaruh yang kecil namun tetap mengalami deformasi elastis. Pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan bentuk *bone plate* stainless steel 316L ditunjukkan dengan warna kuning dan merah di bagian tengah. daerah inilah yang akan mengalami deformasi elastis terlebih dahulu akibat pengaruh gaya. Selain itu daerah ini juga

akan mengalami deformasi plastis sampai dengan patah saat diberikan beban yang lebih besar daripada 492 N.



Gambar 4. Perubahan Bentuk *Bone Plate* Stainless Steel 316L dengan Gaya 492 N

Modulus elastisitas menunjukkan hubungan antara tegangan dengan regangan. Pada persamaan tersebut ditunjukkan bahwa semakin besar tegangan akan menyebabkan kenaikan pada nilai regangan. Selain itu regangan yang terjadi pada stainless steel 316L menyebabkan perubahan bentuk pada material tersebut sehingga mengalami deformasi. Dengan gaya tekan maksimum sebesar 492 N, *bone plate* stainless steel 316L akan mengalami deformasi elastis. Artinya pada saat diberi beban 492 N dimensi *bone plate* stainless steel 316L akan mengalami deformasi sementara, sedangkan pada saat beban dihilangkan dimensi *bone plate* stainless steel 316 L akan kembali ke dimensi semula. Dengan beban 492 N *bone plate* stainless steel 316L tetap aman digunakan. Hal ini disebabkan karena kekuatan luluh dari material ini adalah 170 MPa. Tegangan yang oleh gaya tertinggi yaitu 492 N tidak melewati batas kekuatan luluhnya sehingga tidak mengalami deformasi plastis atau permanen

4. Kesimpulan

Analisis tegangan regangan pada *bone plate* stainless steel 316L menunjukkan pengaruh berupa peningkatan tegangan dan regangan seiring dengan gaya yang diberikan mulai dari 49 N sampai 492 N. Akibat adanya gaya tegangan dan regangan pada *bone plate* stainless steel 316L mengalami peningkatan. Tegangan dan regangan tersebut mengakibatkan adanya perubahan bentuk yang meningkat. Tegangan yang muncul akibat adanya gaya tekan masih di bawah titik luluh material stainless steel 316L. Gaya tersebut menghasilkan distribusi tegangan dan deformasi elastis hampir di seluruh bagian *bone plate* stainless steel 316L. Tegangan yang muncul akibat adanya gaya sebesar 492 N tidak menghasilkan deformasi plastis dan patah pada *bone plate* stainless steel 316L. Sehingga dengan gaya 452 N pada *bone plate* stainless steel 316L masih aman untuk digunakan untuk aplikasi penyangga tulang.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada jurusan Teknik Kimia Universitas Malikussaleh yang telah memberikan akses dalam pengambilan data analisis *bone plate* stainless steel 316L.

Reference

- Chen, M. Y., Fang, J. J., Lee, J. N., Periasamy, S., Yen, K. C., Wang, H. C., & Hsieh, D. J. (2022). Supercritical Carbon Dioxide Decellularized Xenograft-3D CAD/CAM Carved Bone Matrix Personalized for Human Bone Defect Repair. *Genes*, 13(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/genes13050755>
- Chung, T.-T., Hueng, D.-Y., & Lin, S.-C. (2020). Biomechanical Comparison of Static and Dynamic Cervical Plates in terms of Bone Fusion, Tissue Degeneration, and Implant Behaviour. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, 127(SUPPL 1), 6–7. <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L633830197&from=export%0Ahttp://dx.doi.org/10.1111/bcpt.13461>
- 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>
- Dučić, R., Prokić, B. B., Hadzi-Milić, M., Krstić, N., Todorović, V., Radmanović, N., Dordevic, M., Daković, M., Hamzagić, F., & Pajić, S. (2022). Correlation of Bone Strength in an Animal Model (Rabbit) After Fracture and During the Period of Fixation with a Titanium Micro Plate. *Acta Veterinaria*, 72(4), 442–452. <https://doi.org/10.2478/acve-2022-0036>
- Hossain, A., Tipper, J. L., & Wei, D. (2020). Analysis of a multi-material bone plate and its effect on inter-fragmentary strain for bone remodeling processes. *ASME 2020 15th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2020*, 1(May). <https://doi.org/10.1115/MSEC2020-8395>
- Hossain, A., Tipper, J. L., & Wei, D. (2021). *A novel fracture fixation bone plate to reduce the stress-shielding effects in long bones A novel fracture fixation bone plate to reduce the stress-shielding effects in long bones*. January 2019. <https://doi.org/10.3316/informit.979429205566950>
- Kim, S. hyang, Lee, S. M., Park, J. H., Yang, S., & Kim, J. W. (2023). Effectiveness of individualized 3D titanium-printed Orthognathic osteotomy guides and custom plates. *BMC Oral Health*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03000-3>
- Kovac, Z., Cabov, T., Blaskovic, M., & Morelato, L. (2023). Regeneration of Horizontal Bone Defect in Edentulous Maxilla Using the Allogenic Bone-Plate Shell Technique and a Composite Bone Graft—A Case Report. *Medicina (Lithuania)*, 59(3). <https://doi.org/10.3390/medicina59030494>
- Li, J., Qin, L., Yang, K., Ma, Z., Wang, Y., Cheng, L., & Zhao, D. (2020). Materials evolution of bone plates for internal fixation of bone fractures: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, 36(January 2020), 190–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.07.024>
- 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>

- Ruf, P., Orassi, V., Fischer, H., Steffen, C., Duda, G. N., Heiland, M., Kreutzer, K., Checa, S., & Rendenbach, C. (2022). Towards mechanobiologically optimized mandible reconstruction: CAD/CAM miniplates vs. reconstruction plates for fibula free flap fixation: A finite element study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*(November). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1005022>
- Sales, F. C. P., de Moura, P. A., da Costa, R. R. C., & Ribeiro, J. E. (2023). Manufacture of bone fracture plates based on glass fiber reinforced polyurethane composite: a gravity casting adapted process. *Materials and Manufacturing Processes*, *38*(9), 1170–1179. <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2072876>
- Wang, Z., Liu, J., Wang, X., Wang, N., & Teng, M. (2022). Effect of CAD/CAM Guide Plate Combined With Socket-Shield Technique in Immediate Implantation of Anterior Teeth Aesthetic Area and Its Influence on Aesthetics. *Frontiers in Surgery*, *8*(January), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.833288>
- Wong, K. C., Kumta, S. M., Sze, K. Y., & Wong, C. M. (2012). Use of a patient-specific CAD/CAM surgical jig in extremity bone tumor resection and custom prosthetic reconstruction. *Computer Aided Surgery*, *17*(6), 284–293. <https://doi.org/10.3109/10929088.2012.725771>
- Zhang, L., Yang, Y., Xiong, Y. H., Zhao, Y. Q., Xiu, Z., Ren, H. M., Zhang, K., Duan, S., Chen, Y., & Xu, F. J. (2023). Infection-responsive long-term antibacterial bone plates for open fracture therapy. *Bioactive Materials*, *25*(December 2022), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.01.002>