

## PENGARUH VARIASI *RPM* MESIN *TURNING* KONVENSIONAL TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK *INTERFERENCE SCREW* BERBAHAN PLA/PCL/HA

\*Rizal Renaldy<sup>1</sup>, Rifky Ismail<sup>2</sup>, Sri Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [renaldyrizal09@gmail.com](mailto:renaldyrizal09@gmail.com)

### Abstrak

Cedera *Anterior Cruciate Ligament* (ACL) merupakan salah satu cedera lutut yang paling umum, khususnya di kalangan atlet. Rekonstruksi ACL sering menggunakan *interference screw* untuk menahan *graft ligamen* pada posisi yang tepat. Namun, keterbatasan penggunaan *screw* berbahan logam, seperti risiko korosi dan perlunya operasi lanjutan, mendorong pengembangan *biodegradable interference screw* berbahan komposit PLA (*Poly-Lactic Acid*), PCL (*Polycaprolactone*), dan HA (*Hydroxyapatite*). Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh variasi *RPM* mesin *turning* konvensional dalam metode *machining* terhadap sifat fisik, mekanik, dan biodegradasi dari *interference screw* berbahan PLA/PCL/HA. Metode penelitian ini melibatkan pemrosesan biokomposit PLA/PCL/HA menggunakan metode *machining* dengan *RPM* 360. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu untuk menciptakan *interference screw* terbaik yang dapat digunakan di pasaran. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan mekanik, meliputi porositas, densitas, kekerasan, torsi, *pullout* serta laju biodegradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *RPM* mesin *turning* konvensional mempengaruhi sifat material yang dihasilkan, di mana rpm optimal pada *RPM* 360, memberikan kombinasi terbaik dari segi kekerasan, densitas, dan ketahanan torsi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *machining* dapat menghasilkan *biodegradable interference screw* berbahan PLA/PCL/HA dengan kualitas yang mendekati produk komersial. Pengembangan ini berpotensi mengurangi ketergantungan pada produk *import* dan mendukung inovasi teknologi medis dalam negeri.

**Kata Kunci:** *biodegradable screw; machining; turning; rpm*

### Abstract

*Anterior Cruciate Ligament* (ACL) injuries are among the most common knee injuries, particularly among athletes. ACL reconstruction often employs *interference screws* to secure the ligament graft in the correct position. However, limitations associated with metal screws such as the risk of corrosion and the potential need for follow-up surgery have driven the development of *biodegradable interference screws* made from PLA (*Poly-Lactic Acid*), PCL (*Polycaprolactone*), and HA (*Hydroxyapatite*) composites. This study aims to investigate the effect of varying the rotational speed (*RPM*) of a conventional turning machine on the physical, mechanical, and biodegradation properties of PLA/PCL/HA *interference screws*. The research involved processing the PLA/PCL/HA biocomposite via *machining* at 360 *RPM*. The ultimate goal was to develop a high-quality *interference screw* suitable for the market. Testing was conducted to evaluate physical and mechanical characteristics, including porosity, density, hardness, torque, pull-out strength, and biodegradation rate. The results indicate that the turning machine's *RPM* influences the material's properties specifically, 360 *RPM* was identified as optimal, yielding the best combination of hardness, density, and torsional resistance. The study concludes that *machining* can produce PLA/PCL/HA *biodegradable interference screws* with quality comparable to commercial products. This development holds the potential to reduce reliance on imports and support domestic medical technology innovation.

**Keywords:** *biodegradable screw; machining; turning; rpm*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

*Ligamen cruciatum anterior* (ACL) adalah salah satu dari dua ligamen krusial di dalam sendi lutut yang berfungsi menstabilkan sendi tersebut [1]. Fungsi utama ACL adalah mencegah pergeseran *anterior tibia* terhadap *femur*, serta membatasi rotasi internal *tibia* dan gerakan *valgus* lutut. *Ligamen* ini memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas dinamis dan koordinasi sendi lutut selama aktivitas fisik. Kehilangan fungsi ACL dapat menyebabkan gangguan fungsi lutut, cedera meniskus, dan perkembangan degenerasi sendi dini [2]. Penanganan cedera ACL dapat bersifat konservatif atau bedah, tergantung pada tingkat keparahan cedera, usia pasien, tingkat aktivitas, dan tujuan fungsional. Rekonstruksi ACL dengan menggunakan *graft tendon* adalah prosedur umum untuk mengembalikan stabilitas lutut. Rehabilitasi pasca operasi sangat penting untuk memulihkan fungsi lutut dan mencegah cedera ulang [3]. Kombinasi PLA/PCL/HA

digunakan untuk membuat *screw* tulang yang dapat terurai secara hayati, yang penting dalam rekonstruksi ACL. PLA/PCL/HA memiliki kekuatan mekanik yang memadai, laju degradasi yang dapat dikendalikan, dan bioaktivitas yang mendukung penyembuhan tulang [4]. *Injection molding* digunakan untuk memproduksi *rods* dengan volume tinggi dari material cair yang disuntikkan ke dalam cetakan [5]. *Machining Process* pada biokomposit PLA/PCL/HA, dalam pembuatan *interference screw* merupakan tahapan penting untuk mendapatkan dimensi presisi dan kualitas yang diperlukan dalam aplikasi medis. Salah satu tantangan dalam pemesinan PLA/PCL/HA adalah menjaga kestabilan geometri selama proses, karena komposit ini memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan logam. Kecepatan putaran mesin yang tepat sangat penting untuk mencegah deformasi material [6]. Pada pembuatan *interference screw* komposit PLA/PCL/HA, *machining process* seperti pembubutan dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik. Penerapan proses *machining* pada *interference screw* biokomposit merupakan solusi untuk memperoleh produk dengan presisi dimensi, dan bentuk ulir yang optimal. Pada penelitian ini meneliti variasi *RPM* mesin *turning* konvensional dari komposit PLA/PCL/HA, dengan variasi *RPM* 360.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan biokomposit yang terdiri dari *Polylactic Acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan *Hydroxyapatite* (HA). Komposisi bahan terdiri dari 85% PLA, 15% PCL, dan 5% HA berdasarkan berat total [7]. Bahan-bahan tersebut dicampur menggunakan metode *chemical blending*, di mana PLA dan PCL dicampurkan dengan pelarut *kloroform* pada suhu 50°C dan kecepatan 300 rpm selama 30 menit. Setelah campuran homogen tercapai, HA ditambahkan dalam konsentrasi 5% dari total massa campuran dan diaduk selama 1 jam pada suhu 65°C dengan kecepatan 100 *RPM* untuk memastikan distribusi yang merata [8]. Setelah proses pencampuran selesai, campuran biokomposit PLA/PCL/HA dicetak menggunakan mesin *injection molding* pada suhu 175°C dengan tekanan injeksi 5 bar untuk membentuk *rods* yang diinginkan. Setelah proses *injection molding*, *rods* yang telah terbentuk kemudian diproses lebih lanjut menggunakan proses pemesinan (*machining process*) untuk menghasilkan *interference screw*. Proses pemesinan dilakukan dengan mesin *turning* konvensional, dan parameter pemesinan yang digunakan adalah *rpm* mesin 360, yang terbukti efektif untuk menghasilkan *interference screw* tanpa merusak struktur komposit. Lalu dilakukan beberapa pengujian seperti porositas, densitas, kekerasan, torsi, pullout dan laju degradasi, untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik *interference screw* PLA/PCL/HA yang dihasilkan

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, telah dilakukan pembuatan *interference screw* yang dibuat menggunakan metode *machining*. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah *rpm* dari proses *machining* menggunakan mesin *turning* konvensional. Material *rods* yang dipakai menggunakan bahan PLA (85%), PCL (15%), dan HA (5% dari berat total) yang dicampur dengan metode *chemical blending*. Material dasar berupa *polylacticacid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan *hidroksiapatite* (HA) dicampurkan menggunakan metode *chemical blending* dengan tujuan untuk menghasilkan komposit yang merata antara polimer PLA dan PCL dengan partikel HA, sehingga ketiga material dapat tercapur merata antar partikelnya. Proses pencampurannya dilakukan dengan *magnetic stirrer* dan memasukkan bahan bahan secara bertahap. Untuk memudahkan pencampurannya dibutuhkan *kloroform* sebagai media dari PLA/PCL/HA. Nantinya dari *klorofoam* tersebut akan menguap dengan sendirinya. Setelah semua bahan tercampur dan menjadi campuran homogen, komposit tersebut dikeringkan di suhu ruangan dan menunggu hingga kering.

Hasil dari komposit nantinya digunakan untuk proses *injection molding*. Setelah komposit tersebut kering proses selanjutnya yaitu melakukan *injection molding* dengan parameter suhu 175° dan dengan tekanan 5 bar. Alat press yang digunakan terdapat *nozzel* yang menyambungkan antara *chamber* yang digunakan untuk menuangkan komposit dan *molding* untuk mengisi cairan dari PLA/PCL/HA. Komposit tersebut dilelehkan dengan *heatband* yang langsung mengikat pada *chamber* sehingga nantinya setelah dipanaskan hingga suhu 175°, komposit dapat dimasukkan lalu tunggu hingga meleleh. Setelah itu dilakukan proses penekanan ke dalam *chamber* dengan tekanan sebesar 5 bar.

Proses *machining* dilakukan pada *rods* yang terbuat dari material PLA/PCL/HA setelah melalui proses *injection molding*. *Machining* dilakukan dengan menggunakan mesin *turning* konvensional dengan tipe C6241X1000. Proses *machining* dengan *RPM* 360 pada *rods* bahan PLA/PCL/HA yang dibuat menggunakan *injection molding* dengan tujuan menghasilkan *interference screw*. *Interference screw* yang sudah berhasil dibentuk selanjutnya menjalani serangkaian proses pengujian guna mengetahui sifat fisik dan mekanik.

### 3.1 Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa variasi putaran *spindle* (*RPM*) pada proses *machining* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat porositas *interference screw* berbahan komposit PLA/PCL/HA. Hal ini disebabkan karena proses *machining* merupakan proses pengurangan material yang hanya memodifikasi dimensi dan bentuk tanpa mengubah struktur internal material secara signifikan. *Machining* pada umumnya hanya membuka atau

mengekspos pori yang telah ada di dalam material, bukan membentuk porositas baru. Berdasarkan hasil pengujian porositas metode ASTM C20, diperoleh nilai porositas sebesar 6,38% pada *RPM* 360.

### 3.2 Pengujian Densitas

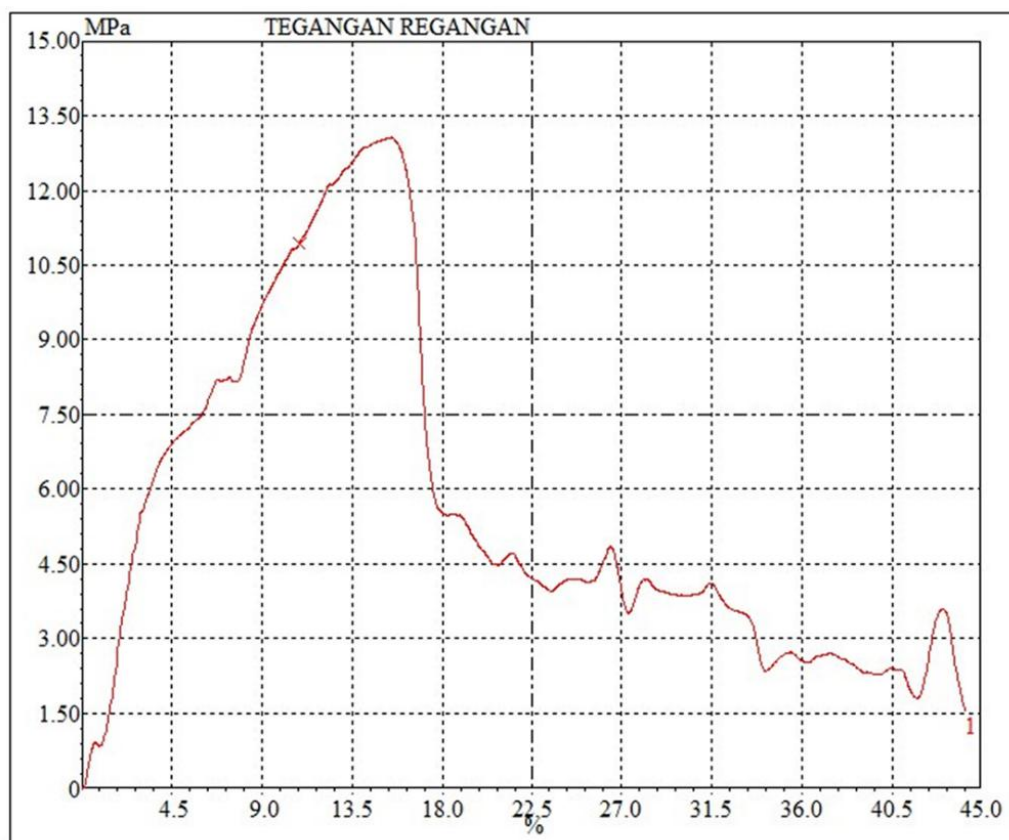
Pengujian densitas *interference screw* menggunakan alat *densitymeter* dan menggunakan dengan standard ASTM D 792-08. Pada ASTM D 792-08 membahas terkait pengujian densitas menggunakan air sebagai cairan yang digunakan. Alat *densitymeter* merupakan sebuah alat ukur untuk mengukur massa jenis dari suatu spesimen uji. *Densitymeter* memiliki prinsip kerja seperti hukum *archimedes* yaitu memanfaatkan perbedaan berat *interference screw* diluar air dan di dalam air, sehingga dapat ditentukan densitas spesimen tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *densitymeter* dan dengan penghitungan massa jenis *interference screw*. Hasil pengujian densitas *interference screw* berbahan PLA/PCL/HA memiliki nilai densitas yaitu 1,13 gr/cm<sup>3</sup> dengan nilai *RPM* 360 pada pengujian ketiga.

### 3.3 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dilakukan 3 kali pengujian pada spesimen ,nilai kekerasan (*Shore A*) pada spesimen dengan variasi *RPM* 360 memiliki nilai kekerasan sebesar 87,7 *Shore A*. Hal tersebut disebabkan oleh peningkatan densitas yang umumnya disertai peningkatan nilai kekerasan, karena spesimen tersebut memiliki struktur mikro yang lebih rapat dan rendahnya porositas pada material berdensitas tinggi.

### 3.4 Pengujian Pullout

*Tensile strength* pada *interference screw* merupakan ukuran kemampuan material *screw* dalam menahan gaya tarik maksimum sebelum mengalami patah. Parameter ini sangat penting karena menggambarkan ketahanan struktural *screw* terhadap beban aksial, baik saat proses pemasangan maupun selama fase awal penyembuhan pasca operasi. nilai *tensile strenght* tertinggi dari pengujian pada masing – masing spesimen dimiliki oleh spesimen dengan variasi *RPM* 360 yaitu 13,07 MPa. Apabila bila *tensile strength* tinggi maka *screw* memiliki kemampuan tinggi untuk menahan gaya tarik sebelum patah. Ini adalah sifat yang sangat penting dalam aplikasi teknik dan medis, termasuk pada *interference screw*, karena berhubungan langsung dengan daya tahan terhadap beban fisiologis. Grafik hasil pengujian *pullout* spesimen *rpm* 360 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik uji *pullout* spesimen *rpm* 360

### 3.5 Pengujian Degradasi

Hasil pengurangan massa *biodegradable interference screw* yang dilakukan perendaman selama 7 hari, sehingga menghasilkan penurunan berat pada masing – masing spesimen. Pada spesimen dengan *RPM* 360 awalnya memiliki berat 1,4148 gram lalu berat setelah dilakukan perendaman selama 7 hari yaitu 1,3937 gram, Dimana terjadi pengurangan berat sebanyak 0,0211 gram atau 1,49 %. Spesimen dengan *RPM* 360 memiliki laju degradasi yang tinggi, hal tersebut dipengaruhi oleh perbedaan rpm pada saat *machining* yang menyebabkan perbedaan densitas dan apabila densitas *biodegradable interference screw* makin tinggi maka kerapatannya juga akan meningkat sehingga laju degradasinya semakin kecil.

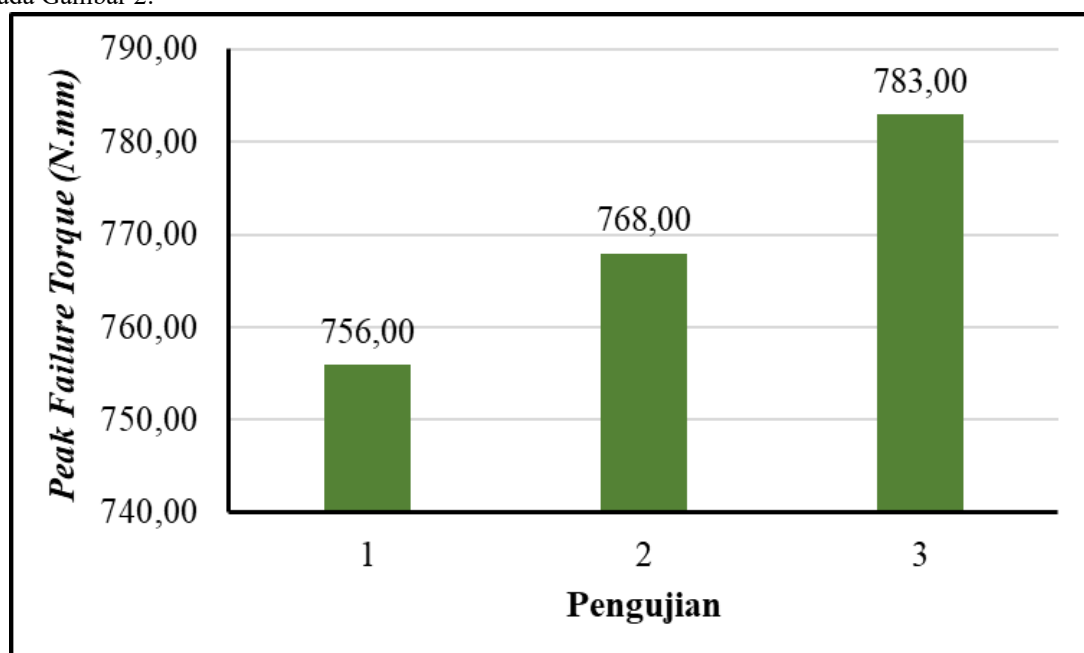
### 3.6 Pengujian Torsi

Nilai *Peak Failure Torque* spesimen dengan *RPM* 360 yang didapatkan pada saat dilakukan pengujian torsi. Data pengujian torsi spesimen dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 1. Data pengujian torsi spesimen dengan rpm 360

| Spesimen Pengujian |   | Surface Area (mm <sup>2</sup> ) | Threshold Torque (N.mm) | Peak Failure Torque (N.mm) | Peak Clamping Torque (N.mm) | Peak Clamping Torque Normalize (N/mm) | CTL (1,5 TT-2,25 TT) |
|--------------------|---|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| R3                 | 1 | 440,00                          | 353,00                  | 756,00                     | 554,50                      | 1,26                                  | 529.5 - 794.25       |
|                    | 2 | 440,00                          | 337,00                  | 768,00                     | 552,50                      | 1,25                                  | 505.5 - 758.25       |
|                    | 3 | 440,00                          | 358,00                  | 783,00                     | 570,50                      | 1,29                                  | 537.00 - 805.50      |
| Rata - Rata        |   | 440,00                          | 349,33                  | 769,00                     | 559,17                      | 1,27                                  | 524.00 - 786.00      |

*Peak Failure Torque* (PFT) merupakan nilai torsi saat *interference screw* mulai mengalami kegagalan (*torsional breaking*). *Peak Failure Torque* (PFT) *interference screw* berbahan biokomposit yang dilakukan 3 kali pengujian pada spesimen dengan *RPM* 360 sebesar 769,00 N.mm. Berdasarkan perbedaan nilai *Peak Failure Torque* (PFT) yang didapat, menunjukkan semakin besar nilai *Peak Failure Torque* (PFT) maka semakin besar torsi yang bisa diterima atau ditahan oleh *biodegradable interference screw* sebelum mengalami kegagalan atau patah. Grafik hasil pengujian torsi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rata -Rata *Peak Failure Torque Interference Screw*



Berdasarkan hasil perbandingan pengujian torsi dengan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa *interference screw* spesimen pada penelitian ini memiliki sifat mekanik yang baik dengan capaian nilai efisiensi torsi yaitu *good clamping*, nilai *Peak Failure Torque* (PFT) yang dimiliki *interference screw* spesimen ini sudah melebihi nilai dari spesimen D dan S205K40, namun belum melebihi nilai yang dimiliki oleh *interference screw* komersial *Smith & Nephew*. Hal tersebut disebabkan oleh nilai kristalinitas PLLA lebih tinggi dibandingkan dengan PLA. Hasil *Efficient clamping visualization* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** *Efficient clamping visualization*

| Spesimen                 | PCT (N.mm) | Nilai efisiensi                             |
|--------------------------|------------|---------------------------------------------|
| Spesimen RPM 360         | 559,17     | <i>Good Clamping</i> (Penelitian saat ini)  |
| PLA/PCL/HA<br>Spesimen D | 392,50     | <i>Clamping</i> (Jamari dkk., 2023)         |
| PLA/PCL/HA S205K40       | 539,50     | <i>Good Clamping</i> (Ismail dkk., 2025)    |
| Komersial                | 856,50     | <i>Clamping Failure</i> (Jamari dkk., 2023) |

#### 4. Kesimpulan

Variasi kecepatan putaran mesin terbukti memberikan pengaruh terhadap sifat fisik, mekanik, dan laju biodegradasi *interference screw* yang dihasilkan. Pengujian porositas menunjukkan bahwa perubahan RPM tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai porositas karena porositas lebih dipengaruhi oleh struktur internal *rods* hasil proses *injection molding*. Namun demikian, variasi RPM berpengaruh terhadap densitas, kekerasan, kekuatan torsi, kekuatan *pullout*, dan laju degradasi material. Spesimen dengan kecepatan putaran 360 RPM menghasilkan performa terbaik dengan nilai densitas rata-rata 1,13 g/cm<sup>3</sup>, kekerasan 87,7 Shore A, nilai *Tensile Strength* sebesar 13,07 MPa, serta nilai torsi yang telah memenuhi kategori *good clamping*. Selain itu, spesimen dengan RPM 360 memiliki laju degradasi sebesar 1,49%, yang menunjukkan keseimbangan yang baik antara kekuatan mekanik dan kemampuan biodegradasi. Hasil perbandingan dengan *biodegradable interference screw* komersial menunjukkan bahwa produk hasil penelitian memiliki sifat mekanik yang cukup kompetitif dan mendekati produk komersial, meskipun masih terdapat beberapa parameter yang belum menyamai performa produk komersial. Nilai densitas dan *peak failure torque interference screw* komersial masih lebih tinggi dibandingkan spesimen terbaik hasil penelitian.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] J. Zhong *et al.*, "High Hardness, Excellent Hydrophobicity, and Favorable Corrosion Resistance of Plasma-Sprayed FeCrMoSi Amorphous Coatings on 304 Stainless Steel," *Molecules*, vol. 28, no. 18, Sep. 2023, doi: 10.3390/molecules28186718.
- [2] Ismail, R., Fitriyana, D.F., Bayuseno, A.P., Munanda, R., Muhamadin, R.C., Nugraha, F.W., Rusiyanto, Setiawan, A., Bahatmaka, A., Firmansyah, H.N., Anis, S., Irawan, A.P., Siregar, J.P. and Cionita, T. (2023). Design, Manufacturing and Characterization of Biodegradable Bone Screw from PLA Prepared by Fused Deposition Modelling (FDM) 3D Printing Technique. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, [online] 103(2), pp.205–215. doi:<https://doi.org/10.37934/arfmts.103.2.205215>.
- [3] M. Sinha and R. K. Tyagi, "Strength and corrosion analysis in alloy steel and E-glass composite wear ring in automotive engine cooling water pump," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 1474–1478. doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.054.
- [4] J. Jamari, D.F. Fitriyana, Ramadhan, P.S., S. Nugroho, Ismail, R. and A.P. Bayuseno (2022). Interference screws 3D printed with polymer-based biocomposites (HA/PLA/PCL). *Materials and manufacturing processes*, 38(9), pp.1093–1103. doi:<https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2157428>.
- [5] Jiang, C., Peng, H., Sun, Y., Xu, S., Li, W., Huang, Y., Xiang, D., Fan, X., Zhao, J., He, C. and Song, B. (2024). Comparison of a Novel Modified PLA/HA Bioabsorbable Interference Screw With Conventional PLGA/β-TCP Screw: Effect on 1-Year Postoperative Tibial Tunnel Widening in a Canine ACLR Model. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 12(10). doi:<https://doi.org/10.1177/23259671241271710>.

- [6] Arshad, M.H., Saxena, K.K., Chen, X. and Reynaerts, D. (2025). Introduction and Overview of Advanced Machining Processes. *Advancements in Machining Processes Through Hybrid and Sequential Approaches*, pp.1–27. doi:<https://doi.org/10.1201/9781003597230-1>.
- [7] Fajar Fitriyana, Januar Parlaungan Siregar and Tezara Cionita (2023). Characterization of PLA/PCL/Nano-Hydroxyapatite (nHA) Biocomposites Prepared via Cold Isostatic Pressing. *Polymers*, [online] 15(3), pp.559–559. doi:<https://doi.org/10.3390/polym15030559>.
- [8] Budi Basuki, Ignatius Aris Hendaryanto, Benidiktus Tulung Prayoga and Handoko Handoko (2023). Hubungan Antara Produktifitas Pemesinan dan Kualitas Permukaan Bahan UHMWPE Hasil Bubut Silindris dengan Mesin CNC. *Jurnal engine : energi, manufaktur, dan material*, 7(1), pp.15–15. doi:<https://doi.org/10.30588/jecmm.v7i1.1461..>
- [9] Fariz Wisda Nugraha, Ismail, R., Athanasius Priharyoto Bayuseno, Deni Fajar Fitriyana, Mochammad Ariyanto, Mubarak, M.H. and Ilham Fajar Bagaskara (2024). Influence of Preheat Temperature Variation on Single Screw Extrusion for Characterizing PLA, PCL, and HA Biocomposite Filaments. *E3S Web of Conferences*, 576, pp.06007–06007. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202457606007>.
- [10] Ismail, R., Cionita, T., Lai, Y.L., Fitriyana, D.F., Siregar, J.P., Bayuseno, A.P., Nugraha, F.W., Muhamadin, R.C., Irawan, A.P. and Hadi, A.E. (2022). Characterization of PLA/PCL/Green Mussel Shells Hydroxyapatite (HA) Biocomposites Prepared by Chemical Blending Methods. *Materials*, [online] 15(23), p.8641. doi:<https://doi.org/10.3390/ma15238641>.