

**Studi Numerik Bantalan Implan Sendi Pinggul dengan Material
SS316L terhadap UHWMPE
Berdasarkan Indeks Massa Tubuh Orang Indonesia**

*Numerical Study of Hip Joint Implant with
SS316L to UHWMPE Materials
Based on Indonesian Body Mass Index*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Tiara Putri Maulana

NPM: 213030047



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Tiara Putri Maulana

Nomor Pokok Mahasiswa : 213030047

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 13 Juni 2025

Penulis,

Materai 10.000

Tiara Putri Maulana

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Tiara Putri Maulana

NPM : 213030047

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Studi Numerik Bantalan Implan Sendi Pinggul dengan

Material *SS316L* terhadap *UHMWPE*

Berdasarkan Indeks Massa Tubuh Orang Indonesia

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 13 Juni 2025

Yang menyatakan,

Tiara Putri Maulana

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Studi Numerik Bantalan Implan Sendi Pinggul dengan Material
SS316L terhadap *UHMPE*
Berdasarkan Indeks Massa Tubuh Orang Indonesia**



**Nama: Tiara Putri Maulana
NPM: 213030047**

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**Studi Numerik Bantalan Implan Sendi Pinggul dengan Material
SS316L terhadap UHWMPE
Berdasarkan Indeks Massa Tubuh Orang Indonesia**



Nama: Tiara Putri Maulana
NPM: 213030047

Tanggal sidang skripsi: 23 Juni 2025

Ketua : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Sekretaris : Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Bambang Ariantara, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan karunia, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih sebesar besarnya kepada:

1. Orang Tua yang selalu memberikan dukungan serta do'a kepada penulis dalam melakukan setiap proses dalam penyusunan laporan ini.
2. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin dan pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penelitian ini.
3. Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan.
4. Hafidz Ar-Rayyan Maulana dan Gibran Maulana Al-Ghifari selaku adik yang sudah memberikan semangat kepada penulis dalam menyusun laporan skripsi ini.
5. Seluruh teman – teman angkatan 2021 terutama Fauzan Akbar dan Restu Fauzan yang telah membantu dan memberikan semangat kepada Penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu Penulis berharap mendapatkan masukan dalam laporan ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik mesin.

Terima Kasih.

Bandung, 13 Juni 2025

Penulis,

Tiara Putri Maulana

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
ABSTRAK	XII
ABSTRACT	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Lingkup masalah.....	2
5. Sistematika penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR	3
1. Kerangka manusia	3
2. Sendi pinggul.....	4
A. Pendefinisian gaya sendi pinggul.....	4
B. Femoral – on – pelvic hip kinematics	5
3. Penempatan implan pada sendi pinggul	10
A. Sumbu gerak sendi pinggul.....	11

B.	Siklus berjalan dalam kondisi normal	12
C.	Pembebanan berdasarkan indeks massa tubuh.....	13
D.	Gait loading.....	15
4.	Material yang digunakan	16
A.	<i>Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)</i>	16
B.	<i>SS316L (Stainless Steel 316L)</i>	16
C.	<i>Ti16Al (Titanium 16% Aluminium)</i>	16
5.	Metode elemen hingga.....	17
BAB III METODOLOGI		18
1.	Alur penelitian	18
A.	Pemodelan geometri.....	18
B.	Pendefinisian material	19
C.	Pembebanan	19
D.	<i>Meshing</i>	19
E.	<i>Running</i>	19
F.	Konvergensi	19
G.	Hasil simulasi komputasi	19
H.	Pengolahan data dan analisis.....	19
2.	Pengujian yang dilakukan.....	20
A.	Pemodelan geometri.....	20
B.	Pembebanan	21
C.	<i>Meshing</i>	23
3.	Alat dan bahan yang digunakan.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
1.	<i>Materials properties</i>	24
2.	Konvergensi.....	25
3.	Hasil simulasi	26

Tabel hasil simulasi	26
4. Grafik Hasil	29
A. Stress antara <i>SS316L</i> dengan <i>UHMWPE</i>	29
B. <i>Contact pressure</i> antara <i>SS316L</i> dengan <i>UHMWPE</i>	30
C. <i>Displacement</i> antara <i>SS316L</i> dengan <i>UHMWPE</i>	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
1. Kesimpulan.....	32
2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka Manusia [7].....	3
Gambar 2. Sendi pinggul [6].....	4
Gambar 3. Rata-rata ROM maksimal fleksi dan ekstensi femur [11].....	5
Gambar 4. Rata-rata ROM maksimal abduksi dan adduksi [11].	6
Gambar 5. rata-rata ROM maksimal rotasi internal dan eksternal [11].	6
Gambar 6. A. Ritme lumbopelvis. B. Ipsidireksional [11].	7
Gambar 7. Rata-rata ROM maksimal anterior and posterior pelvic [11].....	8
Gambar 8. Rata-rata ROM maksimal abduksi dan adduksi panggul [11]	8
Gambar 9. Aksi kooperatif otot-otot adduktor panggul [11]	9
Gambar 10. Rata-rata ROM maksimal rotasi internal dan eksternal [11].....	9
Gambar 11. Arthroplasty sendi pinggul total [12]	10
Gambar 12. Arah gerak pada sendi pinggul manusia [15].....	11
Gambar 13. Simulasi berjalan normal [16].....	12
Gambar 14. Gambar visual gaya yang terjadi pada sendi pinggul [12]	12
Gambar 15. Indeks massa tubuh [16].....	13
Gambar 16. Visualisasi implan dua dimensi [3]	14
Gambar 17. Visualisasi implan tiga dimensi	14
Gambar 18. Gait loading [12]	15
Gambar 19. Pemodelan elemen hingga.....	17
Gambar 20. Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 21. <i>Modelling</i>	20
Gambar 22. <i>Axis symmetry</i>	20
Gambar 23. DBB orang berjalan.....	21
Gambar 24. DBB orang berjalan.....	21
Gambar 25. Struktur implan pada tulang	21
Gambar 26. Penyederhanaan pembebanan	22
Gambar 27. Pembebanan	22
Gambar 28. <i>Meshing</i>	23
Gambar 29. Grafik konvergensi.....	25
Gambar 30. <i>Stress</i> antara SS316L dengan UHMWPE	28
Gambar 31. <i>Stress</i> antara SS316L dengan UHMWPE	29
Gambar 32. <i>Contact pressure</i> SS316L dengan UHMWPE	30

Gambar 33. <i>Displacement SS316L</i> dengan <i>UHMWPE</i>	31
Gambar 34. Pemodelan implan sendi pinggul tiga dimensi.....	37



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan.....	23
Tabel 2. Koefisien gesek untuk material kombinasi [3], [23].....	24
Tabel 3. Data mekanis material [25], [26], [24].....	24
Tabel 4. Hasil perbandingan	26
Tabel 5. Hasil simulasi dua dimensi	27
Tabel 6. Hasil simulasi tiga dimensi	28
Tabel 7. Hasil simulasi tiga dimensi	28



ABSTRAK

Kerusakan pada sendi pinggul merupakan permasalahan yang sering terjadi terutama pada pasien dengan obesitas dan usia lanjut. Implan sendi pinggul merupakan solusi pengganti sendi pinggul alami yang rusak akibat *osteoarthritis*, obesitas, atau usia lanjut. Fungsi asli sendi tetap dipertahankan agar pasien dapat beraktivitas kembali seperti biasa. Implan dibuat dari kombinasi material polimer dan logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa mekanik implan melalui studi simulasi numerik metode elemen hingga berdasarkan beban gaya yang terjadi pada saat siklus orang berjalan yang didasarkan pada indeks massa tubuh orang Indonesia menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Fokus pada kontak material antara *SS316L* sebagai material komponen *femoral head* dan *UHMWPE* sebagai material komponen *acetabular cup*. Beban merupakan parameter utama untuk dianalisis pada kedua kontak komponen implan dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi kontak antara material *SS316L* dan *UHMWPE* menghasilkan nilai maksimum tekanan kontak sebesar 12.96 MPa, tegangan Von Mises 9.91 MPa, dan perpindahan sebesar 0.05 mm. Hal ini terjadi pada fase ke-7 yaitu fase puncak gaya yang terjadi pada saat orang sedang berjalan. Tegangan Von Mises yang terjadi masih dibawah tegangan *yield* material *SS316L* dan *UHMWPE*.

Kata kunci: *Acetabular cup*, *femoral head*, implan sendi pinggul, indeks massa tubuh, *osteoarthritis*, SolidWorks, *SS316L*, *UHMWPE*, Von Mises.

ABSTRACT

Damage to the hip joint is a problem that often occurs, especially in patients with obesity and advanced age. Hip joint implants are a natural replacement solution for hip joints damaged by osteoarthritis, obesity, or old age. The original function of the joints is maintained so that the patient can return to normal activities. Implants are made from a combination of polymer and metal materials. This study aims to evaluate the mechanical performance of implants through numerical simulation studies of element methods up to based on the force load that occurs during the cycle of people walking based on the body mass index of Indonesians using SolidWorks software. Focus on material contact between SS316L as a femoral head component material and UHMWPE as an acetabular cup component material. Load is the main parameter to be analyzed on both contacts of the implant component using SolidWorks software. The results showed that the contact combination between SS316L and UHMWPE materials resulted in a maximum value of contact pressure of 12.96 MPa, Von Mises voltage of 9.91 MPa, and displacement of 0.05 mm. This happens in the 7th phase, which is the peak phase of the force that occurs when people are walking. The Von Mises voltage that occurs is still below the yield voltage of SS316L and UHMWPE materials

Keywords: Acetabular cup, body mass index, femoral head, hip joint, osteoarthritis, SolidWorks, SS316L, UHMWPE, Von Mises.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Sendi pinggul merupakan sendi utama pada manusia yang memiliki peran penting dalam menopang berat badan dan berbagai gerakan tubuh bagian bawah seperti berjalan, berlari, jongkok, berdiri, dan memutar. Selama siklus berjalan normal, beban yang diterima oleh sendi pinggul bisa dua kali lipat dari berat badan. Fungsi biomekanik pada sendi pinggul ini sangat penting dalam menjaga keseimbangan dan efisiensi gerak terutama dalam aktivitas sehari-hari [1].

Menurut WHO, *osteoarthritis* menjadi penyebab utama penurunan kualitas hidup pada lansia, pasien obesitas, dan cedera sendi ini menjadikan permintaan terhadap prosedur *Total Hip Replacement (THR)* meningkat [2]. Prosedur ini menjadi suatu pilihan untuk mengembalikan fungsi sendi dan meningkatkan mobilitas pasien yang mengalami penurunan atau kerusakan sendi pinggul.

Implan pinggul terdiri dari dua komponen utama yaitu *femoral head* yang terbuat dari logam seperti CoCrMo, SS316L, dan Ti6Al4V dan *acetabular cup* yang terbuat dari UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*). Untuk *acetabular cup* biasanya menggunakan UHMWPE namun, terdapat kekhawatiran respon negatif secara biologis pengguna implan karena partikel polietilen dapat menyebabkan *osteolisis* [3]. Dari kombinasi material inilah dirancang sebuah sendi untuk meniru gerakan sendi pinggul dan menahan beban tinggi yang berulang [4].

Salah satu permasalahan utama dalam implan ini berkaitan dengan interaksi mekanis antara permukaan logam dan metal polimer yang mencakup tegangan, tekanan kontak, deformasi, serta degradasi permukaan. UHMWPE dikenal memiliki karakteristik tribologis yang unggul, material ini tetap menunjukkan kerentanan terhadap mekanisme keausan pada kondisi tegangan atau gesekan berlebih. Proses keausan tersebut tidak hanya berdampak pada penurunan durabilitas implan, tetapi dapat berpotensi memicu reaksi inflamasi akibat pelepasan partikel ke jaringan sekitar.

Pemantauan status gizi seseorang berkaitan dengan masa berat badan dapat diukur secara sederhana dengan menggunakan Indeks Massa Tubuh (IMT). *World Health Organization* (WHO) memberikan rekomendasi terhadap beberapa penyakit tidak menular dengan memperhatikan berat badan yang mencakup *underweight* dan gradasi *overweight*. Rentang sedang dan berat pada sebagian IMT akan meningkat pada kelebihan berat badan

(obesitas), sehingga menyebabkan resiko komplikasi dan penurunan fungsi tulang di masa yang akan datang [5].

Studi metode elemen hingga meningkatkan berbagai aspek dari implan tulang pinggul sehingga dapat meminimalisir konsumsi waktu dan pengeluaran biaya pengujian eksperimental.

2. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan pemodelan tiga dimensi dengan menggunakan SolidWorks untuk menemukan tekanan kontak antara kedua permukaan komponen *femoral head* dan *acetabular cup*.

3. Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan membuat pemodelan tiga dimensi material *SS316L* dengan *UHMWPE* untuk mendapatkan tekanan kontak.

4. Lingkup masalah

Ruang lingkup dari penelitian ini difokuskan pada data sekunder *gait loading* untuk digunakan dalam simulasi permukaan kontak antara *femoral head* dan *acetabular cup* diasumsikan permukaannya halus tanpa mempertimbangkan kekasaran permukaan akibat proses manufaktur.

5. Sistematika penulisan

Dalam pelaporan tugas akhir ini, sistematika penulisan disusun yang didalamnya terdapat lima bab. Bab I adalah pendahuluan, membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, dan lingkup masalah. Bab II memaparkan studi literatur, yang digunakan sebagai referensi yang dijadikan dasar pelaksanaan penelitian ini. Bab III metode penelitian, menguraikan tahapan penelitian yang dimulai dari membuat model, pengambilan data, pengolahan data, serta penyajian data. Bab IV, hasil dan pembahasan memaparkan hasil simulasi dan melakukan analisis tekanan kontak untuk dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Bab V kesimpulan dan saran, bab terakhir yang mendefinisikan hasil dari penelitian serta saran untuk penelitian berikutnya. Daftar pustaka, daftar pustaka ini merupakan sebuah rujukan yang didalamnya berisi sumber-sumber dari penelitian sebelumnya yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas didapatkan data perilaku mekanis yang dapat disimpulkan bahwa pada hasil simulasi dengan menggunakan 65.511 elemen dengan ukuran 1.40 mm dan jenis elemen solid pada fase puncak yaitu fase ke-7 didapat:

- a. Tegangan sebesar 9.91 MPa, *displacement* 0.05 mm, dan *contact pressure* 12.96 MPa.
- b. Dari sifat mekanis *SS316L* memiliki *yield strength* sebesar 170 MPa, hal ini menunjukkan bahwa material *SS316L* ini memiliki kinerja mekanik yang memadai terhadap beban serta memiliki potensi ketahanan yang baik.
- c. Material *UHMWPE* memiliki *yield strength* sebesar 23 MPa, *UHMWPE* menunjukkan keterbatasan dalam menahan tegangan tinggi secara berkelanjutan terutama pada fase beban maksimum. Sehingga berpotensi mempercepat keausan permukaan dan menunjukkan umur pakai implan.

2. Saran

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang optimal maka diperlukannya pengujian secara eksperimental mekanika kontak antara *acetabular cup* dengan material *UHMWPE* dan *femoral head* dengan material *SS316L*. Untuk memperbaiki hasil dalam pengujian *in vitro* ini perlu dilakukan analisis kekerasan dan pelumasan permukaan kontak. Untuk meyakinkan penelitian ini kedepannya perlu dilakukan pengujian *in vivo*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Bergmann, F. Graichen, and A. Rohlmann, "Hip joint loading during walking and running, measured in two patients.," *J. Biomech.*, vol. 26, no. 8, pp. 969–990, Aug. 1993, doi: 10.1016/0021-9290(93)90058-m.
- [2] T. P. Soemardi, A. Suwandi, and A. S. Ibrahim, "Analisis Karakteristik Material UHMPWE dan PEEK untuk Implan Sendi Pinggul," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 2, p. 303, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.303-310.
- [3] J. Jamari *et al.*, "Computational Contact Pressure Prediction of CoCrMo, SS 316L and Ti6Al4V Femoral Head against UHMWPE Acetabular Cup under Gait Cycle," *J. Funct. Biomater.*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.3390/jfb13020064.
- [4] H. Malchau, P. Herberts, T. Eisler, "The Swedish Total Hip Replacement Register.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 84-A Suppl, pp. 2–20, 2002, doi: 10.2106/00004623-200200002-00002.
- [5] O. Acces, "Pengaruh asupan kalsium terhadap Indeks Massa Tubuh (IMT)," vol. 02, no. 04, pp. 1094–1097, 2021.
- [6] M. K. Maryana.Ns, S.SiT., Psi., S.Kep. and M. K. Winarsih Wiwin, S.ST., *Anatomi fisiologi manusia*, vol. 11, no. 1. 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/305320484>
- [7] K. Ramadhani and R. Widyaningrum, *Buku Ajar Dasar-Dasar Anatomi Dan Fisiologi Tubuh Manusia*. 2022. [Online]. Available: https://www.google.co.id/books/edition/Dasar_dasar_Anatomi_dan_Fisiologi_Tu_buh
- [8] Tarisya Salsabila Putri Asmara, M. Ahmad Djojosugito, and Sandy Faizal, "Hubungan Antara Indeks Masa Tubuh Dengan Range Of Motion Sendi Panggul Dan Lutut Pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Islam Bandung Angkatan 2019," *J. Ris. Kedokt.*, pp. 19–24, 2023, doi: 10.29313/jrk.vi.1876.
- [9] M. Naufal and T. Indah Winarni, "Analisis von mises stress hip hoint pada individu usia lanjut menggunakan metode elemen hingga," *J. Tek. Mesin S-I*, vol. 11, no. 1, pp. 156–159, 2023.
- [10] R. A. N. Al Hakim and S. Sakuri, "Analisis Artificial Hip Joint Saat Melakukan Gerakan Salat Menggunakan FEM," *Perwira J. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 43–50,

2023, doi: 10.54199/pjse.v3i1.185.

- [11] M. L. Olmstead, "Total Hip Replacement," *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, vol. 17, no. 4, pp. 943–955, 1987, doi: [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(87\)50086-9](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(87)50086-9).
- [12] Harlan C Amstutz and Michel J Le Duff, "Hip Resurfacing: History, Current Status, and Future," *HIP Int.*, vol. 25, no. 4, pp. 330–338, Jul. 2015, doi: 10.5301/hipint.5000268.
- [13] J. Jamari, M. Imam, G. Santoso, and S. Sugiharto, "Heliyon Adopted walking condition for computational simulation approach on bearing of hip joint prosthesis : review over the past 30 years," *Heliyon*, vol. 8, no. November, p. e12050, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12050.
- [14] M. Zawadzka, J. Kozłowska, E. Ejchman-Pac, "Analysis of functional efficiency and risk of falls in patients with different types of dementia – preliminary observations," *Ann. Agric. Environ. Med.*, vol. 31, no. 1, pp. 114–118, 2024, doi: 10.26444/aaem/168787.
- [15] M. Adouni, F. Alkhatib, R. Hajji, and T. R. Faisal, "Effects of overweight and obesity on lower limb walking characteristics from joint kinematics to muscle activations," *Gait Posture*, vol. 113, pp. 337–344, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.06.024>.
- [16] Y. Sui *et al.*, "Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)/high-density polyethylene (HDPE) blends with outstanding mechanical properties, wear resistance, and processability," *J. Polym. Res.*, vol. 30, no. 6, p. 222, 2023, doi: 10.1007/s10965-023-03592-y.
- [17] V. Sharma, S. Chowdhury, N. Keshavan, and B. Basu, "Six decades of UHMWPE in reconstructive surgery," *Int. Mater. Rev.*, vol. 68, no. 1, pp. 46–81, Jan. 2023, doi: 10.1080/09506608.2022.2047419.
- [18] A. S. Bahri, "Pengaruh Durasi Dan Diameter Steel Ball Pada Proses Shot Peening Terhadap Sifat Fisis, Mekanis Dan Pengaruh Media Korosif," 2016, [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/106732>
- [19] R. D. Ferdiansyah, M. Yunus, A. Abdullah, "Analisis Gerak Pendaratan Kaki Terkait Risiko Berlari Overstriding Pada Pelari Remaja Malang 2 Training Club," *Sport Sci. Heal.*, vol. 5, no. 1, pp. 7–16, 2023, doi: 10.17977/um062v5i12023p7-16.

- [20] Q. Sarah, "Analisis Variasi Waktu Aging Terhadap Kekuatan Tarik, Ketahanan Korosi, dan Struktur Mikro Paduan Titanium Ti-6Al-7Nb untuk Implant Hip Joint," *Fak. Sains dan Teknologi*, vol. Skripsi, p. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, 2019.
- [21] M. I. Ammarullah, G. Santoso, S. Sugiharto, T. Supriyono, and O. Kurdi, "Tresca stress study of CoCrMo-on-CoCrMo bearings based on body mass index using 2D computational model," vol. 33, no. February, pp. 31–38, 2022.
- [22] M. Imam, H. Basri, and I. Haryanto, "Optimasi Numerik Permukaan Bertekstur pada Total Hip Arthroplasty untuk Mengurangi Tekanan Kontak dengan Variabel Profil dan Kedalaman," vol. 23, no. 1, pp. 50–54, 2021.
- [23] S. Shankar and R. Nithyaprakash, "Predicting The Wear of Soft-on-Hard Bearing Couples for Human Hip Prosthesis Using Finite Element Concepts," *J. Mech. Med. Biol.*, vol. 16, no. 03, p. 1650020, May 2015, doi: 10.1142/S0219519416500202.
- [24] Maher, "Titanium 6AL-4V Data Sheet Rev 01," pp. 6–8, 2020. [Online]. Available: <https://www.titanium.com>.