

ANALISIS PENGARUH *GAP* GEOMETRI BALOK PADA DESAIN *SURFACE* KASUR *FOAM ANTI-DECUBITUS* TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN VON MISES MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Habibi Abdullah Hasim¹, 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. Jacob Rais, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275,

Telp. +628187555691

E-mail: Habibiabdullah@students.undip.ac.id

Abstrak

Luka tekan (*pressure ulcer*) merupakan cedera pada kulit dan jaringan di bawahnya akibat tekanan yang berlangsung terus-menerus, baik secara tunggal maupun bersamaan dengan gesekan. Tekanan yang berlebihan pada area tertentu menimbulkan konsentrasi tegangan jaringan karena adanya kontak langsung antara tulang dan jaringan lunak. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi geometri balok pada permukaan kasur *foam anti-decubitus* terhadap distribusi tegangan von Mises. Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi pola tekanan tertinggi yang dialami tubuh, menentukan batas waktu pemakaian kasur, serta menilai desain *surface* yang paling efektif dalam menurunkan risiko luka tekan. Data penelitian diperoleh melalui CT-scan pasien untuk merekonstruksi tulang, otot, lemak, dan kulit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan *gap* antar-balok berpengaruh terhadap distribusi tekanan pada tubuh. Data penelitian diperoleh dari hasil CT-scan pasien yang direkonstruksi menjadi model tulang, otot, lemak, dan kulit. Desain kasur dimodelkan dengan SolidWorks 2023, sedangkan simulasi Finite Element Analysis (FEA) dilakukan menggunakan ANSYS 2023. Hasil menunjukkan bahwa variasi jarak antar balok berpengaruh terhadap distribusi tekanan. Konfigurasi jarak balok yang optimal menghasilkan tekanan rata-rata 412 Pa dan tekanan maksimum 6450 Pa, dengan penurunan 22,7% pada tekanan maksimum dan 27,83% pada tekanan rata-rata, serta waktu pemakaian aman hingga 5 jam 57 menit. Nilai ini lebih baik dibandingkan kasur standar RFM. Hal ini menandakan bahwa jarak balok yang optimal mampu menurunkan konsentrasi tegangan pada area sakrum sekaligus mendistribusikan beban tubuh lebih merata. Dengan demikian, desain *surface* berbasis balok dengan konfigurasi jarak yang tepat terbukti lebih efektif dalam mengurangi risiko luka tekan pada pasien yang berbaring dalam waktu lama.

Kata Kunci: balok; jarak; metode elemen hingga; *pressure ulcers*

Abstract

Pressure ulcers are injuries to the skin and underlying tissue caused by continuous pressure, often combined with frictional forces. Excessive pressure on certain body areas leads to concentrated stress due to direct contact between bone and soft tissue. This study analyzes the effect of block geometry variations on the surface of foam-based anti-decubitus mattresses on von Mises stress distribution. CT-scan data were used to reconstruct bone, muscle, fat, and skin, while the mattress was modeled in SolidWorks 2023 and simulated using Finite Element Analysis (FEA) in ANSYS 2023. The results show that block spacing significantly influences pressure distribution, with the optimal configuration producing an average pressure of 412 Pa and a maximum pressure of 6450 Pa, corresponding to reductions of 22.7% and 27.83% respectively, and extending safe usage up to 5 hours and 57 minutes. Compared to the Regular Foam Mattress (RFM), the optimized design reduced stress concentration in the sacral region and provided a more even load distribution, indicating that block-based surface designs with proper spacing are more effective in lowering the risk of pressure ulcers for patients required to lie down for long periods

Keywords: block; gap; finite element method; *pressure ulcers*

1. Pendahuluan

Pressure ulcers atau luka tekan merupakan cedera kulit dan jaringan lunak akibat tekanan berkepanjangan, yang paling sering muncul pada area sakrum dan pinggul, terutama pada pasien imobil [1]. Beberapa parameter mekanis seperti tegangan geser, gesekan, tekanan, dan iklim mikro dapat menjadi penyebab terbentuknya ulkus dekubitus, dengan tekanan sebagai faktor utama. Tekanan yang terus-menerus pada kulit dan jaringan di bawahnya menimbulkan ketegangan

berlebih sehingga memicu terjadinya ulkus dekubitus [2]. Luka tekan merupakan masalah kesehatan serius, terutama pada lansia dan penyandang disabilitas, serta menimbulkan beban biaya besar bagi sistem kesehatan [3]. Luka tekan dapat menyebabkan morbiditas dan mortalitas yang signifikan, terutama pada populasi rentan seperti lansia dan pasien dengan komorbiditas berat [4] Luka tekan dapat bervariasi dari kemerahan ringan pada kulit hingga kerusakan jaringan dalam yang parah, melibatkan otot dan tulang [5]

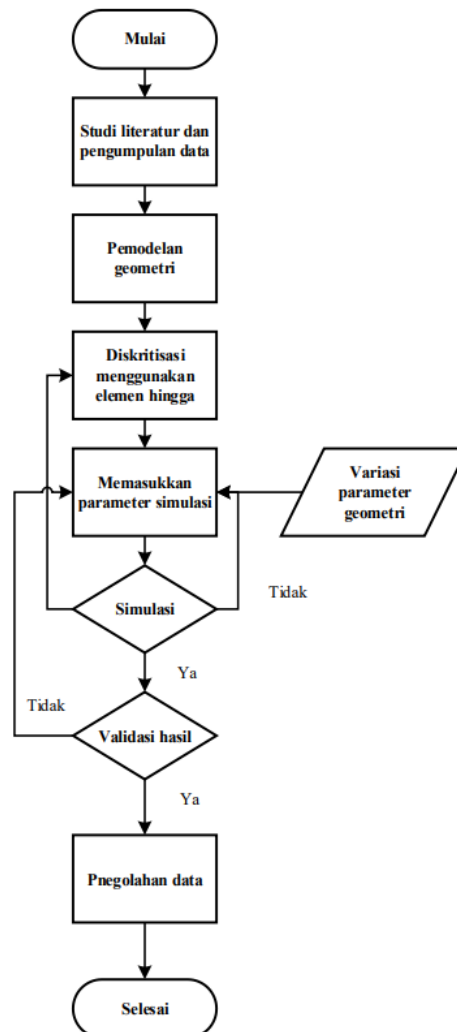
Insiden luka tekan di unit perawatan intensif (ICU) di dunia dilaporkan bervariasi antara 1% hingga 56%. Di Eropa prevalensinya sekitar 49%, di Amerika Utara 22%, dan di Australia mencapai 50%. Pada pasien stroke di Inggris, angka kejadian mencapai 29%, sedangkan di Korea kasus luka tekan di ICU dilaporkan meningkat dari 10,5% hingga 45%. Di Indonesia, prevalensi pada pasien ICU mencapai 33%, angka yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan kawasan Asia Tenggara yang berkisar antara 2,1% hingga 31,3% [6]

Dengan menggunakan Finite Element Method (FEM), kondisi mekanis yang berperan dalam terjadinya pressure ulcer (PU) pada kulit, khususnya di area sakrum, dapat dianalisis secara lebih mendalam..[7] Metode Elemen Hingga (FEM) mensimulasikan tekanan dan gaya geser pada jaringan untuk mengidentifikasi titik tegangan serta penyebab kerusakan [8] Hal ini membantu mengidentifikasi titik tegangan kritis serta memahami bagaimana tekanan, geseran, dan friksi berkontribusi terhadap terbentuknya luka tekan [9]

Dilandaskan dari permasalahan tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan melakukan *remodelling* pada bagian bokong wanita menggunakan *software* Solidworks 2023 dan disimulasikan di Ansys 2023 dengan *material properties* sesuai literatur yang sesuai dengan data material jaringan lunak dari Gefen karena sifat mekanis yang dilaporkan dinilai representatif terhadap karakteristik biologis jaringan manusia dan telah banyak dijadikan rujukan dalam studi biomekanik terkait pressure ulcer [10]

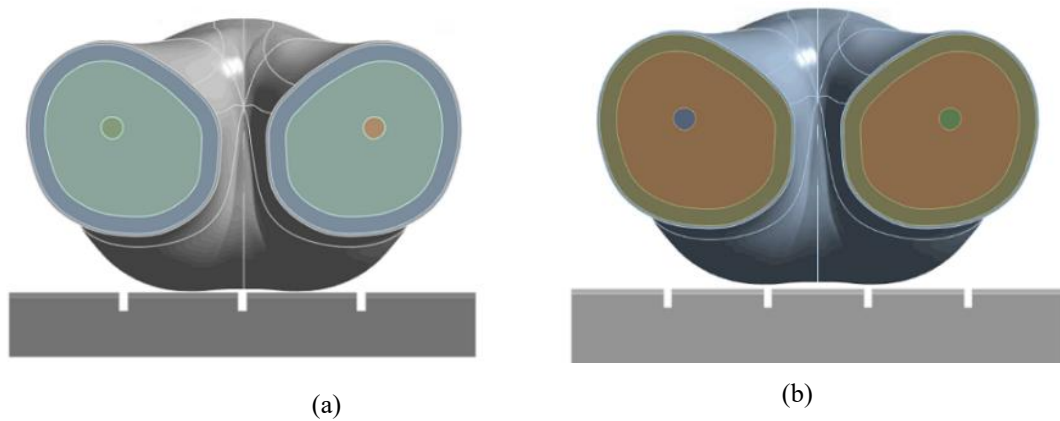
2. Bahan Dan Metode Penelitian

Diagram alir digunakan untuk memvisualisasikan tahapan proses pemecahan masalah. Oleh karena itu, disusun kerangka kerja yang sistematis, yang menjelaskan langkah-langkah penyelesaian mulai dari perencanaan awal hingga tahap akhir secara terstruktur.

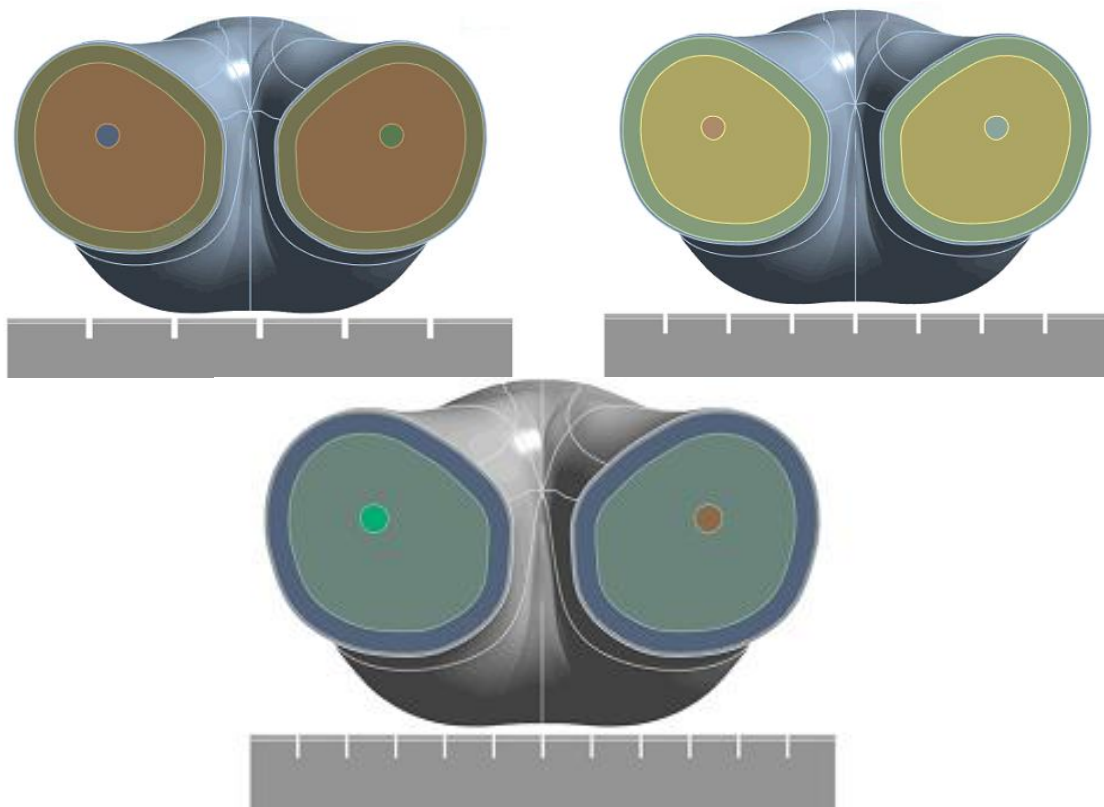


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini memanfaatkan model tubuh manusia yang diperoleh melalui proses rekonstruksi data hasil CT-Scan dari seorang perempuan sehat berusia 28 tahun. Data tersebut kemudian diolah secara menyeluruh hingga membentuk geometri tiga dimensi yang mewakili struktur biologis utama, meliputi tulang, otot, jaringan lemak, serta lapisan kulit. Masing-masing komponen disesuaikan dengan anatomi manusia melalui pengaturan ketebalan dan ukuran tertentu. Struktur tulang dibangun dengan dimensi total $284 \text{ mm} \times 376 \text{ mm} \times 122 \text{ mm}$, sementara lapisan kulit diberikan ketebalan 3 mm dan jaringan lemak dibuat setebal 18 milimeter. Seluruh hasil pemodelan kemudian disesuaikan kembali agar proporsi dan keterpaduan antar bagian tetap akurat sebelum masuk ke tahap simulasi. Untuk matras *anti-decubitus*, geometri dimodelkan dengan Penelitian ini memodelkan empat jenis matras dengan perbedaan desain geometri permukaan yang dijadikan sebagai dasar variasi. Perbedaan tersebut terletak pada ukuran dimensi dan jarak antar *Profile* pada *Surface* matras. Pada Matras *Gap* 10mm, dimensi *Profile* yang digunakan adalah balok $120 \text{ mm} \times 110$ dengan jarak antar *Profile* balok sebesar 10 mm. Matras *Gap* 8mm memiliki dimensi *Profile* balok $100 \times 90 \text{ mm}$ dengan jarak antar *Profile* balok 8 mm. Selanjutnya, Matras *Gap* 6mm didesain dengan balok dimensi $80 \times 70 \text{ mm}$ dan jarak antar *Profile* balok 6 mm. Sementara itu, Matras *Gap* 4mm menggunakan dimensi *Profile* balok $60 \times 50 \text{ mm}$ dengan jarak antar *Profile* balok yang lebih rapat, yaitu 4 mm.



Gambar 2. Geometri pemodelan tubuh dan matras (a) Matras *Gap* 10mm, (b) Matras *Gap* 8mm



Gambar 3. Geometri pemodelan tubuh dan matras (a) Matras *Gap* 6mm, (b) Matras *Gap* 4mm (c) Matras *Gap* 2mm

Tabel 1. *Mechanical Properties* dari tubuh pasien dan Matras

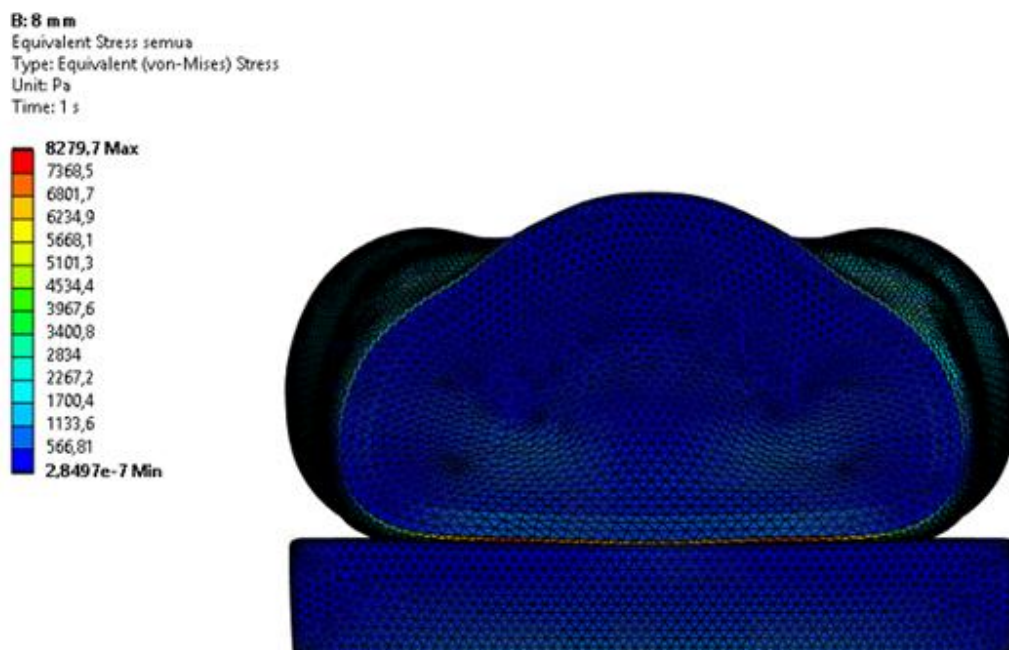
Komponen	Shear modulus (kPa)	Bulk modulus (kPa)	Elastic modulus (kPa)	Poisson's ratio (°)
Kulit	8	666,67	-	0,494
Lemak	0,8	66,67	-	0,494
Otot	0,45	37,5	-	0,494
Tulang	-	-	7×10^6	0,3
Matras	-	-	15	0,3

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Validasi Hasil

Validasi hasil simulasi pada penelitian ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian serta keandalan model yang digunakan. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan von Mises yang terjadi pada tubuh dan matras medis konvensional. Hasil simulasi tersebut kemudian diuji kesesuaiannya dengan temuan Adrianus *et al.* (2023), yang menggunakan pendekatan *Finite Element Method* serupa. Analisis difokuskan pada perbandingan nilai tegangan maksimum von Mises baik pada tubuh maupun pada matras.

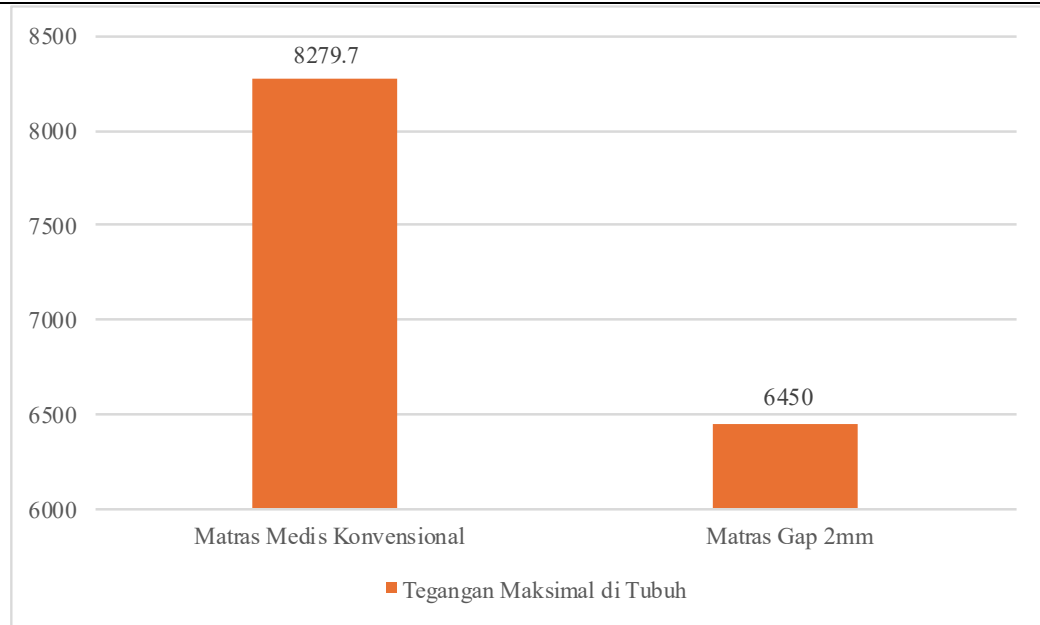
Berdasarkan hasil simulasi, perbedaan nilai maksimum tegangan von Mises antara tubuh dan matras menunjukkan selisih yang sangat kecil, yakni 0,791% pada tubuh dan 1,095% pada matras. Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi hasil tidak signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan metode elemen hingga dalam penelitian ini valid.



Gambar 3. Tegangan *Von Mises* Pada Tubuh dan Matras

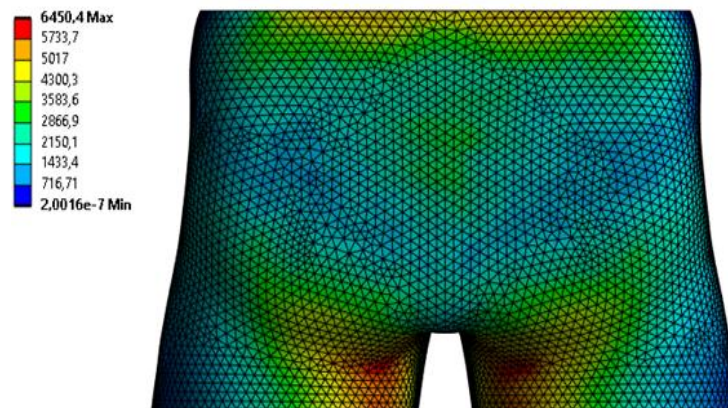
3.2 Pengaruh *profile* balok dengan tubuh

Perbandingan kinerja antara matras dengan *profile* balok dan matras medis konvensional menunjukkan adanya penurunan tegangan maksimum von Mises yang cukup signifikan pada tubuh. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa matras medis konvensional menghasilkan tekanan maksimum sebesar 8279,7 Pa, sedangkan pada Matras *Gap* 2mm nilai tersebut turun menjadi 6450 Pa, dengan persentase penurunan sebesar 20.7%.



Gambar 4. Hasil Tegangan Maximal Von Mises Pada Tubuh Manusia

Selain pada nilai maksimum, distribusi tekanan rata-rata juga menunjukkan penurunan yang signifikan. Pada matras medis konvensional, tekanan rata-rata tercatat sebesar 571 Pa, sedangkan pada matras berbentuk balok nilai tersebut turun menjadi 412 Pa, dengan persentase penurunan mencapai 27.83%. Temuan ini mengindikasikan bahwa risiko terjadinya cedera pada jaringan lunak maupun munculnya *pressure ulcers* dapat diminimalkan secara lebih optimal.



Gambar 4. Penyebaran Tekanan Pada Tubuh Menggunakan Matras Balok Berjarak Matras 2mm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Matras *Gap* 4mm memberikan performa terbaik dibandingkan RFM, dengan nilai *maximum pressure* terendah sebesar 6956 Pa dan *average pressure* terendah sebesar 472 Pa. Hal ini menegaskan bahwa desain Matras *Gap* 4mm lebih efektif dalam menurunkan tekanan puncak sekaligus mendistribusikan beban tubuh secara merata, sehingga mampu mengurangi risiko kerusakan jaringan lunak dan terbentuknya luka tekan, khususnya pada area sakrum.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian berupa simulasi elemen hingga dengan subjek pembebanan pada tubuh manusia yang diposisikan berbaring terlentang di atas matras *anti-decubitus* berprofil *diamond*, didapatkan beberapa Kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi permukaan kasur dengan desain balok berjarak terbukti lebih efektif dibandingkan RFM, karena mampu menurunkan tegangan von Mises dengan distribusi tekanan yang lebih merata mengikuti kontur tubuh.
2. Jarak antar balok berpengaruh langsung terhadap distribusi tekanan; semakin besar jarak antar balok, semakin tinggi tegangan von Mises yang muncul akibat berkurangnya area penopang tubuh.
3. Matras dengan jarak antar balok memberikan durasi penggunaan yang lebih aman, karena tekanan tidak terkonsentrasi pada satu titik sehingga jaringan lunak dapat bertahan lebih lama tanpa mengalami kerusakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joshua, P. et al. (2019) "*Pressure ulcers: Pathophysiology, epidemiology, risk factors, and presentation*".
- [2] Su, P. et al. (2022) "*Biomechanical Changes on the Typical Sites of Pressure Ulcers in the Process of Turning Over from Supine Position : Theoretical Analysis , Simulation , and Experiment,*".
- [3] Jung, T.-M., & Lee, J.-H. (2024). The Novel Care-Cure Pressure Ulcer Mobile Sensor and Algorithm for Super Aging People. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*.
- [4] Naqvi, H. (2017). Pressure ulcers in older adults. In *Geriatric Rehabilitation: From Bedside to Curbside*. Springer.
- [5] Idrovo, A. C. Y., Loaiza, W. V. J., Hidalgo, G. M. A., & Encalada, B. P. O. (2022). *Efficacy of negative pressure therapy compared to conventional treatment in pressure ulcers. Salud, Ciencia y Tecnologia, 2*, Article 177.
- [6] Erika, Fitri, R. F., & Sumiati, A. (2021). Pengaruh Perawatan Luka Menggunakan Gel Lidah Buaya terhadap Kesembuhan Dekubitus. *Jurnal Indah Sains dan Klinis*.
- [7] Mayangsari, B., & Yenny. (2020). Pengaruh Perubahan Posisi Terhadap Risiko Terjadinya Dekubitus di Rumah Sakit PGI Cikini. *Jurnal Keperawatan Cikini*,
- [8] Smart, N., Hooker, R., Bhattacharjee, R., Rahmani, R., Morris, N., & +1. (2024). *Characterising the Mechanism of Cell Failure Due to Shear Using a Combined Numerical and Analytical Approach*. In *Mechanisms and Machine Science Conference Paper*.
- [9] Leung, I. P. H., Fleming, L., Walton, K., & Ousey, K. (2017). Development of a model to demonstrate the effects of friction and pressure on skin in relation to pressure ulcer formation. *Wear, 376–377*, 10–15
- [10] Lustig, A., Margi, R., Orlov, A., Orlova, D., Azaria, L., & Gefen, A. (2021). The mechanobiology theory of the development of medical device-related pressure ulcers revealed through a cell-scale computational modeling framework. *Biomechanics and Modelling In Mechanobiology, 20*, 851-860.