

ANALISIS DISTRIBUSI TEKANAN PADA KULIT PASIEN TERBARING PADA KASUR UDARA DENGAN PENAMBAHAN LAPISAN LAYER UNTUK PENCEGAHAN ULKUS DEKUBITUS MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

*Rasyaldi Arlenza Landarto¹, Jamari², Tri Indah Winarni³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dosen Jurusan Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: rasyaldia@gmail.com

Abstrak

Pressure ulcers adalah kerusakan lokal pada kulit dan jaringan di bawahnya yang sering terjadi akibat tekanan berkepanjangan pada area tubuh yang menonjol, seperti sakrum. Untuk mencegah terjadinya kondisi ini, berbagai upaya telah dilakukan, salah satunya adalah dengan merancang matras anti decubitus. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa matras jenis ini berperan penting dalam mengurangi risiko terjadinya pressure ulcers, karena dapat membantu mendistribusikan tekanan secara merata pada tubuh, sehingga mengurangi titik-titik tekanan yang bisa menyebabkan kerusakan jaringan. Penelitian yang sedang dilakukan bertujuan untuk mengembangkan lebih lanjut desain matras tersebut dengan menambahkan tiga lapisan pada matras anti decubitus. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan efektivitas matras yang dilengkapi dengan tiga lapisan tambahan dengan matras yang tidak menggunakan lapisan tambahan secara objektif, kuantitatif, terstandarisasi, metodologis, dan sistematis. Data anatomi pasien yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui hasil CT-Scan, yang kemudian digunakan untuk merekonstruksi struktur tubuh pasien, termasuk kulit, lemak, otot, dan tulang. Simulasi dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak Mimics Research 21, SolidWorks 2022, dan Ansys Workbench 2020 untuk menganalisis tegangan von Mises yang terjadi pada tubuh pasien, matras, dan ketiga lapisan tambahan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan maksimum yang terjadi pada model kasur angin tanpa tambahan tiga lapisan lebih rendah dibandingkan dengan model yang menggunakan lapisan tambahan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi kasur angin tanpa lapisan tambahan lebih efektif dalam mendistribusikan tekanan secara merata dan mengurangi potensi terjadinya luka tekan.

Kata kunci : 3 lapisan; distribusi tekanan; luka tekan; matras

Abstract

Pressure ulcers are localized injuries to the skin and underlying tissue that occur due to prolonged pressure, especially in areas with bony prominences such as the sacrum. One common preventive approach is the use of anti-decubitus mattresses, which have been proven effective in reducing pressure points that can lead to tissue damage. This study aims to further develop the design of the anti-decubitus mattress by adding three additional layers and to compare its effectiveness objectively, quantitatively, systematically, and methodologically with a standard mattress that does not include these layers. Anatomical data of patients were collected through CT scan results and used to reconstruct detailed body structures including the skin, fat, muscles, and bones. Finite element simulations were conducted using software tools such as Mimics Research 21, SolidWorks 2022, and Ansys Workbench 2020 to analyze von Mises stress distribution on the patient's body, the mattress, and the three additional layers. The simulation results revealed that the maximum pressure exerted on the body was lower in the air mattress model without the three extra layers, indicating that the simpler configuration is more effective in distributing pressure evenly. Therefore, it can be concluded that the mattress without additional layers provides better pressure relief and is more optimal in reducing the risk of pressure ulcers.

Keywords : 3 layers; mattress; pressure distribution; pressure ulcers

1. Pendahuluan

Pressure ulcers (PU), juga dikenal sebagai ulkus dekubitus, adalah kerusakan lokal pada kulit dan jaringan yang terjadi ketika bagian tulang yang menonjol, seperti sakrum, mengalami tekanan yang berkepanjangan dan dapat

mengakibatkan cedera jaringan lunak.[1] *Pressure Ulcers* memiliki resiko yang meningkat pada pasien yang berumur lebih tua, penderita cedera tulang belakang, maupun pasien yang tidak dapat bergerak.[2] Penyakit ini dapat memberikan dampak buruk pada pasien dan sistem perawatan kesehatan, karena dapat meningkatkan risiko infeksi yang terjadi di rumah sakit, menimbulkan rasa sakit dan kecacatan, memperpanjang masa perawatan di rumah sakit, sehingga berpotensi menimbulkan penyakit dan kematian serta biaya finansial yang besar bagi fasilitas kesehatan.[3]

Salah satu cara untuk mencegah terjadinya *pressure ulcers* adalah dengan menggunakan matras *anti decubitus*. Desain dari matras *anti decubitus* dilengkapi dengan lubang-lubang yang bertujuan untuk mengurangi tekanan pada tubuh dan mencegah terjadinya lecet atau luka.[4] Permukaan ini biasanya terbuat dari bahan yang lembut, elastis, dan dilapisi dengan bahan antibakteri, sehingga dapat membantu mencegah pertumbuhan bakteri.[5] Matras yang menggunakan material yang halus memiliki konsentrasi tekanan yang lebih rendah daripada material yang keras.[6]

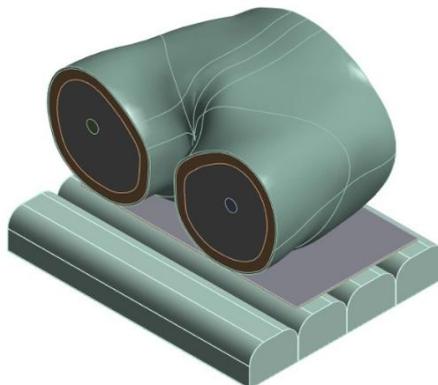
Pressure ulcers dipicu dan didorong oleh deformasi mekanis yang berkelanjutan dan distorsi jaringan lunak.[7] Berbagai parameter mekanis, termasuk gesekan, tegangan geser, tekanan, dan iklim mikro, dianggap sebagai pemicu potensial terjadinya ulkus dekubitus, dengan tekanan sebagai faktor utamanya. Tekanan atau beban mekanis yang berkepanjangan pada kulit dan jaringan kulit dapat menghasilkan ketegangan berlebihan pada jaringan, sehingga menyebabkan terbentuknya *pressure ulcers*. [8] Terdapat dua faktor utama yang perlu dipertimbangkan, yakni "*immersion*" dan "*envelopment*". [9] Konsep "*immersion*" merujuk pada kedalaman penetrasi tubuh pasien pada permukaan pendukung tertentu, sedangkan "*envelopment*" mengacu pada kemampuan permukaan pendukung tersebut untuk menyesuaikan diri dengan bentuk tubuh pasien. [10]

Beberapa penelitian terdahulu telah memperdalam dan mengembangkan teknologi matras *anti decubitus*. Seperti Levy et al. melakukan studi tentang penggunaan perban prophylactic untuk melindungi kulit dari *pressure ulcers* dengan menggunakan matras standar yang umum digunakan di rumah sakit. [11] Namun, penelitian ini terbatas pada evaluasi pada model matras standar saja. Kemudian, Gefen et al. melakukan penelitian yang melibatkan penambahan lapisan pada matras standar dengan menggunakan simulasi FEM, dengan tujuan memberikan perlindungan tambahan terhadap kulit. [7] Namun demikian, penelitian Gefen et al. juga terbatas pada pengujian pada model matras standar tanpa mempertimbangkan variasi model matras lainnya. Selanjutnya, Lustig dan Gefen melakukan analisis distribusi tekanan pada matras *anti decubitus* dengan membandingkan model matras standar dengan *Minimum Tissue Deformation Mattress* (MTDM). Penelitian Levy et al. dan Gefen et al. menegaskan bahwa penggunaan lapisan *prophylactic* pada matras mengurangi tekanan pada tubuh manusia. Sementara itu, penelitian Lustig dan Gefen menemukan bahwa model matras MTDM mampu mendistribusikan tekanan ke segala arah, sehingga tekanan tidak terpusat pada satu titik saja.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Untuk melakukan pemodelan manusia maka dibutuhkan data CT-scan pasien. Data tersebut diperoleh dari hasil CT-scan pasien di Rumah Sakit Islam Sultan Agung. Pasien merupakan seorang wanita sehat berusia 28 tahun, yang telah di-segmentasi menjadi struktur tulang dengan dimensi 284 mm x 376 mm x 122 mm (Panjang x Lebar x Tinggi). Lalu ada otot rangka, jaringan lemak, dan kulit dengan dimensi 322 mm x 228 mm (Panjang x Tinggi) dengan ketebalan jaringan kulit dan lemak masing-masing sebesar 3 mm dan 18 mm.

Ukuran kasur yang dimodelkan disesuaikan dengan ukuran bagian tubuh pasien yang dianalisis. Untuk kasur udara, ukurannya adalah 500 mm x 70 mm x 100 mm dengan jarak antar bagian sebesar 1 mm. Setiap sel udara terdiri dari dua bagian: inti busa berukuran 500 mm x 60 mm x 75 mm dan selubung tiup berbahan poly-vinyl-chloride (PVC) yang dimodelkan sebagai "shell" dengan ketebalan dinding 0,5 mm. Inti busa dan selubung PVC memiliki ukuran yang sama. Selain itu, terdapat tiga lapisan tambahan yang juga memiliki ukuran seragam, yaitu 245 mm x 201 mm (Panjang x Lebar). Ketebalan masing-masing lapisan adalah: kain nonwoven 0,02 mm, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Geometri Kasur dengan penambahan lapisan layer

Beberapa properti mekanik yang dibutuhkan untuk pemodelan tubuh dalam simulasi ini diambil dari penelitian sebelumnya, khususnya dari studi oleh Lustig & Gefen (2022) yang datanya disajikan pada Tabel 1. Selain material tubuh,

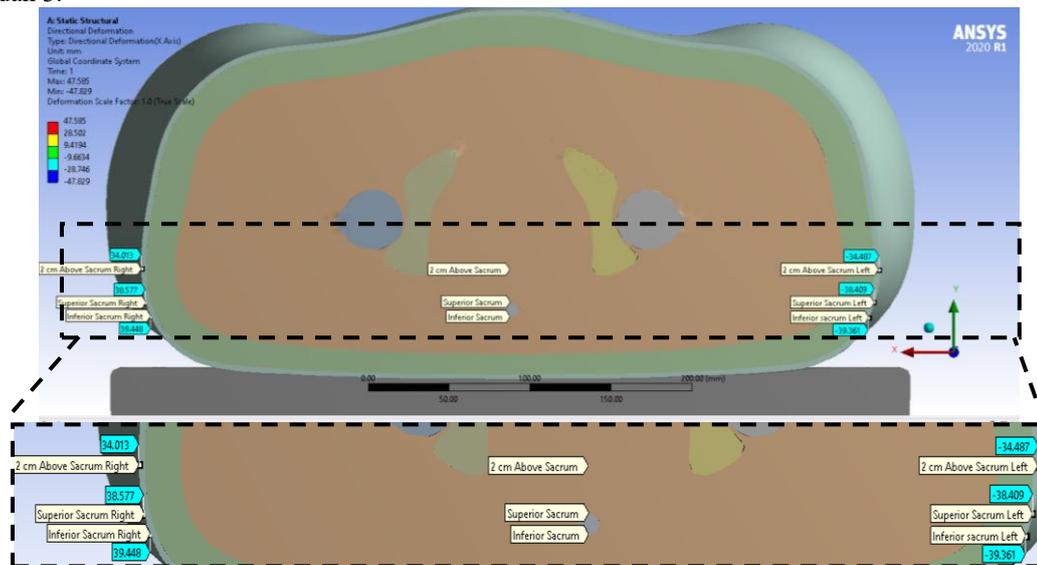
material yang digunakan pada matras juga perlu diinput, yaitu material standar seperti nonwoven, sebagaimana dijelaskan dalam studi sebelumnya. Selain itu, simulasi juga melibatkan material hybrid support dari penelitian Katz & Gefen (2023), jenis lapisan terdiri dari lapisan utama, yaitu nonwoven, berdasarkan referensi dari penelitian Schwartz & Gefen (2019).

Tabel 1 *Mechanical Properties* dari tubuh pasien, tiga lapisan, serta matras

Material	Modulus geser (kPa)	Modulus bulk (kPa)	Modulus elastisitas (kPa)	Rasio Poisson (°)
kulit	8	666,67	-	0,494
Lemak	0,8	66,67	-	0,494
Otot	0,45	37,5	-	0,494
Tulang	-	-	7 x 10 ⁶	0,3
PVC	3180	-	-	0,3
Kain nonwoven (lapisan)	-	-	5760	0,258

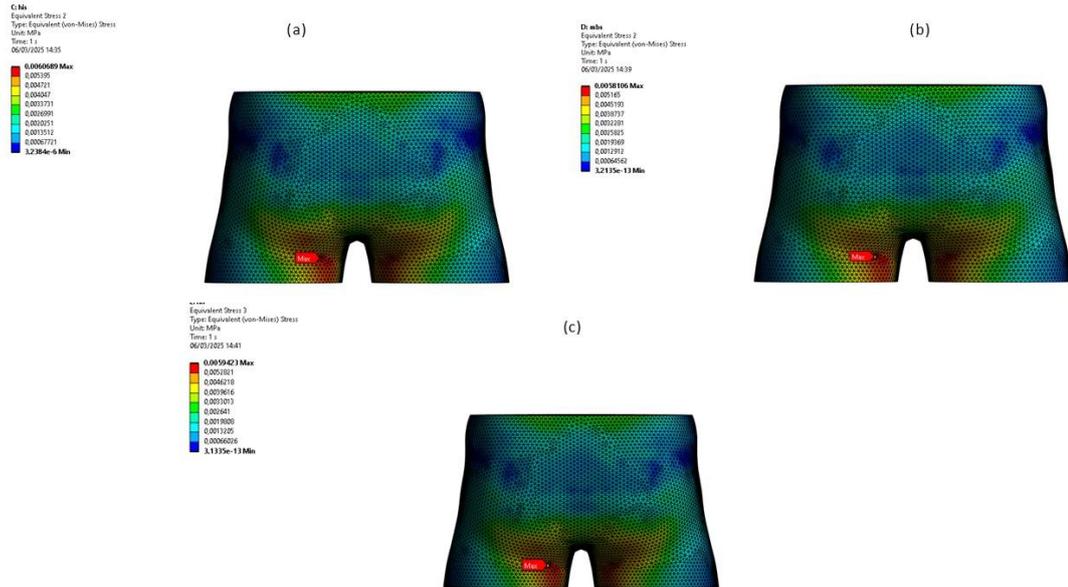
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, hasil simulasi divalidasi dengan menentukan distribusi lateral jaringan lunak di RFM pada tiga tingkat yang sesuai. Penampang melintangnya sebagai berikut: (a) 2 cm di atas ujung sakrum; (b) di ujung atas sakrum; (c) setinggi di bawah sakrum yang dapat dilihat pada gambar 3. Nilai-nilai ini berada dalam kisaran distribusi jaringan lateral yang dilaporkan oleh Soppi et al., memberikan validasi untuk kerangka pemodelan saat ini. [12] Dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



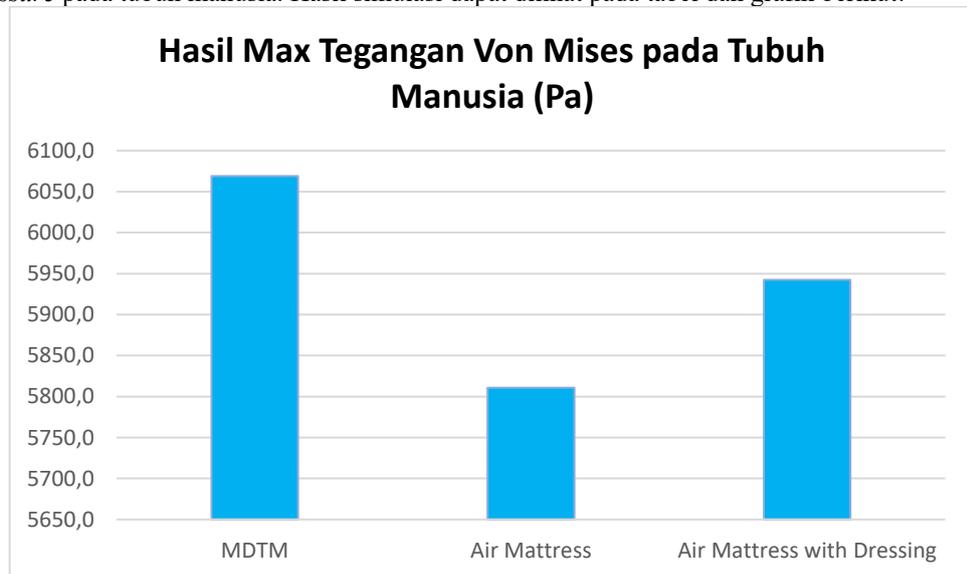
Gambar 2 Besar deformasi ke kiri dan ke kanan di RFM, Terdapat peningkatan sebesar 9.9% pada bagian 2 cm di atas ujung sakrum, 10,4% pada bagian di ujung atas sakrum, dan 11,18% pada bagian inferior sacrum dalam penyebaran jaringan lunak ke samping pada RFM

Penelitian ini mensimulasikan pembebanan pada area pantat wanita dalam posisi tidur menggunakan tiga jenis matras berbeda, masing-masing dengan tambahan tiga lapisan. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan penyebaran jaringan lunak ke samping sebesar 7.16%, 9.9%, dan 11,18% dalam penyebaran jaringan lunak ke samping pada RFM dibandingkan dengan nilai MTDM, dengan presentase peningkatan yang sudah di dapat serta angka yang didapat sudah 40 memenuhi persyaratan range dari penelitian yang dilakukan oleh Soppi et al. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses simulasi elemen hingga pada penelitian ini sudah valid. Oleh karena itu, simulasi elemen hingga dinyatakan valid. Nilai von Mises dan tekanan maksimum pada tubuh pasien bervariasi untuk tiap model matras, seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Hasil tekanan von Mises pada tubuh manusia adalah sebagai berikut: (a) Kasur MDTM dengan tekanan maksimum 6068,9 Pa (b) Kasur Udara dengan tekanan maksimum 5942,3 Pa (c) Kasur Udara dengan balutan dengan tekanan maksimum 5810,6 Pa

Pada penelitian ini, set-up simulasi yang dilakukan adalah pembebanan pada bagian tubuh seorang wanita dengan posisi terlentang di MDTM, *air mattres* dan dengan penambahan 3 jenis lapisan. Dan didapati hasil dari simulasi tersebut memiliki nilai von Mises yang berbeda-beda. Dari proses simulasi ini, terdapat 2 data yang akan diambil yaitu nilai *maximum pressure* pada tubuh manusia. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.



Gambar 4 Hasil Tegangan Maximal Von Mises Pada Tubuh Manusia

Dalam penelitian ini, dilakukan pemodelan tiga variasi geometri yang berbeda, menggunakan tiga jenis material yang berbeda, yaitu *MDTM*, Kasur angin, dan *Air Mattres with Lapisan*. Tujuan dari penambahan tiga lapisan ini adalah untuk mengisolasi kemampuan envelopment dari matras ketika menerima immersion dari tubuh manusia, sehingga dapat dianalisis pengaruhnya terhadap distribusi tekanan (*pressure distribution*) saat tubuh dimodelkan dalam posisi berbaring di atas matras. Berikut ini disajikan grafik yang menunjukkan pengaruh pemberian tiga lapisan tambahan terhadap penurunan tekanan pada tubuh manusia, khususnya dalam aspek *maximum pressure*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *maximum pressure* pada tubuh pasien terjadi pada jaringan kulit.

Tabel 2 Pressure dari sisi maximum

Jenis Lapisan	<i>Maximum Pressure</i> dengan tambahan 3 lapisan
<i>MDTM</i>	6068,9
Kasur angin	5942,3
Kasur angin dengan lapisan	5810,6

Berdasarkan data yang ditampilkan pada tabel di atas, hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan tiga lapisan lapisan layer pada model kasur angin memberikan dampak yang signifikan dalam menurunkan tekanan maksimum pada jaringan tubuh. Tekanan maksimum yang awalnya tercatat sebesar 5942,3 Pa pada kasur angin tanpa lapisan tambahan, menurun menjadi 5810,6 Pa setelah penambahan lapisan layer. Penurunan ini mengindikasikan bahwa lapisan tambahan mampu mendistribusikan tekanan secara lebih merata, sehingga efektif dalam mengurangi risiko deformasi jaringan dan berpotensi mencegah terbentuknya luka tekan.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi elemen hingga pembebanan pada tubuh manusia pada posisi berbaring telentang di matras.

1. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut: Berdasarkan hasil simulasi tegangan von mises, didapatkan nilai *maximum pressure* yang terjadi pada tubuh manusia saat berbaring. Sebesar 6068,9 saat menggunakan matras *MDTM*, sebesar 5942,3 Pa saat menggunakan Kasur angin, dan sebesar 5810,6 Pa saat menggunakan Kasur angin With Lapisan.
2. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan tiga lapisan lapisan layer pada kasur angin memberikan pengaruh positif terhadap distribusi tekanan pada tubuh. Nilai tekanan yang lebih rendah pada jaringan menunjukkan bahwa lapisan tambahan tersebut mampu mengurangi beban terpusat yang berpotensi menyebabkan deformasi jaringan. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan lapisan layer efektif dalam membantu mengurangi risiko terjadinya luka tekan. Efektivitas ini kemungkinan disebabkan oleh kemampuan lapisan layer dalam mengikuti kontur tubuh dan menyebarkan tekanan secara lebih merata. Oleh karena itu, penerapan lapisan layer pada kasur angin dapat menjadi salah satu solusi preventif yang mendukung kenyamanan dan keselamatan pasien, khususnya bagi mereka yang memiliki risiko tinggi terhadap luka tekan.

5. Daftar Pustaka

- [1] O. N. Shrateh, A. W. M. Jobran, R. Adwan, Z. Al-Maslmani, and A. Tarifi, "Successful management of extensive stage four sacral pressure ulcer in a paraplegic patient: A case report," *Int. J. Surg. Case Rep.*, vol. 105, no. March, p. 107990, 2023, doi: 10.1016/j.ijscr.2023.107990.
- [2] N. Fougeron *et al.*, "New pressure ulcers lapins to alleviate human soft tissues: A finite element study," *J. Tissue Viability*, vol. 31, no. 3, pp. 506–513, 2022, doi: 10.1016/j.jtv.2022.05.007.
- [3] Z. Li, F. Lin, L. Thalib, and W. Chaboyer, "Global prevalence and incidence of pressure injuries in hospitalised adult patients: A systematic review and meta-analysis," *Int. J. Nurs. Stud.*, vol. 105, p. 103546, 2020, doi: 10.1016/j.ijnurstu.2020.103546.
- [4] A. Gefen, D. M. Brienza, J. Cuddigan, E. Haesler, and J. Kottner, "Our contemporary understanding of the aetiology of pressure ulcers/pressure injuries," *Int. Wound J.*, vol. 19, no. 3, pp. 692–704, 2022, doi: 10.1111/iwj.13667.
- [5] T. Katz and A. Gefen, "The biomechanical efficacy of a hybrid support surface in protecting supine patients from sacral pressure ulcers," *Int. Wound J.*, vol. 20, no. 8, pp. 3148–3156, 2023, doi: 10.1111/iwj.14192.
- [6] L. Rayward, M. Percy, G. Kerr, P. Pivonka, and J. P. Little, "Engineering the perfect mattress: The influence of substrate mechanics on deep tissue stresses in supine," *Clin. Biomech.*, vol. 110, no. October, p. 106130, 2023, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2023.106130.
- [7] A. Gefen, M. Krämer, M. Brehm, and S. Burckardt, "The biomechanical efficacy of a lapisan with a soft cellulose fluff core in prophylactic use," *Int. Wound J.*, vol. 17, no. 6, pp. 1968–1985, 2020, doi: 10.1111/iwj.13489.
- [8] P. Su, Q. Lun, D. Lu, Q. Wu, T. Liu, and L. Zhang, "Biomechanical Changes on the Typical Sites of Pressure Ulcers in the Process of Turning Over from Supine Position: Theoretical Analysis, Simulation, and Experiment," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 50, no. 6, pp. 654–665, 2022, doi: 10.1007/s10439-022-02938-9.
- [9] E. Call *et al.*, "Results of Laboratory Testing for Immersion, Envelopment, and Horizontal Stiffness on Turn and Position Devices to Manage Pressure Injury," *Adv. Skin Wound Care*, vol. 33, no. 10S, 2020.
- [10] M. Lustig and A. Gefen, "Computational studies of the biomechanical efficacy of a minimum tissue

-
- deformation mattress in protecting from sacral pressure ulcers in a supine position,” *Int. Wound J.*, vol. 19, no. 5, pp. 1111–1120, 2022, doi: 10.1111/iwj.13707.
- [11] A. Levy, D. Schwartz, and A. Gefen, “The contribution of a directional preference of stiffness to the efficacy of prophylactic sacral lapisans in protecting healthy and diabetic tissues from pressure injury: computational modelling studies,” *Int. Wound J.*, vol. 14, no. 6, pp. 1370–1377, 2017, doi: 10.1111/iwj.12821.
- [12] E. Soppi, J. Knuuti, and K. Kalliokoski, “Positron emission tomography study of effects of two pressure-relieving support surfaces on pressure ulcer development,” *J. Wound Care*, vol. 30, no. 1, pp. 54–62, 2021.
- [13] A. Samuel *et al.*, “Online : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm> This study analyze the distribution pressure stress on the human body in a lying position on four different types of mattresses , with a focus on the potential reduction of pressure ulcer risks . *Patien*,” vol. 11, no. 3, pp. 1–6, 2023.