

ANALISIS PENGARUH LAPISAN SELULOSA PADA MODEL KASUR ANGIN ANTI DEKUBITUS TERHADAP DISTRIBUSI TEKANAN TUBUH BERBARING MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Mochamad Rizqy¹, 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: mochamadrizqy@students.undip.ac.id

Abstrak

Pressure injuries merupakan kerusakan jaringan lunak yang disebabkan oleh tekanan berkepanjangan, terutama pada area tubuh yang bersinggungan langsung dengan permukaan matras saat pasien berada dalam posisi terlentang. Pada penelitian sebelumnya, dilakukan perancangan matras anti dekubitus dan memberikan kontribusi yang bagus dalam mengurangi resiko *pressure ulcers*. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tekanan pada matras *anti-decubitus* berbasis udara dengan variasi material serta penambahan tiga lapisan *dressing* berbahan dasar selulosa, menggunakan pendekatan metode elemen hingga/*finite element method* (FEM). Model tubuh manusia direkonstruksi, lalu dimodelkan ulang, dan disimulasikan. Simulasi dilakukan untuk mengamati distribusi tegangan von Mises pada tubuh, serta melihat efektivitas pada simulasi yang dilakukan. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa matras dengan lapisan selulosa menghasilkan nilai tekanan tertinggi terendah, yaitu 3877,9 Pa, dengan penurunan tekanan sebesar 47,3% dibandingkan tanpa lapisan selulosa. Dengan demikian, konfigurasi MDTM 2 dengan lapisan selulosa terbukti paling efektif dalam mendistribusikan tekanan dan berpotensi tinggi dalam mencegah terjadinya ulkus dekubitus, terutama pada area sakrum.

Kata kunci: *lapisan selulosa; metode elemen hingga; pressure injuries*

Abstract

Pressure injuries are soft tissue damage that happens when someone is lying down for a long time and their body is in direct touch with the mattress surface. Previous research on the design of anti-decubitus mattresses showed that they helped lower the risk of pressure ulcers. The goal of this study is to use the finite element technique (FEM) to look at how pressure is spread out on air-based anti-decubitus mattresses using different materials and three layers of cellulose-based dressings. They rebuilt the model of the human body, then changed it again and ran a simulation. We ran simulations to see how the von Mises stress spread through the body and to see how effectively the simulations worked. The study found that mattresses with cellulose layers had the lowest highest pressure value, which was 3877.9 Pa. This was 47.3% lower than mattresses without cellulose layers. So, the way that mattresses with cellulose layers were made was the best at spreading out pressure and had a lot of potential for stopping pressure ulcers, especially in the sacrum area.

Keywords: *cullulose dressing; finite element method; pressure injuries*

1. Pendahuluan

Pressure ulcers atau luka tekan merupakan kerusakan jaringan lunak yang diakibatkan oleh tekanan berkelanjutan dan gaya geser, terutama pada area tubuh yang berada di atas tonjolan tulang seperti sakrum, tumit, dan tulang belikat. Luka ini sering dijumpai pada pasien yang mengalami keterbatasan mobilitas, seperti pasien atau individu dalam kondisi tirah baring berkepanjangan [1]. Secara global, prevalensi luka tekan diperkirakan mencapai 13%, dengan insidensi di rumah sakit umum mencapai 8–10% [2].

Secara biologis, luka tekan berkembang dari deformasi seluler akibat tekanan lokal yang berkepanjangan, yang kemudian menginisiasi kerusakan inflamasi dan hipoksia jaringan, hingga akhirnya menyebabkan nekrosis [3]. Permasalahan utama yang menyebabkan tekanan berlebih pada titik tertentu adalah distribusi beban tubuh yang tidak merata, terutama pada permukaan kasur konvensional yang tidak mengikuti kontur anatomi tubuh [4]. Titik tekanan tinggi sering kali terjadi pada sakrum karena luas kontak yang kecil dan beban yang relatif besar, sehingga diperlukan solusi

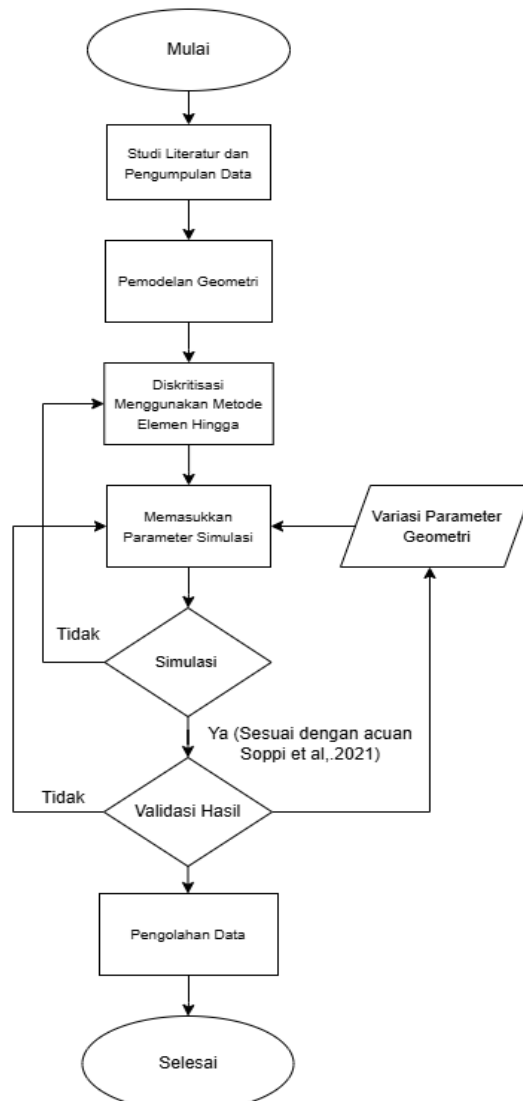
redistribusi tekanan. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa penggunaan kasur *anti-decubitus* dengan mekanisme aliran udara atau bahan viskoelastik mampu mengurangi risiko luka tekan secara signifikan [5]. Selain itu, pendekatan simulasi berbasis metode elemen hingga telah digunakan secara luas untuk memodelkan tekanan internal jaringan dan mengevaluasi kinerja berbagai desain kasur maupun dressing pencegah luka tekan [6].

Studi oleh Levy et al. menunjukkan bahwa penggunaan *dressing* berbasis selulosa menghasilkan pengurangan tekanan internal jaringan lunak lebih baik dibandingkan *dressing* silikon, terutama dalam kondisi basah atau lembap [7]. Hal ini sejalan dengan penelitian Lustig dan Gefen yang menekankan pentingnya aspek *immersion* dan *envelopment* dari kasur dalam meningkatkan efektivitas distribusi tekanan [8]. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan juga menjadi determinan penting, sebagaimana ditekankan dalam penelitian oleh Brienza et al. yang menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan kulit berbanding lurus dengan peningkatan risiko kerusakan jaringan [9].

Berdasarkan berbagai temuan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis distribusi tekanan pada model kasur *anti-decubitus* berbasis udara dengan beberapa variasi material, serta penambahan tiga lapisan berbahan dasar selulosa. Analisis dilakukan menggunakan simulasi elemen hingga berbasis pemodelan geometri tubuh realistis dari data CT-scan, dengan tujuan mengevaluasi respons mekanik jaringan kulit, lemak, otot, dan tulang terhadap tekanan statis. Diharapkan hasil penelitian ini dapat mengidentifikasi konfigurasi kasur dan dressing yang paling efektif dalam mendistribusikan tekanan secara optimal dan mencegah terjadinya luka tekan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

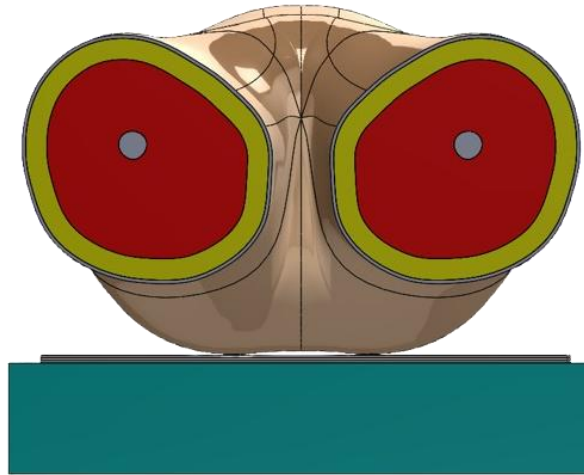
Diperlukan diagram alir yang merepresentasikan alur kerja atau tahapan proses dalam pemecahan masalah. Oleh karena itu, disusunlah kerangka sistematis yang menjelaskan langkah-langkah pemecahan masalah dari tahap awal hingga tahap penyelesaian secara menyeluruh.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Model tubuh manusia dalam penelitian ini dibentuk berdasarkan hasil rekonstruksi data CT-scan seorang pasien wanita berumur 28 tahun yang kemudian direkonstruksi ulang. Proses ini menghasilkan geometri tiga dimensi dari komponen biologis utama, yaitu tulang, jaringan otot, jaringan lemak, dan kulit. Masing-masing jaringan memiliki ketebalan dan dimensi yang telah disesuaikan dengan struktur anatomis tubuh manusia. Tulang memiliki ukuran keseluruhan sebesar 284 mm × 376 mm × 122 mm, jaringan kulit dimodelkan dengan ketebalan 3 mm, dan jaringan lemak dengan ketebalan 18 mm. Seluruh geometri kemudian diremodel untuk memastikan akurasi dimensi dan kompatibilitas antar bagian sebelum diekspor untuk proses simulasi.

Sementara itu, matras *anti-decubitus* dalam penelitian ini dimodelkan mengikuti ukuran tubuh yang telah direkonstruksi, dengan dimensi 420 mm × 230 mm × 60 mm. Matras ini divariasikan dengan dilengkapi dengan tiga lapisan dressing berbahan dasar selulosa dengan masing-masing berukuran 280 mm × 145 mm × 2 mm. Pemodelan lapisan ini bertujuan untuk mengevaluasi efek biomekanis dari kombinasi material terhadap distribusi tekanan pada tubuh pasien.



Gambar 2. Geometri pemodelan kasur dengan tiga lapisan selulosa

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

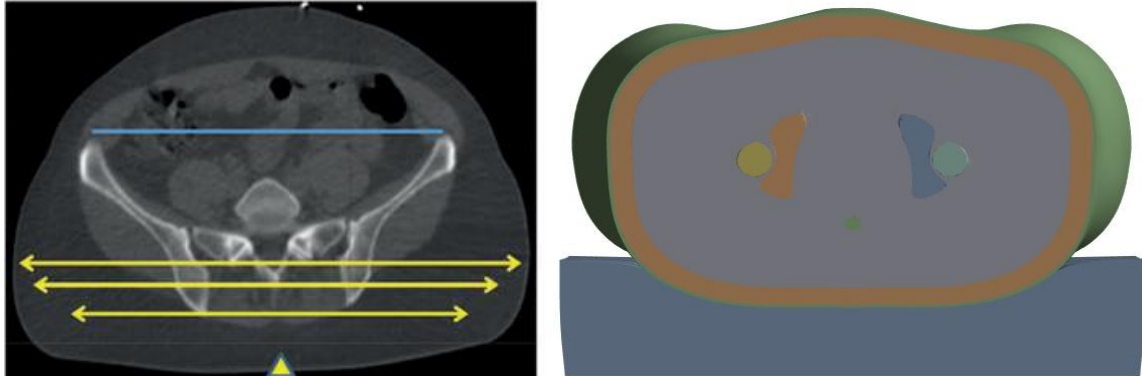
Komponen	Shear modulus (kPa)	Bulk modulus (kPa)	Elastic modulus (kPa)	Poisson's ratio (ν)
Kulit	8	666,67	-	0,494
Lemak	0,8	66,67	-	0,494
Otot	0,45	37,5	-	0,494
Tulang	-	-	7 x 10 ⁶	0,3
MDTM 2	-	-	10	0,3
Dressing Lapisan 1	-	-	5133±249	0,45
Dressing Lapisan 2	-	-	263±19	0,45
Dressing Lapisan 3	-	-	2417±62	0,45

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Hasil

Validasi hasil simulasi dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan keakuratan model numerik yang digunakan, dengan cara membandingkan deformasi jaringan lunak yang terjadi saat tubuh berinteraksi dengan permukaan matras. Rujukan utama validasi adalah penelitian terdahulu oleh Soppi et al. (2021) yang memanfaatkan pendekatan metode elemen hingga serupa untuk menganalisis penyebaran jaringan lunak pada pasien berbaring di atas kasur. Dalam penelitian ini, deformasi lateral jaringan lunak pada matras MDTM 2 dengan tiga lapisan *dressing* selulosa dibandingkan terhadap data eksperimental dari RFM. Analisis dilakukan pada tiga titik potong melintang tubuh: 2 cm di atas sakrum, tepat pada sakrum, dan di bawah sakrum.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penyebaran jaringan lunak secara lateral pada MDTM 2 lebih terbatas dibandingkan dengan RFM, dengan peningkatan sebesar 9,61%, 10,03%, dan 11,05% pada masing-masing titik jika dibandingkan dengan RFM. Persentase ini masih berada dalam rentang validasi dari hasil studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa pemodelan dan pendekatan mekanika kontak dalam penelitian ini telah sesuai dan valid secara biomekanis.

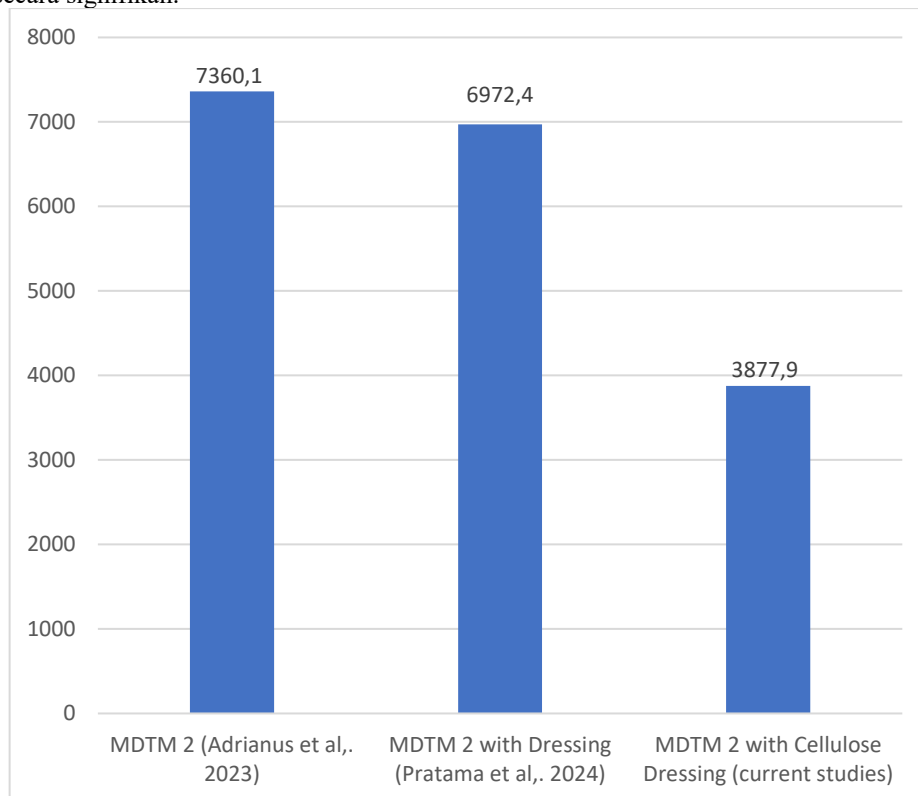


Gambar 3. Penyebaran deformasi yang terjadi pada matras

3.2 Pengaruh Lapisan Selulosa Terhadap Matras

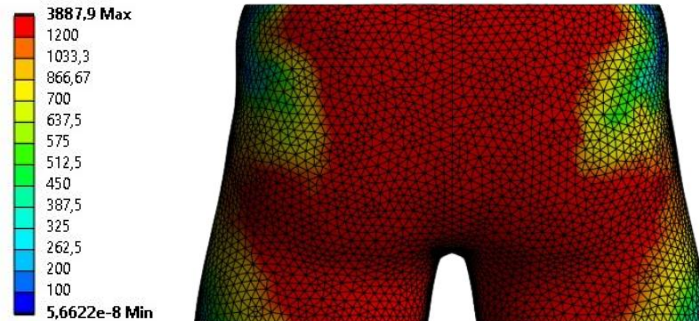
Perbandingan performa matras MDTM 2 dengan dan tanpa penambahan lapisan *dressing* selulosa memberikan gambaran yang signifikan terhadap efektivitas redaman tekanan. Berdasarkan hasil simulasi distribusi tegangan von Mises, penggunaan *dressing* berbasis selulosa pada MDTM 2 menghasilkan tekanan maksimum sebesar 3877,9 Pa, jauh lebih rendah dibandingkan tekanan maksimum pada MDTM 2 tanpa *dressing* yaitu 7360,1 Pa, menunjukkan adanya penurunan tekanan sebesar 47,3%.

Selain itu, nilai rata-rata tegangan von Mises juga mengalami penurunan dari 861,53 Pa (tanpa *dressing*) menjadi 386,9 Pa (dengan *dressing* selulosa). Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan lapisan *dressing* tidak hanya efektif dalam menurunkan puncak tekanan, tetapi juga mendistribusikan tekanan secara lebih merata ke seluruh permukaan kontak. Secara biomekanis, hal ini berarti risiko kerusakan jaringan lunak dan pembentukan luka tekan dapat diminimalisasi secara signifikan.



Gambar 4. Hasil Tegangan Maximal Von Mises Pada Tubuh Manusia

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu oleh Pratama et al. (2024) yang menambahkan *dressing* umum tanpa bahan selulosa, penurunan tekanan maksimum hanya sekitar 5,26%. Angka ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan 47,3% pada penelitian ini. Ini menunjukkan bahwa bukan hanya keberadaan *dressing*, tetapi jenis material dan karakteristik mekaniknya yang sangat menentukan efektivitas perlindungan jaringan lunak. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini lebih jauh adalah mengonfirmasi bahwa struktur selulosa memiliki keunggulan biomekanis yang lebih unggul secara signifikan dibandingkan bahan alternatif lain.



Gambar 4. Penyebaran tekanan pada matras dengan *dressing*

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi MDTM 2 dengan tambahan tiga lapisan *dressing* selulosa memiliki performa yang jauh lebih baik dalam mengurangi tekanan internal pada jaringan lunak. Efek *envelopment* yang ditingkatkan oleh *dressing* membantu memperbesar area kontak dan mengurangi konsentrasi tegangan di sekitar tonjolan tulang, terutama sakrum, yang merupakan titik rawan luka tekan. Hal ini menjadikan MDTM 2 dengan *dressing* selulosa sebagai konfigurasi paling optimal dalam pencegahan *pressure ulcers* berdasarkan hasil simulasi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil melakukan simulasi distribusi tekanan pada model tubuh manusia yang berbaring di atas matras *anti-decubitus* dengan dan tanpa penggunaan tiga lapisan *dressing* berbahan dasar selulosa menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penggunaan *dressing* selulosa secara signifikan menurunkan tekanan maksimum (von Mises) yang diterima jaringan tubuh. Pada matras MDTM 2 tanpa *dressing*, tekanan maksimum mencapai 7360,1 Pa, sedangkan dengan penambahan *dressing* selulosa, tekanan menurun menjadi 3877,9 Pa, atau terjadi penurunan sebesar 47,3%.
2. Nilai rata-rata tekanan juga menunjukkan penurunan signifikan, dari 861,53 Pa (tanpa *dressing*) menjadi 386,9 Pa (dengan *dressing* selulosa), menunjukkan distribusi tekanan yang lebih merata pada permukaan kontak antara tubuh dan matras.
3. Penggunaan *dressing* selulosa pada kasur terbukti mampu meningkatkan penyebaran tekanan secara lebih merata pada jaringan lunak, terutama di area kulit yang rentan terhadap luka tekan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi ini menghasilkan tekanan maksimum yang lebih rendah serta distribusi deformasi jaringan ke arah lateral yang lebih baik dibandingkan konfigurasi tanpa *dressing*, menandakan berkurangnya konsentrasi tekanan di titik-titik kritis seperti sakrum.

5. Daftar Pustaka

- [1] National Pressure Injury Advisory Panel (NPIAP). (2019). *Prevention and Treatment of Pressure Ulcers/Injuries: Clinical Practice Guideline*.
- [2] Kayser, S. A., VanGilder, C. A., & Lachenbruch, C. (2020). Prevalence and analysis of medical device-related pressure injuries. *JWOCN*, 47(2), 112–117.
- [3] Padula, W. V., & Delarmente, B. A. (2019). The national cost of hospital-acquired pressure injuries. *International Wound Journal*, 16(3), 634–640.
- [4] Gefen, A. (2021). The pathophysiology of pressure ulcers: Shear, ischemia, and mechanotransduction. *Journal of Tissue Viability*, 30(1), 1–9.
- [5] Linder-Ganz, E., & Gefen, A. (2007). Mechanical compression-induced pressure sores. *Journal of Applied Physiology*, 102(5), 1992–2001.
- [6] McInnes, E., et al. (2015). Support surfaces for pressure ulcer prevention. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (9), CD001735.
- [7] Oomens, C. W. J., et al. (2013). Pressure induced deep tissue injury explained. *Annals of Biomedical Engineering*, 41, 215–228.

-
- [8] Levy, A., Gefen, A., & van Nierop, B. (2020). Biomechanical performance of wound dressings. *International Wound Journal*, 17(1), 31–40.
- [9] Lustig, M., & Gefen, A. (2022). Effects of immersion and envelopment on tissue stress. *Journal of Biomechanics*, 130, 110866.
- [10] McInnes, E., Cullum, N., Bell-Syer, S., Dumville, J., Jammali-Blasi, A., & Vincent, S. (2011). Support surfaces for pressure ulcer prevention. *Primary Health Care*, 21(9), 14.
- [11] Soppi, E., Knuuti, J., & Kalliokoski, K. (2021). Positron emission tomography study of effects of two pressure-relieving support surfaces on pressure ulcer development. *Journal of Wound Care*, 30(1), 54–62.