

Review Articles

Perkembangan Teknologi Berbasis Sensor dan IoT Dalam Pencegahan Luka Tekan: Sebuah Tinjauan Literatur

Ni Ketut Guru Prapti^{1*} | Ni Ketut Apriliantari² | Nyoman Tri Pradnya Diva² | Ni Nyoman Tian Wulan Pertiwi² | Ni Made Defi Felicia² | Ni Made Alda Astarini² | I Gusti Ayu Sutari² | Ni Putu Jessica Ayu Anggareni² | Abraham Mulia Tarigan² | Ni Kadek Rheika Adinda Putri² | Putu Rossa Indah Marlina² | Desak Ketut Sakrina Putri² | Rhesia Anandia²

¹Departemen Keperawatan Medikal Bedah, Program Studi Sarjana Keperawatan dan Pendidikan Profesi Ners, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Indonesia

²Program Studi Sarjana Keperawatan dan Pendidikan Profesi Ners, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Indonesia

*korespondensi penulis: prapti.nkg@unud.ac.id

Article History

Received: 01/2026

Revised: 02/2026

Accepted: 03/2026

Abstrak

Latar Belakang: Luka tekan merupakan komplikasi kritis yang berdampak signifikan pada pelayanan kesehatan sekaligus menjadi indikator sensitif kualitas asuhan keperawatan. Perkembangan teknologi sensor dan IoT mulai menawarkan pemantauan real-time yang lebih akurat, namun mayoritas inovasi saat ini masih terbatas pada fungsi deteksi tanpa adanya mekanisme intervensi otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan teknologi pencegahan luka tekan. **Metode:** Penelitian ini merupakan literature review yang mensintesis literatur terkait penggunaan sistem sensor cerdas dan indikator sensitif keperawatan dalam pencegahan luka tekan dengan sumber data dari Scopus, PubMed, dan ScienceDirect (2020-2026). Strategi pencarian menggunakan kata kunci kombinasi Boolean. Seleksi artikel dilakukan melalui screening dengan kriteria inklusi eksklusi kemudian dianalisis secara tematik. **Hasil:** Pengembangan kasur pintar (adaptive smart mattress) yang mengintegrasikan sensor tekanan, suhu, dan kelembaban dengan mekanisme penyesuaian tekanan otomatis menjadi solusi pencegahan luka tekan. Teknologi ini mampu mengurangi ketergantungan pada faktor manusia, menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik klinis, serta mengoptimalkan indikator mutu pelayanan keperawatan melalui pencegahan cedera jaringan yang lebih presisi dan berkelanjutan. **Simpulan:** Pengembangan sistem pencegahan pressure injury memerlukan transformasi menuju sistem proaktif dan adaptif. Inovasi kasur pintar berbasis sensor yang mampu melakukan penyesuaian tekanan secara otomatis dan terintegrasi dengan IoT menjadi solusi krusial untuk meminimalisir kesalahan manusia (human error) serta meningkatkan keselamatan pasien.

Kata Kunci: Internet of Things, intervensi otomatis, kasur pintar adaptif, luka tekan, pelayanan keperawatan, sensor tekanan.

Abstract

Background: Pressure ulcers are a critical complication that significantly impacts healthcare services and serves as a sensitive indicator of the quality of nursing care. Advances in sensor and IoT technology are beginning to offer more accurate real-time monitoring, but most current innovations are still limited to detection functions without automated intervention mechanisms. This study aims to analyze the development of pressure ulcer prevention technology. **Methods:** This study is a literature review that synthesizes literature related to the use of intelligent sensor systems and sensitive nursing indicators in pressure ulcer prevention, using data sources from Scopus, PubMed, and ScienceDirect (2020-2026). The search strategy used Boolean keyword combinations. Article selection was conducted through screening with inclusion and exclusion criteria, followed by thematic analysis. **Results:** The development of an adaptive smart mattress that integrates pressure, temperature, and humidity sensors with an automatic pressure adjustment mechanism provides a solution for pressure ulcer prevention. This

*technology can reduce reliance on human factors, bridge the gap between theory and clinical practice, and optimize nursing service quality indicators through more precise and sustainable tissue injury prevention. **Conclusion:** The development of a pressure injury prevention system requires a transformation towards a proactive and adaptive system. The innovation of a sensor-based smart mattress that is capable of automatically adjusting pressure and is integrated with IoT is a crucial solution to minimize human error and improve patient safety.*

Keywords: Adaptive smart mattress, automated intervention, internet of Things, nursing care, pressure injury, pressure sensor

PENDAHULUAN

Pressure ulcer atau luka tekan merupakan salah satu komplikasi yang sering terjadi pada pasien dengan keterbatasan mobilitas, khususnya pada pasien yang menjalani perawatan jangka panjang di rumah sakit. Kondisi ini muncul akibat tekanan yang berlangsung lama pada jaringan tubuh sehingga menyebabkan gangguan perfusi, iskemia jaringan, hingga kerusakan kulit dan jaringan di bawahnya (Zaidi & Sharma, 2024). Kejadian luka tekan tidak hanya berdampak pada kondisi klinis pasien, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan lama rawat inap, biaya perawatan, serta risiko komplikasi lanjutan. Data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI, 2024) menunjukkan prevalensi kasus luka tekan di Indonesia sebesar 15,8%–38,18% akibat tirah baring lama di rumah sakit. Dalam pelayanan kesehatan, kejadian luka tekan digunakan sebagai indikator sensitif keperawatan karena mencerminkan kualitas asuhan keperawatan dan efektivitas strategi pencegahan yang diterapkan.

Berbagai upaya pencegahan luka tekan telah diterapkan dalam praktik klinis, seperti pengkajian risiko, observasi kondisi kulit, penggunaan permukaan penunjang khusus, serta reposisi pasien secara berkala. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas metode tersebut masih menghadapi berbagai keterbatasan dalam implementasinya (Kandula & Muller, 2025). Permukaan penunjang konvensional seperti kasur busa atau kasur tekanan bergantian bekerja dengan prinsip redistribusi tekanan secara pasif sehingga belum mampu menyesuaikan diri secara dinamis terhadap perubahan posisi maupun kondisi fisiologis pasien (Shi et al., 2021). Selain itu, tindakan reposisi pasien yang dilakukan secara manual sangat bergantung pada konsistensi tenaga kesehatan dan sering kali dipengaruhi oleh beban kerja perawat serta keterbatasan jumlah tenaga kesehatan (Taryudi et al., 2025).

Perkembangan teknologi kesehatan dalam beberapa tahun terakhir mendorong munculnya berbagai inovasi berbasis teknologi untuk mendukung pencegahan luka tekan. Sejumlah penelitian mengembangkan sistem pemantauan berbasis sensor tekanan yang mampu mengidentifikasi distribusi tekanan pada tubuh pasien secara lebih akurat. Pendekatan lain memanfaatkan teknologi pressure mapping, integrasi perangkat berbasis Internet of Things (IoT), serta algoritma kecerdasan buatan untuk mendeteksi risiko luka tekan secara dini melalui analisis pola tekanan dan perubahan posisi pasien (Rahayu, 2025). Studi tersebut menunjukkan bahwa teknologi sensor mampu meningkatkan kemampuan pemantauan kondisi pasien secara real-time dan memberikan informasi yang lebih objektif dibandingkan metode observasi konvensional (Park et al., 2026).

Meskipun demikian, sebagian besar inovasi yang dikembangkan dalam penelitian sebelumnya masih berfokus pada fungsi pemantauan dan sistem peringatan dini tanpa disertai mekanisme intervensi otomatis terhadap perubahan kondisi pasien. Dengan kata lain, teknologi yang ada umumnya hanya berfungsi sebagai sistem deteksi, sementara tindakan pencegahan tetap bergantung pada intervensi manual tenaga kesehatan. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kemampuan teknologi dalam mendeteksi risiko dengan kebutuhan klinis untuk melakukan respons cepat terhadap perubahan tekanan yang terjadi pada tubuh pasien (Winkler et al., 2025).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain literature review untuk mensintesis hasil penelitian terkait penggunaan sistem sensor cerdas dan indikator sensitif keperawatan dalam pencegahan *pressure injury*. Pendekatan ini bertujuan memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan teknologi, efektivitas implementasi, serta peluang pengembangan sistem kasur pintar adaptif melalui penelusuran literatur yang dilakukan secara sistematis. Tahapan penelitian meliputi identifikasi literatur, proses penyaringan artikel, penilaian kelayakan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, ekstraksi data, serta sintesis hasil penelitian. Strategi pencarian literatur disusun menggunakan kerangka PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*) untuk memperjelas fokus pertanyaan penelitian, yaitu:

- Population (P): pasien rawat inap atau pasien dengan risiko *pressure injury*.
- Intervention (I): penggunaan sistem sensor cerdas, *smart mattress*, IoT, *pressure mapping*, dan teknologi berbasis kecerdasan buatan.
- Comparison (C): metode konvensional, seperti kasur *alternating pressure*, reposisi manual, atau pemantauan klinis rutin.
- Outcome (O): peningkatan deteksi dini, penurunan kejadian *pressure injury*, peningkatan efektivitas pencegahan, dan peningkatan mutu pelayanan keperawatan.

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada database Scopus, PubMed, dan ScienceDirect dengan rentang publikasi Januari 2020 hingga Juni 2026. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean sebagai berikut:

("pressure injury" OR "pressure ulcer" OR "bed sore") AND ("smart mattress" OR "intelligent sensor" OR "pressure sensor" OR "pressure mapping" OR "Internet of Things" OR IoT OR "artificial intelligence" OR "machine learning") AND ("nursing-sensitive indicators" OR nursing OR prevention)

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel yang membahas teknologi berbasis sensor, IoT, *smart mattress*, atau kecerdasan buatan dalam pencegahan *pressure injury*; (2) penelitian yang mengevaluasi efektivitas teknologi terhadap pencegahan *pressure injury* atau indikator sensitif keperawatan; (3) desain penelitian berupa studi eksperimental, observasional, pengembangan sistem, studi kasus, maupun *literature review*; (4) artikel berbahasa Inggris; dan (5) tersedia dalam bentuk *full text*. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak menyajikan data teknis maupun klinis secara jelas, artikel duplikat, prosiding, editorial, *conference abstract*, serta penelitian yang hanya membahas *pressure injury* tanpa melibatkan solusi berbasis teknologi.

Proses seleksi artikel dilakukan mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020). Artikel diseleksi berdasarkan judul, abstrak, dan teks lengkap sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Dari proses tersebut diperoleh tujuh artikel yang memenuhi seluruh kriteria dan selanjutnya dianalisis dalam penelitian ini. (lihat diagram 1.)

Data dari artikel yang terpilih kemudian diekstraksi ke dalam tabel ringkasan yang mencakup identitas penulis, tahun publikasi, tujuan penelitian, jenis teknologi atau sensor yang digunakan (misalnya sensor tekanan, *pressure mapping*, IoT, atau AI), metode penelitian, algoritma yang diterapkan (*machine learning*, *neural network*, *support vector machine*), serta temuan utama mengenai efektivitas sistem dalam pencegahan *pressure injury*. Selanjutnya dilakukan analisis tematik naratif (*narrative thematic synthesis*) untuk mengidentifikasi pola perkembangan teknologi, keunggulan dan keterbatasan masing-masing sistem, serta keterkaitannya dengan indikator sensitif keperawatan dan mutu pelayanan klinis. Penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etik karena menggunakan data sekunder yang berasal dari artikel ilmiah yang telah dipublikasikan secara terbuka.

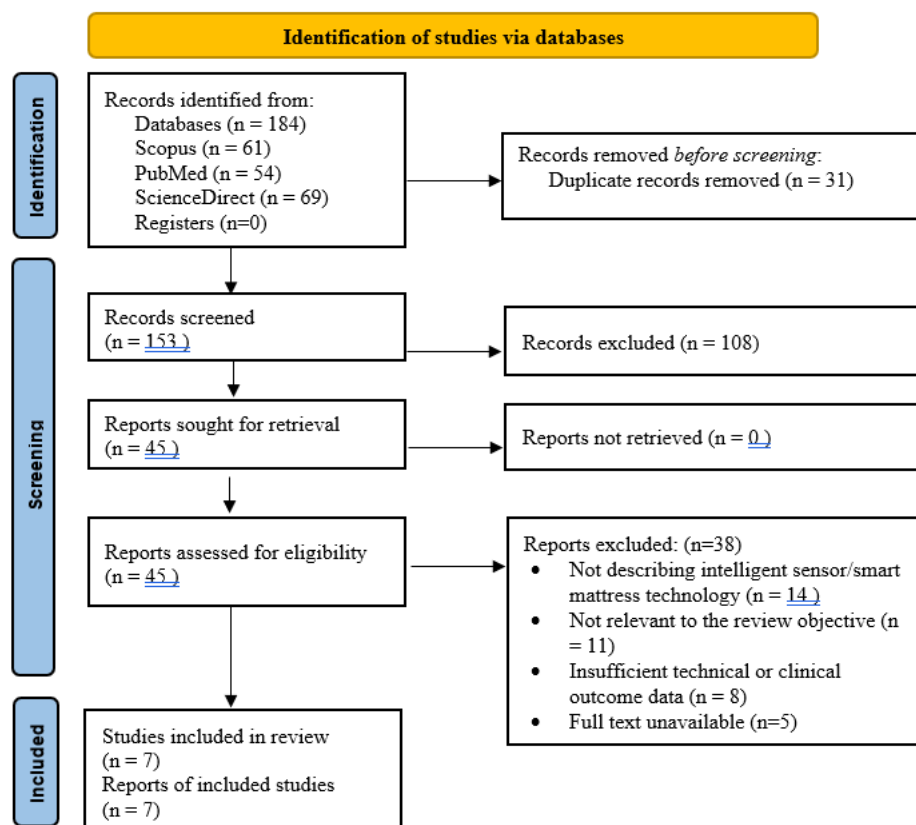


Diagram 1. Diagram Prisma

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tujuh artikel penelitian menunjukkan bahwa perkembangan teknologi dalam pencegahan luka tekan mengarah pada pemanfaatan sistem berbasis sensor yang terintegrasi pada permukaan tempat tidur pasien. Sebagian besar penelitian melaporkan bahwa penggunaan sensor tekanan, sistem pemetaan tekanan (pressure mapping), serta integrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) mampu meningkatkan kemampuan dalam memantau distribusi tekanan dan posisi pasien secara lebih akurat dan berkelanjutan. Selain itu, beberapa studi juga mengembangkan pendekatan berbasis machine learning dalam mendukung deteksi dini risiko terjadinya luka tekan. Namun demikian, dari keseluruhan artikel yang dianalisis, beberapa sistem yang dikembangkan masih berfokus pada fungsi pemantauan dan pemberian peringatan, serta belum sepenuhnya mampu memberikan respons secara otomatis terhadap perubahan kondisi pasien.

Berdasarkan hasil telaah literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penerapan teknologi yang digunakan saat ini, baik pada sistem berbasis sensor maupun pada penggunaan kasur konvensional seperti alternating pressure mattress. Kasur konvensional pada dasarnya hanya berfungsi dalam redistribusi tekanan secara pasif dan belum mampu mencegah terjadinya luka tekan secara optimal, karena masih bergantung pada tindakan reposisi manual oleh tenaga kesehatan. Di sisi lain, meskipun sistem berbasis sensor telah menunjukkan perkembangan yang signifikan, sebagian besar inovasi masih terbatas pada tahap deteksi dan belum terintegrasi dengan mekanisme intervensi otomatis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang ada belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan klinis dalam pencegahan luka tekan yang efektif. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut berupa kasur pintar berbasis sensor yang mampu melakukan pemantauan secara kontinu, analisis risiko secara prediktif, serta penyesuaian tekanan secara otomatis guna meningkatkan efektivitas pencegahan luka tekan dan mutu pelayanan keperawatan.

Jika ditinjau lebih lanjut berdasarkan masing-masing artikel yang dianalisis, terlihat adanya variasi dalam tingkat pengembangan teknologi yang digunakan. Sebagian penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan masih berfokus pada fungsi pemantauan dan deteksi risiko, seperti pada studi yang menggunakan pressure mapping dan sensor tekanan, di mana sistem hanya memberikan informasi dan peringatan tanpa disertai kemampuan intervensi otomatis. Di sisi lain, beberapa penelitian telah mengarah pada pengembangan sistem yang lebih adaptif dengan memanfaatkan pendekatan machine learning dan kecerdasan buatan, yang memungkinkan analisis risiko secara lebih prediktif serta pemantauan kondisi pasien secara real-time. Namun demikian, implementasi teknologi tersebut masih terbatas pada tahap uji coba dan belum sepenuhnya diterapkan dalam setting klinis secara luas. Selain itu, jika dibandingkan dengan pendekatan konvensional seperti penggunaan alternating pressure mattress, terlihat bahwa metode tersebut masih bersifat pasif dan bergantung pada intervensi manual, sehingga efektivitasnya dalam pencegahan luka tekan belum optimal. Perbedaan ini menunjukkan adanya kesenjangan antara sistem konvensional dan teknologi berbasis sensor modern, khususnya dalam hal kemampuan

respons terhadap perubahan kondisi pasien secara dinamis. Uraian lebih rinci mengenai masing-masing artikel yang dianalisis disajikan pada Tabel 1.

Literatur yang dianalisis memaparkan bahwa pemanfaatan sistem monitoring *support surface* konvensional masih mempunyai sejumlah keterbatasan yang signifikan. Pemantauan kondisi pasien secara umum masih dilaksanakan dengan manual melalui tindakan observasi visual pada kondisi kulit dan melakukan reposisi berkala, tanpa adanya data objektif pendukung yang dapat memberikan gambaran terkait distribusi tekanan, perubahan suhu, maupun kelembaban secara real-time. Pendekatan secara manual bergantung pada tingkat ketelitian dan ketersediaan tenaga perawat, sehingga hal ini menimbulkan risiko terjadinya keterlambatan dalam deteksi tanda awal kerusakan jaringan. Sejumlah studi juga memaparkan bahwa melalui adanya beban kerja yang tinggi, keterbatasan waktu, serta jumlah SDM yang sedikit menyebabkan sejumlah tindakan perawatan tidak terlaksana secara optimal dan sebagian kebutuhan pasien berpotensi terlewatkan. Tindakan monitoring yang tidak dilaksanakan secara kontinu memiliki potensi menjadi penyebab terlewatnya periode kritis terjadinya tekanan berkepanjangan pada area tonjolan tulang. Kondisi ini menjadi lebih kompleks pada pasien berisiko tinggi, seperti pasien di unit perawatan intensif, pasien pasca operasi, dan pasien dengan imobilisasi jangka panjang yang tidak mampu mengubah posisi tubuh secara mandiri. Dalam konteks ini, sistem berbasis sensor modern menunjukkan keunggulan karena mampu melakukan deteksi gerakan halus, perubahan posisi, serta pemantauan kondisi secara real-time dengan kecepatan tinggi dan akurasi yang baik, sehingga memungkinkan identifikasi dini terhadap risiko cedera tekan.

Keterbatasan pada sistem konvensional juga mencerminkan belum terintegrasinya proses monitoring dengan sistem pendukung keputusan klinis. Tidak adanya data kontinu menyebabkan tenaga kesehatan sulit menentukan waktu reposisi yang tepat, mengevaluasi efektivitas intervensi, maupun memprioritaskan pasien dengan risiko tertinggi. Dampak dari kondisi tersebut terlihat pada masih tingginya angka kejadian *pressure injury*, lamanya masa rawat, meningkatnya biaya pelayanan, serta belum optimalnya pencapaian indikator mutu keperawatan, khususnya pada aspek keselamatan pasien dan pencegahan komplikasi selama perawatan. Keterbatasan *support surface* konvensional merupakan salah satu permasalahan utama dalam pencegahan *pressure injury* yang banyak disoroti dalam literatur. Dalam praktik klinis, kasur bertekanan rendah atau kasur busa khusus digunakan sebagai intervensi standar untuk mendistribusikan tekanan pada tubuh pasien. Namun, pendekatan ini dinilai belum sepenuhnya efektif karena masih mengandalkan prinsip distribusi tekanan secara statis atau semi-dinamis, tanpa mempertimbangkan perubahan kondisi pasien secara kontinu (Moore & Patton, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa intervensi berbasis *support surface* konvensional masih memiliki keterbatasan dalam mengakomodasi kompleksitas mekanisme terjadinya *pressure injury*.

Tabel 1. Deskripsi Hasil Analisis Artikel

No.	Studi	Tujuan Studi	Metode/Teknik	Temuan Utama
1.	<i>A Review of Intelligent Sensor-Based Systems for Pressure Ulcer Prevention</i>	Mengidentifikasi dan menganalisis perkembangan sistem berbasis sensor dalam pencegahan luka tekan	<i>Literature review</i> terhadap berbagai penelitian terkait penggunaan sensor, pressure mapping, dan algoritma deteksi	Hasil kajian menunjukkan bahwa sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berfokus pada pemantauan dan deteksi risiko luka tekan dengan pendekatan berbasis alert. Namun, sistem tersebut belum dilengkapi dengan kemampuan adaptasi otomatis terhadap perubahan kondisi pasien, sehingga belum mampu memberikan intervensi secara real time.
2.	<i>Smart Monitoring Pad for Prediction of Pressure Ulcers with an Automatically Activated Integrated Electro-Therapy System</i>	Mengembangkan sistem pemantauan dan prediksi risiko luka tekan yang terintegrasi dengan intervensi terapi otomatis	Sensor tekanan, algoritma machine learning, serta sistem terapi elektrik terintegrasi	Sistem menunjukkan potensi dalam mendeteksi risiko luka tekan secara dini dan memberikan intervensi awal berbasis data, namun implementasinya masih terbatas pada skala uji dan belum menunjukkan kemampuan adaptasi secara dinamis
3.	<i>Smart-bed with Internet of Things for Pressure Ulcer</i>	Mengembangkan tempat tidur pintar berbasis IoT untuk pemantauan kondisi pasien secara kontinu	Integrasi sensor tekanan dengan sistem <i>Internet of Things</i> untuk pemantauan real-time	Sistem mampu memantau distribusi tekanan dan kondisi pasien secara berkelanjutan, namun belum dilengkapi dengan mekanisme intervensi otomatis sehingga masih bergantung pada tindakan manual tenaga kesehatan
4.	<i>Incidence of Pressure Injuries in Patients at Risk Using a Powered Alternating Pressure Air Mattress</i>	Mengevaluasi efektivitas penggunaan kasur alternating pressure dalam pencegahan luka tekan pada pasien berisiko	Studi klinis dengan pendekatan observasional pada pasien yang menggunakan kasur tekanan bergantian	Penggunaan kasur alternating pressure membantu redistribusi tekanan pada area tubuh berisiko, namun belum efektif dalam mencegah kejadian luka tekan secara menyeluruh. Selain itu, penggunaannya masih memerlukan intervensi reposisi manual oleh tenaga kesehatan, sehingga menunjukkan bahwa permukaan penunjang konvensional masih bersifat pasif dan belum mampu beradaptasi secara dinamis terhadap kondisi pasien
5.	<i>Design and Implementation of an Intelligent Medical Mattress System</i>	Mengembangkan sistem kasur pintar untuk mendeteksi distribusi tekanan dan posisi pasien	Perancangan sistem berbasis sensor tekanan dengan analisis distribusi tekanan tubuh	Sistem mampu mengidentifikasi distribusi tekanan dan area tubuh berisiko secara akurat serta memberikan informasi secara real time. Namun, sistem masih terbatas pada fungsi pemantauan dan belum dilengkapi dengan mekanisme penyesuaian tekanan secara otomatis, sehingga belum sepenuhnya mampu menggantikan intervensi manual dalam pencegahan luka tekan

No.	Studi	Tujuan Studi	Metode/Teknik	Temuan Utama
6.	<i>Can a prolonged healing pressure injury be benefited by using an AI mattress? A case study</i>	Menganalisis efektivitas penggunaan kasur berbasis kecerdasan buatan (AI mattress) dalam penanganan luka tekan	Studi kasus klinis dengan pemantauan tekanan secara real-time dan analisis kondisi luka	Penggunaan kasur berbasis kecerdasan buatan memungkinkan pemantauan tekanan secara kontinu serta analisis kondisi pasien secara real-time, sehingga berpotensi meningkatkan efektivitas pencegahan dan penanganan luka tekan. Hal ini menunjukkan adanya keunggulan sistem adaptif dibandingkan kasur konvensional yang tidak memiliki kemampuan respons otomatis terhadap perubahan kondisi pasien
7.	<i>A novel in-bed body posture monitoring for decubitus ulcer prevention using body pressure distribution mapping</i>	Mengembangkan sistem pemantauan posisi pasien berbasis distribusi tekanan untuk pencegahan luka tekan	Sistem pressure mapping dengan analisis distribusi tekanan tubuh pasien	Sistem mampu mengidentifikasi posisi pasien dan distribusi tekanan pada area tubuh berisiko secara akurat, namun masih terbatas pada fungsi deteksi tanpa disertai mekanisme intervensi otomatis. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa sistem monitoring saja belum memadai dalam mencegah luka tekan tanpa adanya penyesuaian tekanan secara langsung

Salah satu kelemahan utama dari *support surface* konvensional adalah sifatnya yang pasif, di mana sistem hanya bekerja sebagai media distribusi tekanan tanpa adanya kemampuan untuk memantau maupun merespons perubahan tekanan secara langsung. Padahal, tekanan pada jaringan tubuh pasien tidak bersifat konstan, melainkan berubah seiring dengan pergerakan mikro, perubahan posisi, maupun kondisi fisiologis pasien. Tanpa adanya sistem yang mampu mendeteksi perubahan tersebut, tekanan berlebih pada area tertentu dapat berlangsung dalam durasi yang lama dan meningkatkan risiko terjadinya iskemia jaringan (Lovegrove et al., 2023). Lebih lanjut, studi menunjukkan bahwa distribusi tekanan pada tubuh pasien bersifat dinamis dan dapat berubah dalam waktu singkat. Penggunaan teknologi seperti *continuous bedside pressure mapping system* mampu mengidentifikasi fluktuasi tekanan secara *real-time*, yang seringkali tidak dapat dideteksi melalui pendekatan konvensional (Ho et al., 2023). Hal ini menegaskan bahwa *support surface* konvensional yang tidak adaptif terhadap perubahan tekanan berpotensi menyebabkan akumulasi tekanan yang tidak terdeteksi, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kerusakan jaringan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kelemahan utama *support surface* konvensional terletak pada sifatnya yang pasif dan tidak adaptif, sehingga belum mampu memberikan perlindungan optimal terhadap jaringan pasien. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih inovatif dan berbasis teknologi yang mampu melakukan pemantauan serta penyesuaian tekanan secara kontinu sesuai dengan kondisi pasien.

Selain keterbatasan teknologi, pencegahan *pressure injury* juga sangat bergantung pada intervensi reposisi manual yang dilakukan oleh tenaga keperawatan. Reposisi pasien secara berkala merupakan salah satu strategi utama yang direkomendasikan dalam berbagai pedoman klinis untuk mengurangi durasi tekanan pada area tertentu. Namun, efektivitas intervensi ini sangat dipengaruhi oleh konsistensi pelaksanaannya di lapangan (Moore & Patton, 2021). Dalam praktik klinis, pelaksanaan reposisi seringkali menghadapi berbagai hambatan, terutama yang berkaitan dengan beban kerja perawat. Tingginya jumlah pasien, kompleksitas kondisi klinis, serta keterbatasan jumlah tenaga menyebabkan tindakan reposisi tidak selalu dilakukan sesuai dengan jadwal yang direkomendasikan. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan beban kerja perawat berkorelasi dengan meningkatnya kejadian *missed nursing care*, termasuk dalam tindakan dasar seperti reposisi pasien (Dall'Ora et al., 2022). Selain faktor beban kerja, kepatuhan terhadap protokol juga menjadi tantangan tersendiri dalam pelaksanaan reposisi. Variasi tingkat kepatuhan antar tenaga kesehatan dapat menyebabkan ketidakkonsistenan dalam penerapan intervensi, sehingga efektivitas pencegahan menjadi tidak optimal. Griffiths et al. (2021) menyatakan bahwa ketidakkonsistenan dalam pelaksanaan intervensi keperawatan berkontribusi terhadap meningkatnya risiko komplikasi yang sebenarnya dapat dicegah, termasuk *pressure injury*. Dengan demikian, ketergantungan yang tinggi terhadap reposisi manual menjadikan sistem pencegahan *pressure injury* sangat bergantung pada faktor manusia. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya variasi praktik serta menurunkan efektivitas intervensi, terutama dalam situasi dengan keterbatasan sumber daya tenaga keperawatan.

Berbagai pedoman internasional telah memberikan rekomendasi yang komprehensif terkait pencegahan *pressure injury*, termasuk penggunaan teknologi pendukung, pemantauan tekanan secara kontinu, serta intervensi yang bersifat individualisasi. Secara teoritis, pendekatan ini diharapkan mampu menurunkan angka kejadian luka tekan secara signifikan. Namun, dalam praktiknya, implementasi rekomendasi tersebut masih belum optimal di berbagai fasilitas pelayanan kesehatan (Moore & Patton, 2021). Kesenjangan antara teori dan praktik ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti keterbatasan fasilitas, kurangnya integrasi teknologi dalam sistem pelayanan, serta kesiapan sumber daya manusia dalam mengadopsi inovasi baru. Banyak fasilitas kesehatan yang masih mengandalkan metode konvensional karena keterbatasan biaya maupun infrastruktur, sehingga belum mampu mengimplementasikan pendekatan berbasis teknologi secara maksimal (Lovegrove et al., 2023).

Selain itu, kurangnya pelatihan dan pemahaman tenaga kesehatan terhadap teknologi baru juga menjadi hambatan dalam penerapan praktik berbasis bukti. Meskipun pedoman telah tersedia, tanpa dukungan sistem yang memadai, implementasi di lapangan menjadi tidak konsisten. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi ideal yang dijelaskan dalam literatur dengan realitas praktik klinis sehari-hari (Griffiths et al., 2021). Oleh karena itu, kesenjangan antara teori dan praktik menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi efektivitas pencegahan *pressure injury*. Tanpa adanya upaya untuk menjembatani kesenjangan ini, strategi yang telah terbukti efektif dalam literatur tidak akan memberikan dampak yang optimal dalam praktik klinis.

Kejadian *pressure injury* telah lama digunakan sebagai salah satu indikator mutu keperawatan yang mencerminkan kualitas asuhan dan keselamatan pasien. Tingginya angka kejadian luka tekan dalam suatu fasilitas pelayanan kesehatan menunjukkan adanya ketidakefektifan dalam sistem pencegahan yang diterapkan (European Pressure Ulcer Advisory Panel, 2023). Oleh karena itu, keberhasilan dalam menurunkan angka kejadian *pressure injury* menjadi salah satu tolok ukur penting dalam evaluasi mutu pelayanan keperawatan. Dalam konteks ini, keterbatasan *support surface* konvensional, ketergantungan pada reposisi manual, serta kesenjangan antara teori dan praktik secara langsung berkontribusi terhadap tingginya angka kejadian luka tekan. Ketika intervensi yang dilakukan tidak optimal, risiko terjadinya *pressure injury* akan meningkat, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan kualitas pelayanan keperawatan (Lovegrove et al., 2023).

Selain berdampak pada kualitas pelayanan, tingginya angka kejadian *pressure injury* juga berkaitan dengan peningkatan lama rawat, biaya perawatan, serta risiko komplikasi pada pasien. Hal ini menunjukkan bahwa *pressure injury* bukan hanya masalah klinis, tetapi juga merupakan indikator sistemik yang mencerminkan efektivitas keseluruhan pelayanan kesehatan (Moore & Patton, 2021). Dengan demikian, tingginya angka kejadian *pressure injury* dapat diinterpretasikan sebagai indikator bahwa mutu pelayanan keperawatan masih belum optimal. Kondisi ini menegaskan pentingnya pengembangan strategi pencegahan yang lebih efektif, adaptif, dan berbasis teknologi guna meningkatkan kualitas asuhan keperawatan serta keselamatan pasien secara keseluruhan.

Berdasarkan identifikasi mendalam terhadap berbagai keterbatasan pada penggunaan *support surface* konvensional, terlihat adanya kebutuhan mendesak akan inovasi yang mampu mentransformasi sistem pasif menjadi sistem proaktif dalam manajemen integritas kulit. Dalam konteks pelayanan rawat inap, literatur mengenai *facilitators and barriers* sering kali menyoroti bahwa hambatan utama asuhan berkualitas bukanlah kurangnya kemauan staf, melainkan beban kerja yang berlebihan, kurangnya integrasi teknologi, dan tidak adanya data *real-time* untuk pengambilan keputusan. Oleh karena itu, pengembangan *adaptive smart mattress* berbasis teknologi sensor hadir sebagai solusi yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga sistemik. Melalui penggunaan *pressure mapping sensor*, sistem ini mampu menjawab tantangan objektivitas dalam pemantauan tekanan antarmuka secara berkelanjutan. Ketidakmampuan mata manusia untuk melihat akumulasi tekanan di bawah tubuh pasien kini digantikan oleh visualisasi data presisi tinggi, yang diperkuat dengan sensor suhu dan kelembaban untuk memantau iklim mikro kulit secara konstan sebuah parameter kritis yang selama ini sering terabaikan dalam prosedur konvensional.

Lebih jauh lagi, integrasi sistem adaptif pada kasur ini bertindak sebagai fasilitator utama dalam mengatasi keterbatasan sumber daya manusia yang menjadi hambatan kronis di lingkungan rumah sakit. Teknologi ini memungkinkan terjadinya penyesuaian tekanan mekanis secara otomatis dan mandiri (*autonom*) yang merespons perubahan posisi atau kondisi klinis pasien tanpa harus menunggu intervensi fisik dari perawat. Dengan demikian, ketergantungan pada protokol reposisi manual setiap dua jam—yang sering kali sulit dipatuhi secara konsisten akibat tingginya rasio pasien dan kompleksitas tugas perawat—dapat diminimalkan. Inovasi ini menciptakan lingkungan perawatan yang lebih responsif dan mandiri, mengurangi risiko kelalaian manusia (*human error*), serta memastikan bahwa setiap titik tekan mendapatkan redistribusi beban yang optimal secara instan. Dalam aspek koordinasi asuhan, penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada kasur adaptif ini berperan penting dalam meruntuhkan hambatan komunikasi informasi antara pasien dan tenaga medis. Melalui sistem sensor yang terhubung, data kondisi pasien dapat ditransmisikan secara langsung ke dasbor digital yang dapat diakses oleh perawat di stasiun sentral. Hal ini memungkinkan terciptanya sistem peringatan dini atau *early warning system* melalui notifikasi otomatis jika terdapat area tubuh pasien yang mengalami peningkatan risiko kerusakan jaringan. Secara keseluruhan, implementasi sistem kasur adaptif berbasis sensor ini diharapkan menjadi jawaban atas tantangan dalam literatur *review* mengenai keterbatasan permukaan pendukung statis. Inovasi ini tidak hanya berfokus pada pencegahan luka tekan secara fisik, tetapi juga bertujuan meningkatkan indikator mutu keperawatan secara holistik, meliputi peningkatan keselamatan pasien, optimalisasi efisiensi kerja tenaga kesehatan, hingga penurunan angka mortalitas dan morbiditas akibat cedera tekanan di rumah sakit.

Hasil tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi pencegahan *pressure injury* perlu diarahkan pada sistem yang tidak hanya mampu mendeteksi risiko, tetapi juga melakukan respons adaptif secara otomatis. Temuan ini memberikan implikasi bagi praktik keperawatan, yaitu pentingnya integrasi teknologi berbasis sensor, *Internet of*

Things (IoT), dan kecerdasan buatan dalam mendukung pengambilan keputusan klinis serta mengurangi ketergantungan terhadap reposisi manual. Selain itu, kajian ini menjadi dasar konseptual bagi pengembangan adaptive smart mattress yang mampu meningkatkan keselamatan pasien, efisiensi kerja perawat, serta pencapaian indikator mutu pelayanan keperawatan melalui pemantauan tekanan secara real-time dan penyesuaian tekanan yang bersifat otomatis.

Tinjauan literatur ini memiliki beberapa kelebihan. Pertama, kajian tidak hanya membandingkan teknologi konvensional dan teknologi berbasis sensor, tetapi juga mengidentifikasi kesenjangan antara sistem deteksi dan sistem intervensi otomatis yang masih jarang dibahas secara komprehensif. Kedua, artikel yang dianalisis mencakup berbagai pendekatan teknologi, seperti pressure mapping, Internet of Things (IoT), machine learning, dan artificial intelligence, sehingga memberikan gambaran perkembangan teknologi pencegahan pressure injury secara lebih menyeluruh. Ketiga, hasil sintesis menghasilkan konsep pengembangan adaptive smart mattress sebagai arah inovasi yang relevan dengan kebutuhan praktik klinis dan peningkatan mutu pelayanan keperawatan.

Tinjauan literatur ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah artikel yang dianalisis masih terbatas sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan seluruh perkembangan teknologi pencegahan pressure injury. Selain itu, sebagian besar penelitian yang ditelaah masih berada pada tahap pengembangan prototipe atau uji coba sehingga bukti efektivitas implementasi pada praktik klinis jangka panjang masih terbatas. Kajian ini juga belum melakukan analisis kuantitatif, seperti meta-analisis, sehingga belum dapat mengukur besarnya efektivitas masing-masing teknologi secara statistik. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan literatur yang lebih luas serta uji klinis terhadap adaptive smart mattress untuk memperkuat bukti ilmiah mengenai efektivitas, efisiensi biaya, dan implementasinya di berbagai fasilitas pelayanan kesehatan.

SIMPULAN

Pengembangan sistem pencegahan *pressure injury* perlu beralih dari pendekatan pasif menjadi sistem yang proaktif, adaptif, dan terintegrasi. Meskipun teknologi berbasis sensor, pemetaan tekanan, dan IoT telah meningkatkan kemampuan deteksi, sebagian besar masih terbatas pada pemantauan tanpa intervensi otomatis. Sementara itu, penggunaan kasur konvensional dan reposisi manual masih kurang optimal karena bersifat tidak adaptif dan bergantung pada faktor manusia.

Kasur pintar adaptif berbasis sensor menjadi solusi yang menjanjikan melalui pemantauan real-time, prediksi risiko, dan penyesuaian tekanan otomatis untuk meningkatkan keselamatan pasien dan mutu pelayanan keperawatan. Penelitian selanjutnya perlu berfokus pada pengembangan serta uji klinis sistem ini, termasuk evaluasi efektivitas biaya, kemudahan implementasi, penerimaan pengguna, integrasi dengan rekam medis elektronik, dan pengembangan algoritma *machine learning* yang lebih akurat agar dapat diterapkan secara luas dalam praktik klinis.

DAFTAR PUSTAKA

- European Pressure Ulcer Advisory Panel, National Pressure Injury Advisory Panel, & Pan Pacific Pressure Injury Alliance. (2023). *Prevention and treatment of pressure ulcers/injuries: Clinical practice guideline*. <https://www.internationalguideline.com>
- Jackson, D., Sarki, A. M., Betteridge, R., & Brooke, J. (2023). Pressure injury prevention: A systematic review of nursing interventions and outcomes. *International Journal of Nursing Studies*, 137, 104391. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2022.104391>
- Kandula, S., & Muller, R. (2025). Barriers to pressure injury prevention and associated factors among critical care nurses. *Springer Medizin*, 1(1), 15–24. <https://www.springermedizin.de/barriers-to-pressure-injury-prevention-and-associated-factors-am/51604126>
- Lane, B., Loftus, N. W., Thomas, A., Kalakoutas, A., & Wells, J. (2024). Effectiveness of specialised support surface modes in preventing pressure injuries in intensive care: A systematic review and meta-analysis. *Intensive and Critical Care Nursing*, 83, 103713. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2024.10371>
- Lovegrove, J., Fullbrook, P., & Miles, S. (2022). Pressure injury prevention practices among nurses: An integrative review. *Journal of Clinical Nursing*, 31(15–16), 2151–2165. <https://doi.org/10.1111/jocn.16032>
- Meaume, S., Urbinelli, R., & Marty, M. (2024). Incidence of pressure injuries in patients at risk using a powered alternating pressure air mattress. *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*, 51(5), 382–388. <https://doi.org/10.1097/won.0000000000001104>
- Ni, T. F., Wang, J., Chen, C., Shih, D. F., & Wang, J. (2024). Can a prolonged healing pressure injury be benefited by using an AI mattress? A case study. *BMC Geriatrics*, 24(1), 307. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04900-x>
- Park, J., et al. (2026). Effects of nursing interventions for pressure injury prevention using real-time pressure mapping. *PubMed Central (PMC)*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13023146/>
- Rahayu, S. (2025). The effect of smart bed on pressure ulcer prevention among patients with stroke in West Java, Indonesia. *The Malaysian Journal of Nursing*, 16(2), 30–38. <https://doi.org/10.31674/mjn.2025.v16isupp2.004>
- Saleh, Z. S., Al-Neami, A. Q., & Raad, H. K. (2021). Smart Monitoring Pad for Prediction of Pressure Ulcers with an Automatically Activated Integrated Electro-Therapy System. *Designs*, 5(3), 47. <https://doi.org/10.3390/designs5030047>
- Shi, C., Dumville, J. C., Cullum, N., Rhodes, S., Jammali-Blasi, A., & McInnes, E. (2021). Alternating pressure (active) air surfaces for preventing pressure ulcers. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5), CD013620. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013620.pub2>
- Shi, C., Dumville, J. C., Cullum, N., Rhodes, S., & McInnes, E. (2021). Foam surfaces for preventing pressure ulcers. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5), CD013621. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013621.pub2>

- Silva, A., Metrôlho, J., Ribeiro, F., Fidalgo, F., Santos, O., & Dionisio, R. (2021). A review of Intelligent Sensor-Based Systems for Pressure Ulcer Prevention. *Computers*, 11(1), 6. <https://doi.org/10.3390/computers11010006>
- Stern, L., Fernie, G., & Fekr, A. R. (2024). A novel in-bed body posture monitoring for decubitus ulcer prevention using body pressure distribution mapping. *BioMedical Engineering OnLine*, 23(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s12938-024-01227-x>
- Tak, S. H., Choi, H., Lee, D., Song, Y. A., & Park, J. (2023). Nurses' Perceptions About Smart Beds in Hospitals. *Computers, informatics, nursing : CIN*, 41(6), 394–401. <https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000949>
- Taryudi, Lindayani, L., & Mutiar, A. (2025). The effect of smart bed on pressure ulcer prevention among patients with stroke in West Java, Indonesia. *The Malaysian Journal of Nursing*, 16, 30–38. <https://doi.org/10.31674/mjn.2025.v16isupp2.004>
- Taryudi, T., Lindayani, L., & Darmawati, I. (2022). Smart-bed with Internet of Things for Pressure Ulcer. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(A), 90–94. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.7876>
- Winkler, A., Pallauf, M., Krutter, S., Kutschar, P., Osterbrink, J., & Nestler, N. (2025). Pencegahan jatuh dan luka tekan berbasis sensor: Tinjauan cakupan. *Jurnal internasional informatika medis*, 199, 105878. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2025.105878>
- Xu, B. (2024). Design and implementation of an intelligent medical mattress system. *Applied and Computational Engineering*, 92(1), 107–114. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/92/20241731>
- Zaidi, S. R. H., & Sharma, S. (2024, January 3). Pressure ulcer. *StatPearls Publishing*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553050/>