

Analisis Tegangan dan Distribusi Beban Interference Screw (IFS) dengan Material Titanium Alloy

Yusuf Subagyo^{1*}, Baharudin Priwintoko², Ibnu Rosyid Al Hassany¹, Arif Syamsudin³

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Semarang 50275, Indonesia

²⁾ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Akademi Inovasi Indonesia, Salatiga 50711, Indonesia

³⁾ Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten 57465, Indonesia

*yusuf.subagyo@polines.ac.id

Abstract:

Cidera ligamen anterior cruciatum (ACL) merupakan salah satu cidera yang umum terjadi pada atlet dan sering kali memerlukan tindakan rekonstruksi dengan bantuan interference screw (IFS). Material yang digunakan dalam pembuatan IFS memiliki peranan penting dalam menentukan keberhasilan fiksasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan dan distribusi beban pada IFS berbahan titanium alloy menggunakan pendekatan Finite Element Analysis (FEA) dengan perangkat lunak Ansys. Desain IFS direkayasa ulang berdasarkan produk Smith & Nephew dengan dimensi panjang 25 mm dan diameter 9 mm. Simulasi dilakukan pada dua skenario pembebanan, yaitu torsi sebesar 2000 N.mm dan gaya tarik (pullout) sebesar 200 N. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada pengujian torsi adalah sebesar 41,021 MPa dengan deformasi 0,108 mm, sedangkan pada pengujian pullout sebesar 42,628 MPa dengan deformasi 0,095 mm. Nilai tegangan yang dihasilkan masih jauh di bawah batas yield strength material titanium alloy (930 MPa), yang menunjukkan bahwa desain dan material IFS mampu menahan beban kerja yang disimulasikan. Dengan demikian, penggunaan titanium alloy sebagai material IFS dinilai layak dan efektif secara mekanis berdasarkan hasil simulasi ini.

Keywords: Finite Element Analysis; Interference Screw; Pullout, Titanium Alloy; Torsi

1. Pendahuluan

Cidera ACL merupakan cidera yang sering dialami oleh atlet, bahkan cidera ini dapat menyebabkan atlet harus menepi dalam kejuaraan dengan kurun waktu yang cukup lama. Data dari *International Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Injury*, menunjukkan bahwa masing-masing negara mengalami kasus ACL Injury kisaran 29 hingga 38 per 100.000 orang [1]. Sedangkan cidera ACL di Indonesia memiliki prevalensi sebesar 48 per 1000 pasien dengan persentase 9% adalah cidera ACL [2]. Kemudian daftar cabang olahraga penyebab cidera ACL tertinggi adalah sepak bola, basket dan ski. Cidera ACL pada umumnya disebabkan pergerakan perubahan arah yang cepat, mendarat pada posisi yang salah dan benturan pada area lutut [3].

Cidera ACL pada umumnya dibagi menjadi 3 jenis, yaitu sobek ringan (tingkat 1), sobek sebagian (tingkat 2) dan putus (tingkat 3) [4]. Jika cidera masih dalam kategori sobek (Tingkat 1) maka hanya perlu fisioterapi secara berkala untuk penyembuhan. Sedangkan cidera ACL yang putus memerlukan tendon pengganti dan fiksasi, biasanya menggunakan otot hamstring dan fiksasi dengan screw (IFS) [5]. IFS merupakan komponen penting dalam fiksasi tendon, dikarenakan kekuatan fiksasi dipengaruhi oleh kekuatan IFS. Beberapa penelitian yang telah terbit menunjukkan beberapa material yang telah digunakan sebagai material IFS, diantaranya, keramik, polymer, logam dan komposit [6].

Merujuk pada artikel yang ada, logam masih menjadi material yang memiliki mekanikal properties yang paling kuat, namun beberapa logam belum memiliki kemampuan degradasi yang baik atau bahkan kemampuan degradasinya terlalu cepat. Titanium (Ti) merupakan material yang sering digunakan sebagai IFS dikarenakan sifat biokompatibel yang baik, tahan korosi, dan kemampuannya dalam menyatu dengan tulang [7]. Penelitian berikut menunjukkan bahwa material Ti

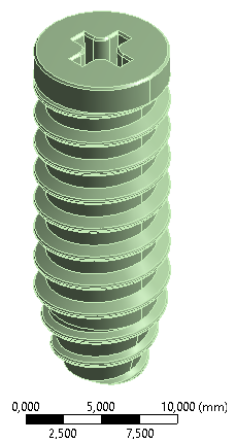
memiliki kompatibilitas biologis, dan tidak adanya artefak logam pada saat MRI [8]. Terdapat pula penelitian perbandingan material IFS Magnesium Alloy dibandingkan dengan Titanium Alloy dengan driver yang berbeda menggunakan pendekatan elemen hingga pada software Ansys [9]. Hasil menunjukkan kedua material memiliki distribusi beban dibawah batas nilai ultimate material [9].

Finite elemen analysis (FEA) merupakan metode komputasi untuk menganalisis suatu benda dengan batas batas tertentu. FEA juga dikenal sebagai teknik numerik yang membagi objek yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen hingga, kemudian menganalisis perilaku setiap elemen yang di analisis. Selanjutnya, penelitian IFS dengan material Magnesium, dalam penelitian tersebut menggunakan software Ansys untuk menganalisa kemampuan material saat pengujian pullout dilakukan pada [10]. Hasil menunjukkan IFS dengan driver buttress memiliki kemampuan material tertinggi. Pada penelitian tersebut juga menunjukkan faktor desain, ulir dan diameter IFS mempengaruhi kemampuan tarik [10]. Pengujian FEA diperlukan untuk mengetahui seberapa kuat desain dan material sebelum diproduksi, sehingga kekuatan desain yang direncanakan dapat diketahui.

Menurut ASTM F2502-11, IFS harus melewati dua pengujian yaitu torsi dan pullout. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan (Mau et al., 2020), dimana pengujian FEA pada IFS memerlukan beberapa indikator pembebanan, yaitu nilai puntir (N.mm) dan gaya tarik (N) [9]. Besar gaya torsi dan pullout disesuaikan dengan beban yang diterima waktu pemasangan IFS dan beban berjalan. Penelitian kali ini membahas kekuatan mekanik IFS dengan material Titanium Alloy pada pengujian finite elemen analysis (FEA), desain yang digunakan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [11,12].

2. Material dan Metode

IFS yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki panjang 25 mm, diameter 9 mm dengan driver plus. Desain merujuk pada penelitian [11]. Desain IFS menggunakan SolidWorks 2024 dan merupakan desain reverse engineering dari produk Smith & Nephew. Dimensi Screw dapat dilihat pada **Gambar 1**. FEA model screw menggunakan software Ansys Workbench 19.2.

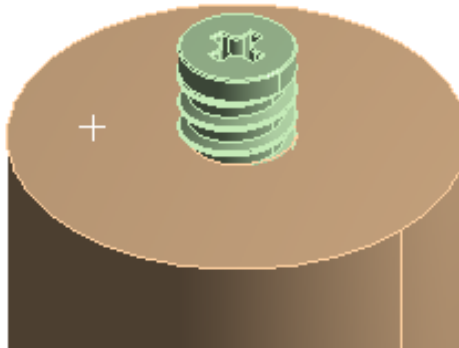


Gambar 1. Isometrik IFS

Material yang digunakan pada FEA adalah Ti Alloy dan Polyuretane grade 10 dengan mekanikal properties pada **Tabel 1**. Polyuretane digunakan sebagai base pengujian torsi dan pullout, hal ini sesuai dengan standar ASTM F2502.

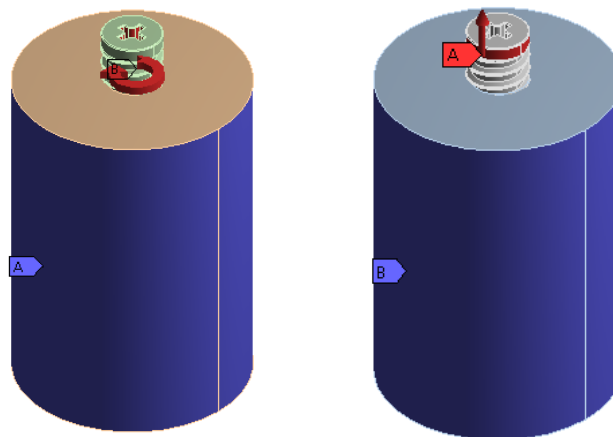
Tabel 1. Mekanikal properties Ti Alloy dan Polyurethane grade 10

Material	Modulus Young (Gpa)	Poisson Rasio	Shear Modulus (Gpa)	Yield Strength (Mpa)	Densitas (g/cm ³)	Ref
Ti Alloy	96	0,36	35,2	930	4,62	[13]
Polyurethane 10	0,057	0,24	0,022	-	-	[9]

**Gambar 2.** Modelling IFS dengan base pengujian

Nilai mesh yang digunakan dalam penelitian adalah 0,3 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [9 11]. Tipe pembagian mesh tetrahedrons dengan jumlah 1.840.856 nodes dan 1.088.431 elemen. Boundary condition pengujian torsi menggunakan momen puntir sebesar 2000 N.mm yang di aplikasikan pada dinding driver IFS. Arah momen puntir sesuai dengan arah ulir dari IFS. Kemudian ikatan antar part bonded sepanjang 3/4 dari kedalaman IFS pada base pengujian [9,11].

Boundary condition pada pengujian pullout menggunakan gaya tarik searah sumbu Y dengan besar gaya tarik 200 N. Nilai tersebut menunjukkan besarnya gaya yang diterima pada saat manusia berjalan, sesuai dengan penelitian yang dilakukan [14]. Boundary condition kedua pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3**.

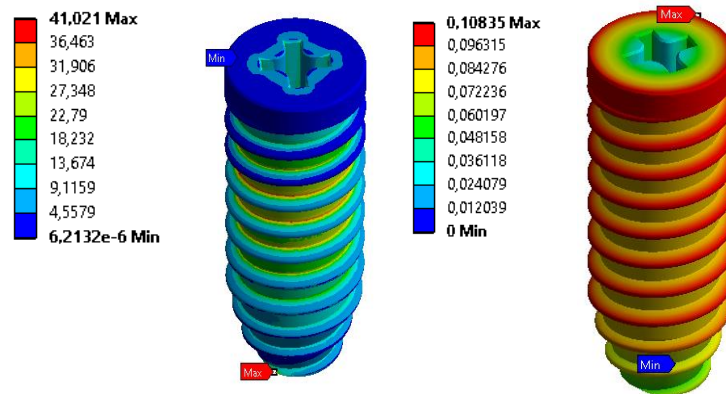
**Gambar 3.** Boundary condition pengujian torsi dan pullout

3. Hasil dan pembahasan

Berikut ini adalah hasil penelitian yang telah dilakukan, selanjutnya akan dibahas sebagai berikut.

3.1 Pengujian Torsi

Hasil FEA pengujian torsi pada software Ansys dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil pengujian meliputi nilai stress maksimum dan deformasi maksimum.

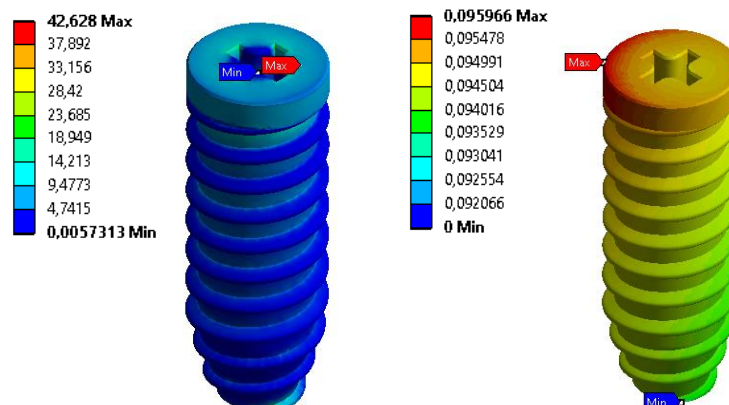


Gambar 4. Hasil von-Mises stress dan deformasi FEA pengujian torsi

Hasil pengujian FEA torsi menunjukkan bahwa nilai stress maksimum sebesar 41,021 MPa. Nilai ini lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh [9]. Namun perbedaan ini disebabkan oleh mekanikal properties material yang berbeda, dimensi geometri IFS yang lebih besar dan spesifikasi pitch geometri. Maksimum stress berada pada bagian ujung ulir geometri IFS, hal ini disebabkan ujung ulir memiliki thickness yang lebih kecil dan ujung ulir merupakan awal terjadinya kontak saat momen puntir diberikan, hasil distribusi beban ini sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh [15]. Area distribusi stress berikutnya ada pada 1/3 dari ulir bagian atas, dan area ini memungkinkan terjadinya patahan. Hal tersebut sama dengan penelitian eksperimen IFS yang dilakukan oleh [12], hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa patahan berada pada area 1/3 dari atas geometri IFS [12].

Deformasi pada screw menunjukkan nilai 0,108 mm dan berada pada area luar geometri, hal ini disebabkan oleh momen puntir yang diberikan berada pada driver, sehingga ketika momen puntir di berikan geometri mengalami deformasi. Deformasi ini masih dalam rentan area elastis, dikarenakan nilai stress maksimum masih dibawah nilai yield strength material yaitu 930 MPa.

3.2 Pengujian Pullout



Gambar 5. Hasil von-Mises stress dan deformasi FEA pengujian pullout

Hasil pengujian pullout menunjukkan nilai maksimum stress sebesar 42,628 MPa dan deformasi maksimum 0,095 mm. Tegangan tertinggi dan deformasi tertinggi berada pada kepala IFS, hal ini disebabkan oleh gaya tarik pullot yang berada pada kepala screw. Sehingga gaya tarik terdekat berada pada area geometri tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian [9, 11]. Nilai maksimum stress masih jauh dibawah nilai yield strength material Ti Alloy. Hasil pengujian pullout material dapat dikatakan memenuhi syarat sebagai IFS.

Dalam pengujian tarik ada beberapa indikator yang harus diperhatikan, diantaranya adalah seberapa besar kontak antara screw dengan base polyuretane. Hal tersebut dapat ditentukan dengan banyaknya ulir yang ada pada geometri IFS

atau seberapa besar geometri IFS. Kedua hal tersebut mempengaruhi seberapa besar area kontak screw yang akan di uji. Tentu semakin banyak area kontak maka ikatan akan semakin kuat sehingga stress maksimum akan semakin tinggi [16]. Dapat diketahui bahwa dengan desain IFS yang digunakan, hasil pengujian pullout masih jauh dari 50% kekuatan yield strength Ti Alloy.

Pada penelitian yang dilakukan kali ini masih ada beberapa hal yang belum maksimal. Boundary condition yang bertujuan mendekati penelitian eksperimental tidak mewakili aplikasi bedah yang sebenarnya, yaitu cangkuk jaringan lunak dan tulang di sekitar. Namun, kondisi batas dan pembebanan dalam penelitian ini menghasilkan efek torsi dan pullout yang diterapkan pada penggerak sekrup dan beban manusia saat berjalan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi analisis elemen hingga (FEA) terhadap desain interference screw berbahan titanium alloy, dapat disimpulkan bahwa. Desain IFS menunjukkan performa mekanik yang baik di bawah pembebanan torsi dan tarik (pullout). Deformasi maksimum yang terjadi juga masih dalam batas elastis, sehingga tidak menyebabkan kegagalan material secara struktural. Distribusi tegangan menunjukkan konsentrasi pada ujung ulir dan kepala sekrup, sesuai dengan karakteristik gaya yang diterapkan. Dengan demikian, material titanium alloy dinyatakan layak digunakan sebagai material IFS, khususnya untuk aplikasi fiksasi tendon dalam kasus rekonstruksi ACL.

Namun demikian, perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut untuk memodelkan kondisi fisiologis yang lebih kompleks, termasuk interaksi dengan jaringan lunak dan tulang sekitar guna mendekati kondisi klinis sebenarnya.

Daftar Pustaka:

- [1] Raveena Wulan Octavia, Isnaini Herawati, & Halim Mardianto. (2024). Management Fisioterapi Pada Post Ligament Anterior Cruciatum Recontruction (ACLR) Fase 1 Di RSD KRMT Wongsonegoro, Semarang: Case Report. *Jurnal ABDIMAS Indonesia*, 2(1), 09–17. <https://doi.org/10.59841/jurai.v2i1.1002>
- [2] Dhuhairi, M. S., Israwan, W., Zakaria, A., & Hargiani, F. X. (2021). Pengaruh Pemberian Cryotherapy terhadap Penurunan Nyeri pada Pasien Post-op ACL di Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya. *TRIK: Tunas-Tunas Riset Kesehatan*, 11(November), 219–222.
- [3] Priono, B. H., Utoyo, G. A., & Ismiarto2, Y. D. (2018). RELATIONSHIP OF ACL INJURY WITH POSTERIOR TIBIAL SLOPE, INTERCONDYLAR NOTCH WIDTH RATIO, AGE, AND SEX. *Journal Orthopaedi and Traumatology Surabaya*, 7(2).
- [4] Adhitya Prabawa, I. W. R. (2024). Diagnosis dan Tata Laksana Cidera Ligamen Cruciatum Anterior. *Cermin Dunia Kedokteran*, 51(11), 635–639. <https://doi.org/10.55175/cdk.v51i11.1226>
- [5] Indriastuti, A. P. I. (2021). Program Fisioterapi pada Kondisi Pasca Rekonstruksi Anterior Cruciate Ligament (ACL) Fase I: A Case Report. *Physio Journal*, Vol 1, No 2 (2021): SEPTEMBER, 1–9. <https://jurnal.aiska-university.ac.id/index.php/PHYSIO/article/view/795/350>
- [6] Hartanti, L. P. S., Bawono, B., Yuniarto, T., Mulyono, J., Ismail, R., J., J., Bayuseno, A. P., & Anggoro, P. W. (2024). Recent progress and perspective in material and manufacturing of interference screw. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2364048>
- [7] Tsai, P., Chen, C., Huang, S., Yang, K., Lin, T., Chen, S., & Sun, J. (2018). Improvement of bone-tendon fixation by porous titanium interference screw: A rabbit animal model. *Journal of Orthopaedic Research*, 36(10), 2633–2640. <https://doi.org/10.1002/jor.24037>
- [8] Shumborski, S., Heath, E., Salmon, L. J., Roe, J. P., Linklater, J. P., Facek, M., & Pinczewski, L. A. (2019). A

Randomized Controlled Trial of PEEK Versus Titanium Interference Screws for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With 2-Year Follow-up. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(10), 2386–2393. <https://doi.org/10.1177/0363546519861530>

- [9] Mau, J. R., Hawkins, K. M., Woo, S. L.-Y., Kim, K. E., & McCullough, M. B. A. (2020). Design of a new magnesium-based anterior cruciate ligament interference screw using finite element analysis. *Journal of Orthopaedic Translation*, 20, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2019.09.003>
- [10] McCullough, M. B. A., Hawkins, K. M., & Sankar, J. (2018). PARAMETRIC FINITE ELEMENT ANALYSIS OF MAGNESIUM-BASED ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INTERFERENCE SCREWS FOR THE PURPOSE OF OPTIMIZING SCREW PURCHASE. *Journal of Musculoskeletal Research*, 21(03n04), 1850016. <https://doi.org/10.1142/S0218957718500161>
- [11] Setyadi, I., Subagyo, Y., Ismail, R., Taqwatomo, G., Suryadi, S., Wibisono, M., Adhitya, K., Hidayat, A., Supriadi, S., & Jujur, I. N. (2025). Finite element analysis (FEA) study on the development of bioabsorbable magnesium-carbonate apatite (Mg-CAp) composite as a candidate interference screw (IFS) material. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*. <https://doi.org/10.1108/MMMS-10-2024-0308>
- [12] Ismail, R., Fitriyana, D. F., Nugraha, F. W., Bayuseno, A. P., & Ammarullah, M. I. (2025). Investigation of the influence of 3D printing parameters on the properties of interference screws made of PLA/PCL/HA biocomposite filaments. *Materials Technology*, 40(1). <https://doi.org/10.1080/10667857.2024.2443598>
- [14] Chizari, M., Snow, M., & Wang, B. (2011). Post-Operative Assessment of an Implant Fixation in Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery. *Journal of Medical Systems*, 35(5), 941–947. <https://doi.org/10.1007/s10916-010-9514-z>
- [13] Ansys Engineering Data 19.2
- [15] Abdullah, A. H., Rashid, H., Mahmud, J., Othman, M. F., & Ibrahim, M. W. A.-J. (2012). Effects of Screw Materials in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction using Finite Element Analysis. *Procedia Engineering*, 41, 1614–1619. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.358>
- [16] Pah, J., Irawan, Y., & Suprpto, W. (2018). Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon pada Pengelasan Gesek Continuous Drive. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(1), 51–59. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.01.8>