

OPTIMALISASI DESAIN MATRAS UNTUK REDUKSI RISIKO *PRESSURE ULCERS* MELALUI PERBANDINGAN DISTRIBUSI TEKANAN ANTARA MATRAS BERPROFIL *DIAMOND* DAN MATRAS MEDIS KONVENSIONAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Sandy Wijaya¹, 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. +62247460059

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain matras *decubitus* guna mengurangi risiko luka tekan (*pressure ulcers*) dengan membandingkan distribusi tekanan antara matras berprofil *diamond* dan matras medis konvensional menggunakan metode elemen hingga (FEM). Model tubuh manusia direkonstruksi, yang lalu dilakukan *remodelling*, dan disimulasikan. Simulasi dilakukan untuk menganalisis tegangan *Von Mises* dan distribusi tekanan pada bagian *sacrum* hingga *femur*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa matras berprofil *diamond* efektif dalam mengurangi tekanan dibandingkan dengan matras medis konvensional. Pengurangan tegangan *Von Mises* maksimal terbaik sebesar 13.363%, dan tegangan *Von Mises* rata-rata terbaik sebesar 13.84%, didapatkan pada matras *diamond* dengan variasi jarak antar *diamond*. Matras berprofil *diamond* bekerja dengan memperluas area kontak antara tubuh dan matras, sehingga beban tubuh tersebar lebih merata dan dapat mengurangi distorsi sel serta konsentrasi tegangan di area tertentu. Secara keseluruhan, matras berprofil *diamond* memberikan distribusi tekanan yang lebih baik dan waktu penggunaan yang lebih lama, menjadikannya pilihan yang lebih efektif untuk mengurangi risiko luka tekan pada pasien.

Kata Kunci: distribusi tekanan; matras *diamond*; *pressure ulcers*

Abstract

This research aims to optimize the design of a *decubitus* mattress to reduce the risk of *pressure ulcers* by comparing pressure distribution between a *diamond*-profile mattress and a conventional medical mattress using the finite element method (FEM). A human body model was reconstructed, remodeled, and then simulated. The simulation was conducted to analyze *Von Mises* stress and pressure distribution from the *sacrum* to the *femur*. The simulation results show that the *diamond*-profile mattress is effective in reducing pressure compared to the conventional medical mattress. The best maximum *Von Mises* stress reduction of 13.363% and the best average *Von Mises* stress reduction of 13.84% were obtained with the *diamond*-profile mattress with varied *diamond* spacing. The *diamond*-profile mattress works by increasing the contact area between the body and the mattress, which distributes the body's weight more evenly, reducing cell distortion and stress concentration in specific areas. Overall, the *diamond*-profile mattress provides better pressure distribution and longer usage time, making it a more effective choice for reducing the risk of *pressure ulcers* in patients.

Keywords: *diamond* mattress; pressure distribution; *pressure ulcers*

1. Pendahuluan

Fasilitas layanan kesehatan menghadapi tantangan besar dalam menangani *pressure ulcers* (PU), terutama pada pasien yang memerlukan perawatan jangka panjang. Umumnya, salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan kemungkinan terjadinya *pressure ulcers* adalah sirkulasi, suhu, dan kelembaban udara [1]. Salah satu metode pencegahan yang sering digunakan adalah tempat tidur khusus atau matras *anti-decubitus*. Namun, banyak matras *anti-decubitus* yang tersedia dianggap kurang efektif, dikarenakan seiring berjalannya waktu, tekanan dan deformasi pada material dapat mempengaruhi efektivitas matras [2]. Matras *anti-decubitus* yang lebih canggih, seperti matras busa dengan spesifikasi tinggi, terbukti lebih efektif dalam mengurangi risiko luka tekan dibandingkan matras busa standar. Penelitian menunjukkan bahwa material yang lebih lembut pada matras dapat memberikan tekanan yang lebih rendah dan merata [3].

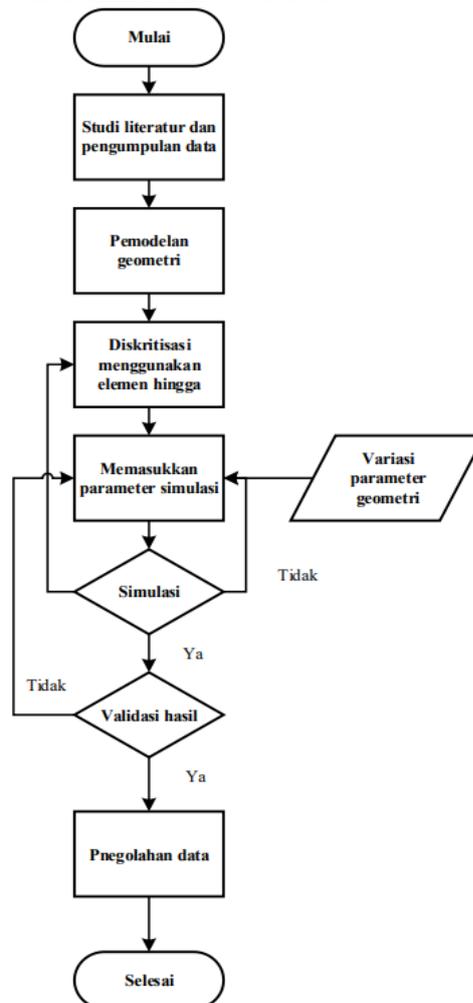
Pressure ulcers didefinisikan sebagai kerusakan pada kulit dan jaringan lunak di bawahnya, yang disebabkan oleh tekanan atau gesekan yang berkepanjangan [4]. Kondisi ini merupakan masalah serius bagi pasien yang berbaring lama dan dapat menyebabkan komplikasi berat seperti infeksi dan nekrosis jaringan [5]. Tahapan terbentuknya luka tekan dimulai dari cedera seluler akibat deformasi, diikuti peradangan, dan akhirnya kerusakan iskemik [6]. Deteksi dini pada tahap awal sangat penting, karena kerusakan jaringan lunak di bawah kulit sudah parah saat luka mencapai tahapan selanjutnya [7]. Masalah ini tidak hanya berdampak pada pasien secara fisik dan psikologis, tetapi juga menimbulkan beban finansial yang signifikan bagi sistem layanan kesehatan [8].

Untuk mengatasi permasalahan ini, metode simulasi komputer seperti *finite element method* (FEM) menjadi alat yang sangat berguna. FEM memungkinkan analisis rinci mengenai distribusi tekanan dan regangan pada jaringan tanpa melibatkan pengujian langsung yang berisiko bagi pasien [9]. Metode ini telah banyak diterapkan dalam biomekanika untuk menganalisis distribusi tegangan pada berbagai bagian tubuh dan mendukung pengembangan desain matras yang lebih efektif. Salah satu studi menggunakan FEM membangun model 3D bokong pasien dari data MRI untuk menganalisis distribusi tekanan pada berbagai jenis matras [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memberikan pengembangan terhadap pemodelan matras yang efektif untuk mengatasi *pressure ulcers*. FEM dimanfaatkan untuk menganalisis respons mekanis jaringan tubuh, meliputi kulit, lemak, otot, dan tulang, terhadap tekanan statis. Pemodelan geometri dibentuk melalui data nyata *CT-Scan*, sehingga menghasilkan model yang realistis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi desain matras yang efektif dalam mendistribusikan tekanan secara optimal guna mencegah timbulnya *pressure ulcers*. Diharapkan, temuan penelitian ini dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan strategi pencegahan *pressure ulcers* yang lebih efektif.

2. Bahan dan Metode Penelitian

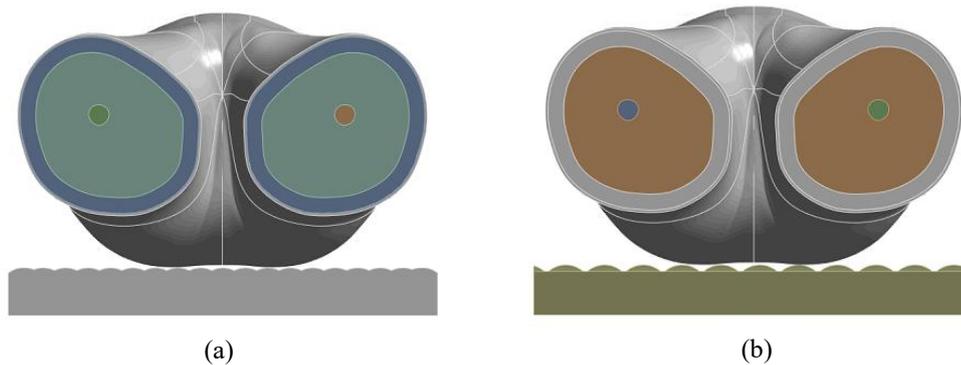
Sebuah diagram alir diperlukan untuk memvisualisasikan tahapan proses dalam pemecahan masalah. Untuk itu, dirancang kerangka kerja yang tersusun secara sistematis, yang memaparkan langkah-langkah penyelesaian masalah dari tahap perencanaan awal hingga penyelesaian akhir secara terstruktur.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Penelitian ini menggunakan model tubuh manusia yang dikembangkan dari hasil rekonstruksi data *CT-Scan* seorang pasien wanita sehat dengan usia 28 tahun, yang kemudian diolah kembali. Tahapan tersebut menghasilkan representasi geometri tiga dimensi dari komponen biologis utama, meliputi tulang, otot, lemak, dan kulit. Setiap jaringan diberikan ketebalan dan dimensi yang disesuaikan dengan anatomi tubuh manusia. Tulang memiliki dimensi keseluruhan senilai $284 \text{ mm} \times 376 \text{ mm} \times 122 \text{ mm}$, dengan kulit yang dimodelkan setebal 3 mm, sedangkan jaringan lemak setebal 18 mm. Seluruh geometri dimodifikasi ulang untuk memastikan ketepatan ukuran serta kesesuaian antarbagian sebelum memasuki tahap simulasi.

Untuk matras *anti-decubitus*, geometri dimodelkan dengan dimensi $500 \text{ mm} \times 310 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ untuk variasi ketinggian *diamond* setinggi 6 mm, dan dimensi $500 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ untuk variasi jarak antar *diamond* sejauh 5 mm. Pemodelan profil ini dilakukan untuk mengevaluasi efek distribusi tekanan yang terjadi terhadap tubuh pasien.



Gambar 2. Geometri pemodelan tubuh dan matras (a) variasi ketinggian *diamond* 6 mm, (b) variasi jarak antar *diamond* 5 mm

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

Komponen	<i>Shear modulus</i> (kPa)	<i>Bulk modulus</i> (kPa)	<i>Elastic modulus</i> (kPa)	<i>Poisson's ratio</i> (ν)
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	-	-	10	0,3

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Hasil

Proses validasi hasil simulasi dalam penelitian ini dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian dan reliabilitas model yang digunakan, dengan cara membandingkan nilai tegangan *Von Mises* yang dialami tubuh dan matras medis konvensional. Proses simulasi validasi ini dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hafizh (2024), yang menggunakan pendekatan FEM serupa. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil nilai dari tegangan maksimal *Von Mises* pada tubuh dan matras.

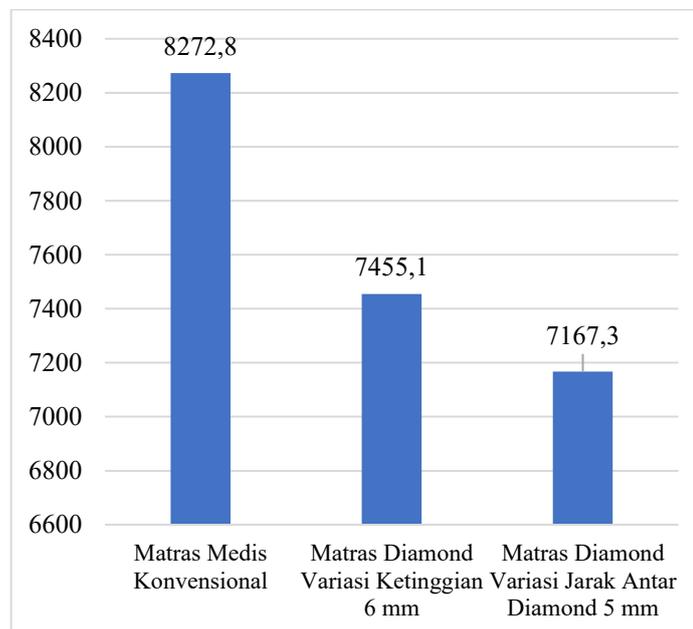
Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbedaan hasil simulasi yang berupa nilai maksimal tegangan *Von Mises* pada tubuh dan matras tidak berbeda secara signifikan, dengan persentase perbedaan senilai 0.942% pada tubuh dan persentase perbedaan senilai 1.112% pada matras. Dengan hasil ini, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian menggunakan metode elemen hingga ini telah valid.



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

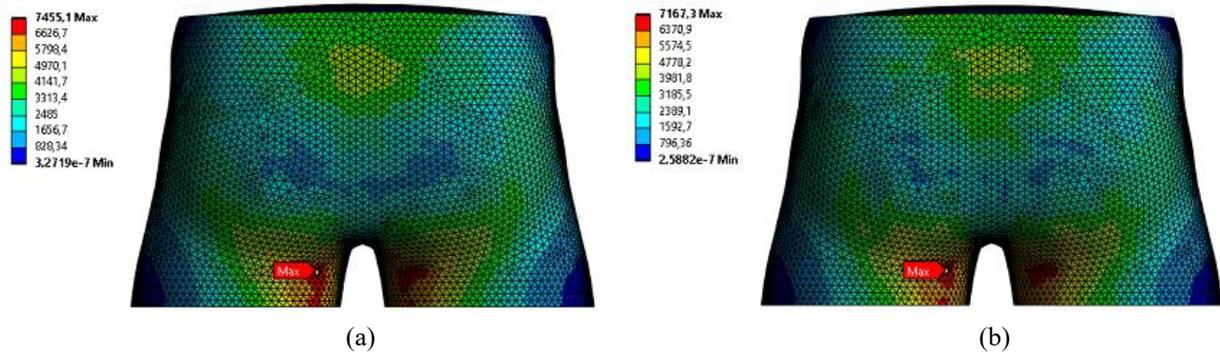
3.2 Pengaruh Profil *Diamond* Terhadap Matras

Perbandingan performa matras *diamond* terhadap matras medis konvensional menunjukkan hasil yang cukup signifikan terhadap penurunan tegangan maksimal *Von Mises* pada tubuh. Berdasarkan hasil simulasi, distribusi tekanan menggunakan matras medis konvensional menghasilkan tekanan maksimum sebesar 8272.8 Pa, sedangkan distribusi tekanan menggunakan matras *diamond* dengan variasi ketinggian *diamond* senilai 6 mm dan jarak antar *diamond* sejauh 5 mm secara berturut-turut sebesar 7455.1 Pa dan 7167.3 Pa. Penurunan tekanan maksimum didapatkan sebesar 9.884% untuk matras *diamond* dengan variasi ketinggian *diamond* 6 mm dan sebesar 13.363% untuk matras *diamond* dengan variasi jarak antar *diamond*.



Gambar 4. Hasil Tegangan Maximal *Von Mises* Pada Tubuh Manusia

Selain itu, distribusi tekanan secara rata-rata juga mengalami penurunan yang cukup signifikan. Distribusi tekanan rata-rata menggunakan matras medis konvensional didapatkan sebesar 576.08 Pa, sedangkan distribusi tekanan rata-rata menggunakan matras *diamond* dengan variasi ketinggian *diamond* 6 mm dan jarak antar *diamond* sejauh 5 mm secara berturut-turut mengalami penurunan sebesar 10.936% dengan nilai 513.08 Pa, dan 13.84% dengan nilai sebesar 496.35 Pa. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya cedera pada jaringan lunak dan kemungkinan munculnya *pressure ulcers* dapat ditekan secara optimal.



Gambar 4. Penyebaran Tekanan Pada Tubuh Menggunakan Matras *Diamond* (a) variasi ketinggian *diamond* 6 mm, (b) variasi jarak antar *diamond* 5 mm

Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa matras *diamond* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan matras medis konvensional dalam mengurangi tekanan pada tubuh. Keberadaan profil *diamond* menyebabkan area kontak antara tubuh dan matras menjadi lebih luas dan terdistribusi secara lebih merata, sehingga dapat mengurangi nilai tekanan maksimal yang diterima oleh tubuh, yang dapat mengurangi risiko kerusakan jaringan akibat tekanan berkepanjangan.

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. Matras *diamond* dengan signifikan dapat menurunkan nilai tekanan maksimum yang diterima oleh tubuh. Pada matras medis konvensional, tekanan maksimum mencapai 8272.8 Pa, sedangkan pada matras *diamond* dengan variasi ketinggian 6 mm dan variasi jarak antar *diamond* 5 mm, secara berturut-turut bernilai 7455.1 Pa dan 7167.3 Pa, menurun sebesar 9.884% dan 13.363%.
2. Nilai rata-rata tekanan turut menunjukkan penurunan yang cukup signifikan, dari 576.08 Pa pada matras medis konvensional, menjadi secara berturut-turut 513.08 Pa dan 496.35 Pa pada matras *diamond* dengan variasi ketinggian *diamond* 6 mm dan variasi jarak antar *diamond* 5 mm, yang menunjukkan tekanan terdistribusi secara lebih merata pada permukaan kontak antara tubuh dan matras.
3. Profil *diamond* terbukti mampu meningkatkan pemerataan distribusi tekanan pada tubuh, dikarenakan area kontak yang lebih luas, khususnya pada area yang rentan terhadap kemungkinan terjadinya *pressure ulcers*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil ini mampu mengurangi risiko kerusakan jaringan akibat tekanan berkepanjangan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Zeevi, T., Levy, A., Brauner, N., & Gefen, A. (2018, June). Effects of ambient conditions on the risk of pressure injuries in bedridden patients-multi-physics modelling of microclimate. *International Wound Journal*, 15(3), 402-416.
- [2] Mallick, A. N., Kumar, M., Basumatary, B., Arora, K., & Sahani, A. K. (2023). Design and Testing of Pressure Ulcers Preventive Bed for Neonates in Neonatal Intensive Care Units. *IEEE Transactions On Medical Robotics and Bionics*, Vol. 5 No. 2.
- [3] Rayward, L., Pearcy, M., Kerr, G., Pivonka, P., & Little, J. P. (2023, December). Engineering the perfect mattress: The influence of substrate mechanics on deep tissue stresses in supine. *Clinical Biomechanics*, Vol. 110, 106130.
- [4] NPUAP, EPUAP, & PPPIA. (2014). *Prevention and Treatment of Pressure Ulcers: Clinical Practice Guideline*. Cambridge Media.
- [5] van Zwam, W. G., van Turnhout, M. C., & Oomens, C. W. (2020). Risk factors for developing heel ulcers for bedridden patients: A finite element study. *Clinical Biomechanics*.
- [6] 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.
- [7] Kim, S.-R., Lee, S., Kim, J., Kim, E., Kil, H.-J., Yoo, J.-H., . . . Park, J.-W. (2022). A fabric-based multifunctional sensor for the early detection of skin decubitus ulcers. *Biosensors and Bioelectronics*, Vol. 215.
- [8] Zencir, G., Yesilyaprak, T., Unal, E. P., Akin, B., & Gok, F. (2025). Evaluation of surgical nurses' knowledge and attitudes towards pressure ulcer prevention. *Journal of Tissue Viability*, Vol. 34.
- [9] Trebbi, A. (2022). Definition of a methodology to evaluate finite element models of the human heel for the prevention of pressure ulcers. *Health*.

-
- [10] Lustig, M., & Gefen, A. (2022). Computational studies of the biomechanical efficacy of a minimum tissue deformation mattress in protecting from sacral pressure ulcers in a supine position. *International Wound Journal*, 19(5), 1111-1120.
- [11] Faza, H. M. (2024). *Analisis Distribusi Tekanan Pada Desain Surface Bed Anti Decubitus Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Universitas Diponegoro, Teknik Mesin, Semarang.