

IDENTIFIKASI ALAT DIAGNOSTIK UNTUK MENILAI LUKA KRONIS: SCOPING REVIEW

Nurnianingsih A. Yasin¹⁾, Saldy Yusuf^{2)*}

¹⁾ Fakultas Olahraga dan Kesehatan, Universitas Negeri Gorontalo

²⁾ Fakultas Keperawatan, Universitas Hasanuddin Makassar

Jl. Jend. Sudirman No.6, Kota tengah, Kota Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

*E-mail korespondensi : saldy_yusuf@yahoo.com

ABSTRAK

Jutaan orang mengalami luka kronis di seluruh dunia, yang memberikan tekanan yang luar biasa pada sumber daya yang tersedia untuk layanan kesehatan. Meskipun terdapat kemajuan besar dalam perawatan luka, namun hanya sedikit kemajuan dalam diagnostic luka. Dengan melakukan tinjauan pelingkupan, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi alat diagnostik yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis di Klinik dan Rumah Sakit. Kami mengikuti rekomendasi JBI dan daftar periksa PRISMA-ScR dengan menggunakan Kerangka Kerja Tinjauan Cakupan oleh Arksey dan O'Malley. Pencarian literature dilakukan di lima database, dari 362 studi yang diperiksa, terdapat 6 studi yang memenuhi kriteria untuk ditinjau. Hasil menunjukkan bahwa terdapat beberapa alat diagnostik non-invasif yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis secara *real time*. Termasuk, alat diagnostik *non-contact device* dan *rapid enzim analysis* untuk menilai infeksi luka kronis, *Optical coherence tomography*, *non-contact infrared optical*, alat diagnostik dengan pencitraan *hiperspektral* dan *Autofluorescence*. Tinjauan pelingkupan ini memberikan pemahaman terkait beberapa alat diagnostik non-invasif yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis yang mempermudah untuk mengetahui hasil pemeriksaan lebih cepat dan tergolong mudah. Disarankan agar fasilitas pelayanan kesehatan mulai mempertimbangkan penggunaan alat diagnostik non-invasif dalam penilaian luka kronis untuk mempercepat proses diagnosis.

Kata Kunci : Alat Diagnostik, Luka Kronis, Non-invasif.

ABSTRACT

Millions of people experience chronic wounds worldwide, which puts tremendous pressure on the resources available for healthcare. Despite major advances in wound care, there has been little progress in wound diagnostics. By conducting a scoping review, this study aimed to identify diagnostic tools that can be used to assess chronic wounds. We followed the JBI recommendations and PRISMA-ScR checklist using the Scope Review Framework by Arksey and O'Malley. A literature search was conducted in five databases. Of the 362 studies identified, six met the eligibility criteria. The findings demonstrate the availability of multiple non-invasive diagnostic modalities for real time chronic wounds assessment, including non-contact diagnostic devices, rapid enzyme analysis for infection detection, optical coherence tomography, non-contact infrared optics, hyperspectral imaging diagnostic tools, and autofluorescence. This scoping review synthesizes current evidence on these modalities, highlighting their potential to enhance the speed and efficiency of wound elevation. Healthcare facilities are encouraged to integrate these technologies to streamline diagnostic workflows.

Keywords: Chronic Wound, Diagnostic Tool, Non-invasive

A. PENDAHULUAN

Luka kronis dipandang sebagai *silent pandemic* yang merupakan ancaman serius bagi kesehatan pada sebagian besar populasi (Gupta et al., 2021). Luka kronis yang disebabkan oleh luka kaki diabetik, ulkus vena, maupun luka tekan dapat memperlambat proses penyembuhannya, yang menyebabkan luka dapat bertahan selama berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dan membuat pasien rentan terhadap luka yang lebih lanjut (McLister et al., 2016). Diperkirakan sebanyak 4,5 juta kasus luka kronis di konfirmasi di Amerika Serikat dan sekitar 20 juta kasus di seluruh dunia dengan biaya perawatan tahunan diperkirakan lebih dari \$31 miliar (Frykberg & Banks, 2015). Khusus untuk luka kronis *Venous leg ulcer (VLU)* kejadian berkisar antara 0,73 hingga 3,12 per 1000 orang per tahun dilaporkan di Australia, Perancis, Jerman, Italia, Spanyol, Inggris dan Amerika dengan perkiraan beban biaya sebanyak \$5.527 (USD) per orang per tahun (Kolluri et al., 2022). Hingga saat ini luka kronis yang sulit sembuh masih menjadi beban kesehatan utama di seluruh dunia (Olsson et al., 2019). Oleh karena itu sangat dibutuhkan pengkajian yang lebih akurat untuk menurunkan angka kejadian luka kronis.

Mengkaji atau menilai luka sangat penting dilakukan untuk memantau proses penyembuhan luka kronis dan mengevaluasi efek perawatan (Comino-Sanz et al., 2023). Penilaian luka yang kurang tepat dapat menyebabkan manajemen luka yang kurang tepat pula, sehingga dapat menunda penyembuhan dan dapat menimbulkan komplikasi (Greatrex-White & Moxey, 2015). Perkembangan luka kronis menjadi perhatian utama oleh profesional perawatan kesehatan (McLister et al., 2016). Luka kronis biasanya gagal untuk berkembang melalui tahap penyembuhan normal pada waktu yang tepat (Olsson et al., 2019) sehingga luka ini mengalami proses penyembuhan yang kompleks karena menjadi lebih aktif dan rentan terhadap infeksi oleh berbagai macam mikroba serta banyak memiliki sel-sel menua yang dapat menghambat proses penyembuhan (Frykberg & Banks, 2015).

Berbagai penilaian telah dilakukan untuk mendiagnosis luka kronis, antara lain adalah pengamatan visual berdasarkan alat penilaian luka *Bates-Jensen* (BJWAT) yang sudah digunakan secara internasional dalam praktik klinis (Bates-Jensen et al., 2019), *Pressure Ulcer Scale for Healing (PUSH)* (Choi et al., 2016), *Wagner's Classification Tool* (Stang & Young, 2018), dan *DESIGN-R tool* (Sanada et al., 2011). Namun beberapa pengkajian luka non diagnostik ini masih memiliki beberapa kekurangan antara lain, tidak cukup untuk menilai semua jenis luka DFU dan infeksi (Stang & Young, 2018), seringkali mengalami kesulitan dalam menilai luka secara akurat termasuk memperkirakan ukuran, kedalaman, dan tampilan luka (Wendland & Taylor, 2017) dan tidak dapat memprediksi kemajuan penyembuhan luka (Li et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan alat penilaian yang lebih akurat untuk membantu mendiagnosis luka.

Alat penilaian diagnostik telah banyak diterapkan dalam mendiagnosis luka sebagai suatu kemajuan dalam pengembangan perawatan luka (Li et al., 2020). Dengan berbagai keterbatasan teknik penilaian luka saat ini, baik penilaian fisik, mikrobiologi ataupun biokimia (Frykberg & Banks, 2015) jelas bahwa alat diagnostik yang cepat, akurat dan serbaguna diperlukan untuk mengidentifikasi dengan cepat berbagai mikroba yang dapat memperburuk luka, dengan memungkinkan diagnosis yang lebih cepat dan akurat, alat diagnostik ini seharusnya dapat menganalisis perkembangan luka secara tepat dan memberikan informasi terkait hal tersebut,

yang akan sangat membantu meningkatkan regenerasi luka (Li et al., 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan lingkup yang bertujuan untuk mengidentifikasi alat diagnostik yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis.

B. METODE PENELITIAN

Gambaran umum mengenai alat diagnostik untuk menilai luka kronis akan dirangkum dalam tinjauan pelingkupan ini berdasarkan informasi dari penelitian sebelumnya. *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis extension for Scoping Reviews (PRISMA-SCR)* digunakan untuk meningkatkan ketepatan pelaporan (Tricco et al., 2018) dan pedoman Kerangka Kerja Tinjauan Lingkup oleh (Arksey & O'Malley, 2005) digunakan dalam tinjauan ini.

Tahap 1: Mengidentifikasi Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian yang diajukan oleh ulasan pelingkupan ini adalah: Alat diagnostik apa saja yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis baik di klinik maupun di rumah sakit?

Tahap 2: Studi yang Relevan dan Istilah Pencarian

Dalam pencarian literatur ilmiah penulis melakukan penekanan yang difokuskan pada "alat diagnostik luka kronis". Beberapa database digunakan untuk melakukan pencarian yang berhubungan dengan topik yang ingin diulas. Pencarian awal dilakukan untuk mendapatkan judul, abstrak, konten untuk mengidentifikasi istilah dan kata kunci. Kami menggunakan 5 database dalam tinjauan pelingkupan ini yang disajikan pada **tabel 1**.

Tabel 1. Kata Kunci untuk Situs Web Basis Data dan Penerbit

No	Basis Data	Kata Kunci	Artikel	Tanggal Akses
1	Pubmed	(((((diagnostic tool[Title/Abstract]) OR (wound diagnostics[Title/Abstract])) OR (diagnostic imaging[MeSH Terms])) AND (((((((chronic wounds[Title/Abstract]) OR (diabetic wound[Title/Abstract])) OR (varicose ulcer[Title/Abstract])) OR (arterial ulcer[Title/Abstract])) OR (malignant wound[Title/Abstract])) OR (cancer wound[Title/Abstract])) OR (infection wound[Title/Abstract])))) AND (((clinical[Title/Abstract]) OR (clinical study[Title/Abstract])) OR (hospital[Title/Abstract]))	60	December 16, 2022
2	ProQuest	(diagnostic tool OR diagnostic wound) AND (chronic wounds) AND (Clinical OR clinical study)	124	December 16, 2022
3	Wiley	"diagnostic tool OR diagnostic wound OR diagnostic imaging" "chronic wounds" "clinical OR clinical study"	72	December 16, 2022
4	Science Direct	diagnostic tool OR diagnostic wound OR diagnostic imaging AND chronic wound AND clinical	88	December 16, 2022

5 Google
Scholar &
Secondary
Research

24 December 16, 2022

Referensi di mesin pencarian *Google Scholar* dan pencarian sekunder juga dilakukan untuk artikel tambahan yang mungkin saja terlewat dalam pencarian database sebelumnya. Untuk kriteria inklusi dan eksklusi pada tinjauan pelingkupan didasarkan pada model *Population, Concept, Context (PCC)*. Populasi dalam penelitian ini berfokus pada pasien dengan luka kronis, konsepnya adalah alat diagnostik dan konteksnya adalah yang digunakan di klinik atau di rumah sakit. Ulasan studi yang digunakan adalah studi primer termasuk kuantitatif, intervensi, protokol studi, dan studi percobaan. Percobaan yang digunakan pada hewan tidak dimasukkan. Pencarian terbatas pada artikel teks lengkap yang diterbitkan dalam Bahasa Inggris dan dalam rentang 10 tahun terakhir atau 2012 sampai 2022.

Tahap 3: Seleksi Studi

Kendala dan Ekstraksi Studi dari Basis Data

Pada **Gambar 1** adalah proses dan hasil penyaringan, serta kriteria ekstraksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, menggunakan *PRISMA flowchart*. 362 artikel yang diunduh ke manajer referensi *mandeley*, didapatkan 2 duplikasi. Dilanjutkan de-duplikasi di perangkat lunak *Rayyan* dan tidak terdapat duplikasi (Ouzzani, 2017). Artikel yang tidak relevan dengan alat pemeriksaan diagnostik, tidak relevan dengan luka kronis dan tidak sesuai dengan hasil penelitian di eksklusi. 92 artikel disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi selanjutnya diseleksi dengan membaca teks lengkap. Pengambilan sampel judul, abstrak dan teks lengkap menggunakan metode manual *JB* (Joanna Briggs Institute, 2020). Proses seleksi ini menghasilkan 6 artikel yang layak untuk di analisis.

Tahap 4: Pemetaan Data

Data dari setiap literatur diekstraksi untuk di analisis dengan memasukkan informasi penting yang disajikan dalam **tabel 3** dan **tabel 4**.

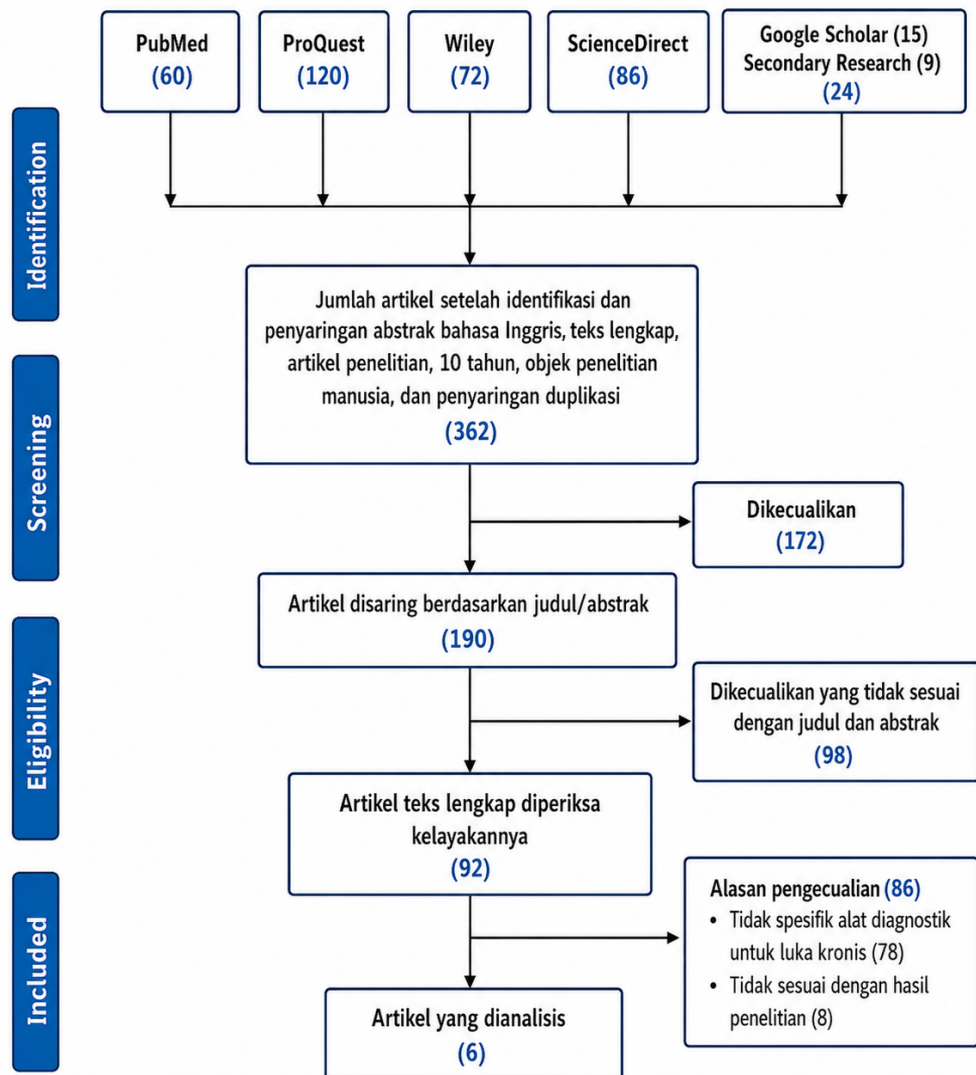
Tahap 5: Menyusun, meringkas dan melaporkan hasil

Berdasarkan panduan (Arksey & O'Malley, 2005), tema kunci yang muncul harus diidentifikasi dan diseleksi, karena proses mengumpulkan dan meninjau beberapa studi mengharuskan penulis untuk membaca dan meninjau sejumlah besar studi sementara hanya sebagian kecil yang dapat dimasukkan untuk laporan akhir. Hasil yang ditemukan dalam beberapa literatur dilaporkan melalui ringkasan naratif.

Pertimbangan Etis

Studi ini dikecualikan dari review oleh *Institutional Review Board for Human Subjects (IRB)*.

Gambar 1. Diagram PRISMA-ScR.



C. HASIL PENELITIAN

Proses pemilihan studi digambarkan dalam diagram alir *PRISMA-ScR* (Gambar 1). Pencarian awal menghasilkan 362 artikel hasil dari 5 database dimasukkan ke dalam perangkat lunak Mendeley, dilakukan penyaringan dan pengecekan duplikasi tersisa 190 artikel yang disaring berdasarkan judul/abstrak. Selanjutnya dilakukan seleksi dengan membaca abstrak dan mengecualikan yang tidak sesuai, tersisa 92 artikel teks lengkap yang akan diperiksa untuk kelayakan. Kemudian selanjutnya mengecualikan artikel yang tidak relevan (tidak spesifik alat diagnostik, tidak spesifik luka kronis dan tidak sesuai dengan hasil penelitian). Pada tahap seleksi ini menghasilkan 6 studi penelitian yang diinklusi dan selanjutnya dianalisis, yang dapat dilihat pada **tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pencarian Sintesis

Judul, penulis, tahun & negara	Metode, Tujuan, Sampel & Nama Alat Diagnostik	Prinsip dan Aplikasi	Kesimpulan
A non-contact device for fast screening of wound infections, Jon Senkowsky, dkk (2021), di USA	Studi kohort observasional double blind, untuk mengevaluasi klinis perangkat untuk mendiagnosis infeksi luka. Yang dilakukan pada (888) balutan luka pasien dengan luka kronis di klinik, dieksklusi (747). Yang layak dan dimasukan ke dalam tes (141). Dengan menggunakan alat <i>DETECT Esterase Device</i>	<i>Detec Esterase</i> , jenis pemeriksaan non-kontak untuk menilai peningkatan aktivitas esterase leukosit pada eksudat luka, dengan menggunakan pembalut luka yang baru dibuang atau dilepas untuk skrining infeksi luka dengan output perangkat (ada dan tidak adanya warna ungu) yang di hasilkan setelah pemeriksaan, dimana warna ungu yang dihasilkan memiliki hubungan langsung dengan keberadaan “enzim” leukosit esterase dalam eksudat luka.	Kelebihan 1. Membantu untuk mendiagnosis infeksi secara cepat (hanya dalam waktu <3 menit) 2. Tidak mengganggu prosedur rutin dalam perawatan luka 3. Dapat digunakan dengan berbagai pembalut luka Kekurangan 1. Tidak mengidentifikasi area dengan luka yang terinfeksi secara langsung.
Rapid enzyme analysis as a diagnostic tool for wound infection: Comparison between clinical	Studi diagnostik, untuk mengevaluasi hubungan diagnostik yang tepat dari enzim <i>MPO</i> , <i>HNE</i> , <i>lisozim</i> dan <i>CatG</i> di bandingkan dengan penyeka luka superfisial. Sampel (95), di eksklusi (14) Yang dimasukan dalam penelitian (81), dengan jenis luka :	Jenis pemeriksaan kadar enzim “ <i>MPO</i> , <i>HNE</i> , <i>lisozim</i> , dan <i>CatG</i> ”, dengan cara mengumpulkan cairan luka menggunakan swab steril. Peningkatan kadar enzim diamati dengan perubahan warna atau transparansi, dimana peningkatan enzim <i>MPO</i> ditandai dengan perubahan dari tidak berwarna menjadi warna merah, dan peningkatan enzim <i>HNE</i> dan <i>CatG</i> ditandai	Kelebihan 1. Keuntungan utama menggunakan enzim dalam mendeteksi infeksi pada luka adalah didasarkan pada respon imun primer terhadap infeksi.

Judul, penulis, tahun & negara	Metode, Tujuan, Sampel & Nama Alat Diagnostik	Prinsip dan Aplikasi	Kesimpulan
judgment, microbiological analysis, and enzyme analysis, Arkes, dkk (2014), di Austria	Ulkus arteri (7) Ulkus vena (2) Ulkus arteri/vena (2) Ulkus kaki diabetes (24) Ulkus traumatis (16) Ulkus Onkologi (2) Ulkus tekanan (10) Luka amputasi (6) Lainnya (12) Dengan menggunakan alat diagnostik Rapid Enzyme Analysis.	dengan perubahan warna menjadi kuning yang diamati pada 5,10,30 dan 180 menit setelah pemindahan cairan luka.	2. Reaksi enzim ditampilkan sebagai reaksi yang terlihat, dan mudah untuk ditafsirkan 3. Memberikan hasil yang cepat (dalam 30 menit) 4. Mudah digunakan di klinik maupun rumah sakit untuk mengurangi kemungkinan pengobatan antibiotik yang kurang atau berlebihan. Kekurangan 1. Tidak memberikan informasi tentang mikroorganisme spesifik yang ada
Evaluation of optical coherence tomography as a non-invasive diagnostic tool in cutaneous wound healing, Kuck, dkk (2014), di Jerman	Studi <i>in vivo</i>, untuk mengetahui apakah OCT cocok untuk menilai fase penyembuhan luka, dengan sampel (6) dengan luka kronis yang diwakili oleh : Ulkus vena kronis (n=3), Pyoderma gangrenosum (n=1) dan vasculitis (n=2). Dengan menggunakan alat pencitraan <i>Optical Coherence Tomography (OCT)</i>	Pemeriksaan Tomografi koherensi optik (OCT) merupakan jenis pemeriksaan yang menghasilkan gambar penampang internal struktur mikro jaringan dengan menggunakan Interferometer Michelson dengan sumber koherensi rendah. Pencitraan OCT dilakukan pada kaki bagian bawah dengan pemantauan harian dilakukan untuk memastikan proses positif penyembuhan luka dari sudut pandang makroskopis, dan setiap hari ketiga dilakukan pemindaian OCT dengan kepala sensor di pasang pada jarak kurang lebih 3 cm diatas luka.	Kelebihan 1. Resolusi tinggi 2. Kecepatan pencitraan yang cepat 3. Cocok untuk memantau proses penyembuhan luka secara non-invasif Kekurangan 1. Kedalaman penetrasi kedalam jaringan terbatas, hanya terbatas pada pemantauan luka kulit 2. Resolusi OCT lebih rendah dibandingkan dengan histologis
Assessing the healing of venous leg ulcer using a noncontact Near-	Studi klinik untuk menilai sifat penyembuhan dan tidak sembuh dari VLU, dengan sampel (3) subjek diabetes sukarela dengan VLU (dengan satu atau lebih VLU).	Pencitraan <i>optik near-infrared (NIR)</i> merupakan Teknik pencitraan yang menggunakan cahaya antar panjang gelombang 650 dan 1.000 nm yang berjalan melalui jaringan manusia, untuk menilai perubahan oksigenasi jaringan (dalam hal perubahan konsentrasi	Kelebihan 1. Non-invasif 2. Resolusi tinggi 3. Dapat digunakan secara real-time sebagai prosedur rawat jalan

Judul, penulis, tahun & negara	Metode, Tujuan, Sampel & Nama Alat Diagnostik	Prinsip dan Aplikasi	Kesimpulan
Infrared Optical Imaging Approach, Lei, dkk (2017), di Florida	Terdapat 12 VLU dengan 7 kasus sembuh dan 5 kasus tidak sembuh. Dengan menggunakan alat pencitraan NIR genggam (<i>NIROS</i>)	<i>HbO</i> dan <i>HbR</i>), melalui perbedaan tingkat penyerapan cahaya <i>NIR</i> oleh daerah yang dicitrakan. Sistem ini terdiri dari LED 830 nm, dan digerakan oleh driver LED yang di kembangkan secara khusus dan kamera sensitif <i>NIR</i> untuk merekam gambar pantulan difus dari luka.	Kekurangan 1. Kurangnya kekhususan
Hyperspectral imaging as a novel diagnostic tool in microcirculation of wounds, Daeschlein, dkk (2017), di Jerman	Studi klinik untuk mengetahui kesesuaian parameter dengan rutinitas klinik dan manajemen luka sebagai alat diagnostik dan pemantauan. Sampel pada penelitian ada (5), yakni dengan: Luka infeksi (1) Skleroderma sistemik (1) Kontraktur (1) Abses kronis (1) PAOD ekstremitas bawah (1) Dengan menggunakan alat pencitraan Hiperspektral non-kontak	Pencitraan <i>hiperspektral (HSI)</i> adalah teknik pencitraan non-invasif yang dapat menangkap serangkaian gambar dengan menggunakan kamera <i>hyperspectral TIVITA Tissue</i> , merekam intensitas cahaya yang dipantulkan secara difus dari jaringan yang terluka dan data yang dihasilkan diinterpretasikan sebagai kubus data 3 dimenasi. <i>HSI</i> dapat mengukur faktor termasuk <i>eksihemoglobin</i> , <i>deoksihemoglobin</i> , dan saturasi oksigen darah, sehingga dapat mencerminkan tingkat oksigenasi luka. <i>HSI</i> mampu membedakan jaringan yang sehat, reversibel hingga yang rusak.	Kelebihan 1. Sederhana (mudah dilakukan) hanya butuh waktu sekitar 3 menit 2. Cocok untuk diagnostik rutin dan pemantauan pada luka kronis Kekurangan 1. Kedalaman pencitraan terbatas
Point of care Autofluorescence imaging for real-time sampling and treatment guidance of bioburden in chronic wounds: first in human results, Dacosta,	Studi klinik, non randomized trial. Untuk mengetahui kelayakan autofluoresensi untuk menilai proses penyembuhan luka kronis, dengan sampel (28), 5 wanita dan 23 pria dengan luka yang berbeda-beda. Dengan menggunakan alat pencitraan <i>fluoresensi genggam (PRODIGI)</i>	Pencitraan <i>Autofluoresensi</i> adalah Teknik pencitraan yang menggunakan kamera berbasis sensor super yang berfungsi mengumpulkan gambar WL dan AF beresolusi tinggi yang memungkinkan pengguna dapat melihat lokasi dan distribusi bakteri dalam konteks anatomi dari luka dan bagian tubuh. Dengan perangkat pencitraan <i>PRODIGI</i> genggam untuk memvisualisasikan beban bakteri luka secara real time, dan hanya membutuhkan waktu pemeriksaan 3-4 menit, namun dapat bertambah tergantung dengan jumlah luka dan durasi swabbing yang dipandu FL.	Kelebihan 1. Teknologi sederhana dan efektif 2. Dapat diterapkan dalam klinis 3. Kontras optik tinggi 4. Membantu mempermudah untuk melakukan pengambilan sampel luka dengan panduan gambar Kekurangan 1. Kedalaman penetrasi terbatas (kurang lebih 1-1.5 mm)

Judul, penulis, tahun & negara	Metode, Tujuan, Sampel & Nama Alat Diagnostik	Prinsip dan Aplikasi	Kesimpulan
dkk (2015), di New Zealand			2. Tidak dapat menunjukkan konsentrasi bakteri

Tabel 4. Alat Diagnostik Luka Kronis

Alat Diagnostik	Ulkus Diabetes	Ulkus Arteri	Ulkus Vena	Ulkus Dekubitus	Luka Infeksi	Luka Kanker	Luka Lainnya
Non-Contact Device (Senkowsky et al., 2021)					√		
Enzym Analysis (Blokhuys-Arkes et al., 2015)	√	√	√	√	√	√	√
Optic Coherence Tomografi (Kuck et al., 2014)			√				√
Near Infra-red (NIR) (Lei et al., 2018)			√				
Hyperspectral Imaging (Daeschlein et al., 2017)					√		√
Autofluorescence Imaging (DaCosta et al., 2015)	√	√	√				

Karakteristik Studi

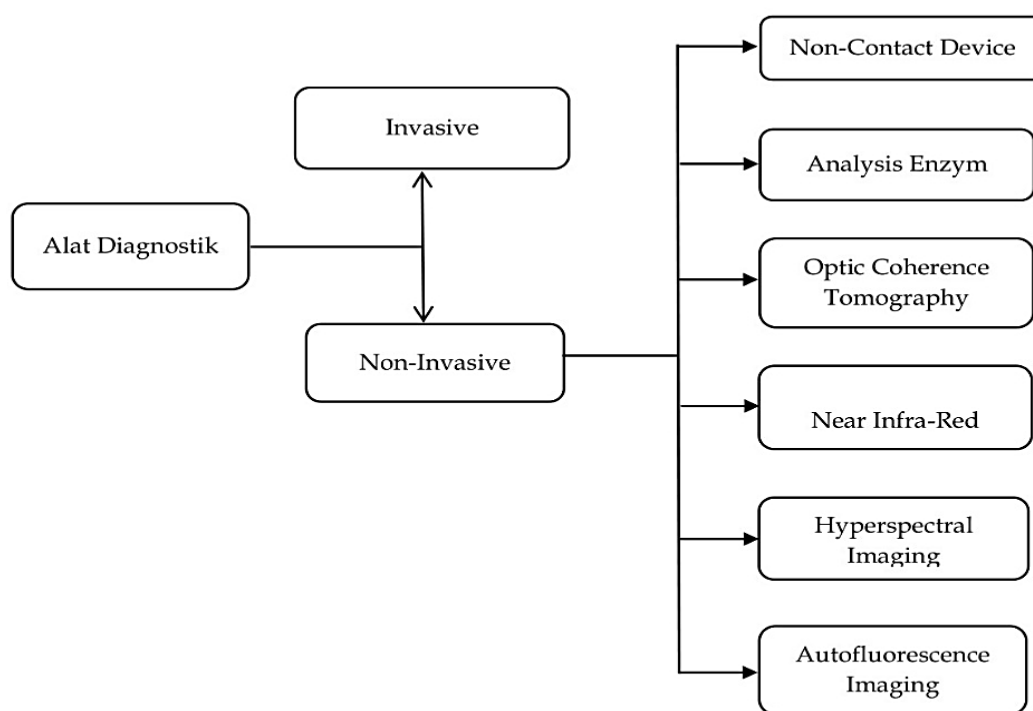
Dari literatur yang didapatkan, terdapat 6 studi yang disertakan karena memenuhi syarat disajikan dalam informasi pendukung, dan ditemukan alat diagnostik yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis dengan jenis pemeriksaan yang berbeda-beda dan dilakukan di beberapa negara yang berbeda juga seperti, Jerman (Daeschlein et al., 2017) (Kuck et al., 2014), USA (Senkowsky et al., 2021), Austria (Blokhuys-Arkes et al., 2015), Florida (Lei et al., 2018) dan Kanada (DaCosta et al., 2015). Setengah dari penelitian tersebut dilakukan di benua Eropa dan Amerika Utara. Ukuran sampel bervariasi mulai dari 3 pasien pada uji klinis yang dilakukan oleh (Lei et al., 2018) dengan rentang usia 61-78 tahun yang memiliki satu atau lebih VLU (venous leg ulcer). 5 sampel yang digunakan oleh (Daeschlein et al., 2017) dengan rentang usia 50-81 tahun dengan jenis luka kronis berbeda. 6 sampel relawan yang digunakan oleh (Kuck et al., 2014) yakni 3 perempuan dan 3 laki-laki dengan rentang usia 55-79 tahun dengan jenis luka kronis berbeda. 141 sampel (bekas balutan luka) yang digunakan oleh (Senkowsky et al., 2021) dengan jenis balutan yang berbeda-beda. 81 sampel yang digunakan oleh (Blokhuys-Arkes et al., 2015) pada 24 luka akut dan 57 kronis dengan diagnosis luka kronis yang berbeda-beda. Dan 28 sampel yang digunakan oleh (DaCosta et al., 2015) dengan diagnosis luka kronis yang berbeda-beda.

Beberapa penelitian yang dilakukan ini menggunakan metode clinical study, eksperimental yang dilakukan di klinik untuk mengenali atau menilai luka kronis. Dan identifikasi alat

diagnostik yang dapat digunakan pada beberapa luka kronis disajikan dalam **tabel 4**. Namun, meskipun tidak keseluruhan luka kronis yang dilibatkan dalam beberapa penelitian tersebut, tidak menutup kemungkinan bahwa alat diagnostik tersebut tetap dapat digunakan untuk menilai seluruh luka kronis.

Alat diagnostik untuk menilai luka kronis

Dalam tinjauan ini ditemukan beberapa alat diagnostik yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis. *Non-contact diagnostic devices* (Senkowsky et al., 2021) digunakan untuk menilai luka infeksi, *rapid enzyme analysis to assess chronic wound infection* (Blokhuis-Arkes et al., 2015) dapat digunakan untuk menilai luka *diabetic ulcer*, *arterial ulcer*, *venous ulcer*, *decubitus*, luka infeksi dan luka kanker, *optical coherence tomography* (Kuck et al., 2014) dan *non-contact infrared optics* (Lei et al., 2018) dapat digunakan untuk menilai *venous ulcer*, *hyperspectral imaging* (Daeschlein et al., 2017) digunakan untuk menilai luka infeksi, dan *autofluorescence* (DaCosta et al., 2015) dapat digunakan untuk menilai luka diabetik, *arterial ulcer* dan *venous ulcer*. Secara keseluruhan, *venous ulcer* merupakan jenis luka kronis yang paling banyak dinilai menggunakan beberapa alat diagnostik tersebut. Alat diagnostik yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis disajikan pada (Gambar 2).



Gambar 2. Pemetaan Alat Diagnostik

D. PEMBAHASAN

Bukti yang disajikan menunjukkan bahwa beberapa alat diagnostik yang dapat digunakan merupakan alat non invasif yang dengan cepat dapat menilai perkembangan luka kronis serta memiliki kelebihan dan kekurangan dari masing-masing alatnya. Penggunaan alat diagnostik untuk menilai luka kronis berkembang pesat secara global. Naamun di Indonesia, penilaian luka kronis saat ini masih didominasi oleh penggunaan sistem klasifikasi maupun instrumen klinis terstandar yang praktis dan hemat biaya seperti *Bates-Jensen Wound Assessment Tool (BJWAT)*

(Arafah, 2022), *Pressure Ulcer Scale for Healing (PUSH)*, *DFUAS (diabetic foot ulcer assessment scale)* (Arisandi et al., 2016), *DESIGN-R tool* (Rachmawati et al., 2022), dan *MUNGS (maceration, undermining, nectoric, granulation, and symptoms/signs)* (Dahlia et al., 2019). Secara sistem kesehatan, perkembangan teknologi dinilai menjanjikan tetapi belum optimal untuk implementasi luas di negara berkembang seperti Indonesia tanpa dukungan kebijakan dan pembiayaan kesehatan yang memadai (Nazmi, 2018).

Alat diagnostik *Non-contact device* merupakan alat diagnostik cepat, akurat, portable dan non kontak yang dapat digunakan untuk menilai luka kronis dengan cara menilai berbagai tingkat aktivitas *leukosit esterase* pada eksudat luka (Senkowsky et al., 2021). Penilaian luka secara non kontak dinilai lebih unggul karena kontak langsung berisiko dapat mengkontaminasi dasar luka, menimbulkan rasa sakit serta merusak jaringan luka (Wendland & Taylor, 2017). *Leukosit esterase* dinilai untuk melihat ada tidaknya infeksi pada luka kronis, karena infeksi merupakan salah satu faktor risiko penting dalam penyembuhan luka kronis, dan pada kasus DFU (*Diabetic Foot Ulcer*) mengakibatkan amputasi ekstremitas bawah (Gariani et al., 2013), (Kee et al., 2019). Selain itu, penggunaan alat ini tidak mengganggu prosedur perawatan luka rutin dan tergolong efisien karena mampu memberikan hasil diagnosis dalam waktu kurang dari 3 menit (Senkowsky et al., 2021). Sehingga dapat lebih awal mendiagnosis serta memudahkan dan membantu untuk menetapkan manajemen luka yang tepat.

Selain pemanfaatan aktivitas leukosit esterase untuk mengidentifikasi infeksi pada luka kronis, pendekatan analisis enzimatis juga dapat dilakukan dengan menilai peningkatan kadar enzim seperti *Myeloperoxidase (MPO)*, *Human Neutrophil Elastase (HNE)*, *Lisozim* dan *Cathespain-G (CatG)* dalam cairan luka (Blokhuys-Arkes et al., 2015). Peningkatan aktivitas enzim MPO pada luka terinfeksi dapat digunakan sebagai biomarker yang efektif dalam proses diagnostik luka (Bassegoda et al., 2019). Jika dibandingkan dengan analisis mikrobiologis, analisis enzim lebih unggul dan mudah digunakan baik perawatan di rumah maupun di rumah sakit serta akan mengurangi kemungkinan pemberian antibiotik yang berlebihan (Blokhuys-Arkes et al., 2015). Namun demikian, pemeriksaan mikrobiologi melalui biopsi luka tetap dianggap sebagai standar emas dalam mendeteksi infeksi luka (Halfens & Stobberingh, 2013).

Saat ini, terdapat satu metode yang tersedia secara komersial yang mahal dan memakan waktu untuk mengukur *enzim MPO*, yaitu tes imunosorben terkait enzim (ELISA) (Hoyo et al., 2022). Penggunaan analisis enzim MPO, HNE, Lisozim, dan CatG dengan menggunakan swab steril terbukti dapat menunjukkan hasil dalam 30 menit, yang membantu lebih cepat dalam mendiagnosis infeksi pada luka kronis (Blokhuys-Arkes et al., 2015). Analisis enzim lain juga telah dilaporkan dengan menggunakan alat diagnostik berbasis kertas, yang dapat memberikan hasil dengan membutuhkan waktu kurang dari 30 menit (Bassegoda et al., 2019), (Hoyo et al., 2022). Oleh karena itu, analisis enzim dapat dijadikan satu alat yang dapat mendiagnosis infeksi dengan cepat pada luka kronis.

Infeksi pada pasien dengan luka kronis dapat memperlambat penyembuhan luka, menurunkan kualitas hidup pasien (Lentsck et al., 2018) dan memberikan beban ekonomi bagi sumber daya perawatan (Li et al., 2021). Untuk penilaian lebih awal adanya infeksi pada luka kronis dapat dilakukan dengan teknik pencitraan *Autofluoresensi* yang dikembangkan untuk memvisualisasikan beban bakteri luka secara *real-time* (Mościcka et al., 2023) yang menggunakan sistem pencitraan autofluoresensi (AF) portable genggam dengan uji coba pertama pada subjek manusia (DaCosta et al., 2015). Telah digunakan untuk mendeteksi infeksi bakteri pada ulkus

kaki vena (Mościcka et al., 2023), dan ulkus kaki diabetik yang membuktikan bahwa dibandingkan dengan praktik standar saat ini, pencitraan *autofluoresensi* (AF) memberikan penilaian yang akurat tentang keberadaan bakteri yang relevan secara klinis (Ottolino-perry et al., 2017).

Pencitraan *autofluoresensi* (AF) memiliki kontras optik yang tinggi dibandingkan dengan modalitas pencitraan lainnya (DaCosta et al., 2015). Penggunaan *autofluoresensi* (AF) dapat menilai kedalaman luka dan vaskularisasi di sekitar luka dengan bantuan injeksi *Indocyanine green* (ICG) sebagai pewarna fluoresen (Sen et al., 2016). Pencitraan *autofluoresensi* (AF) dapat memandu penyekaian mikrobiologis pada luka dengan lebih baik dan mendeteksi adanya pertumbuhan bakteri sedang hingga berat dibandingkan dengan *Clinical sign and symptoms* (CSS) yang menggunakan teknik Levine (Ottolino-perry et al., 2017). Oleh karena itu, dengan menggunakan alat diagnostik ini dapat membantu mendiagnosis lebih cepat agar dapat memberikan perawatan yang tepat.

Memberikan perawatan yang tepat pada pasien, pemantauan proses penyembuhan luka harus dilakukan. Salah satunya dengan menggunakan *Optic Coherence Tomografi* (OCT), yang telah banyak digunakan dalam pengaturan klinis (Kim et al., 2016), (Baran et al., 2015), (Kuck et al., 2014). Berdasarkan interferometri koherensi rendah, OCT dapat menghasilkan gambar penampang beresolusi tinggi dari mikrostruktur interior jaringan (Izatt et al., 2015). Sehingga, perubahan struktural dapat dipantau selama penyembuhan luka termasuk ukuran luka, migrasi epidermis, perkembangan dermal-epidermis, vasodilatasi, vasokonstriksi, dan repitelisasi (Li et al., 2020).

Optic Coherence Tomografi (OCT) pada beberapa studi praklinis digunakan pada subjek hewan (Mukherjee et al., 2017). Akan tetapi, OCT telah dievaluasi sebagai alat diagnostik non invasif untuk menilai penyembuhan luka pada pasien dengan luka kronis (Kuck et al., 2014), serta dapat mencitrakan morfologi pembuluh darah di sekitar luka dan kulit yang berdekatan dengan ulkus vena dan ulkus arteriovenosa dengan menunjukkan adanya morfologi pembuluh darah abnormal yang sangat berbeda dengan pembuluh darah pada kulit yang sehat (Holmes et al., 2019). Namun karena kedalaman penetrasi ke dalam jaringan yang terbatas membuat histologis masih menjadi standar emas untuk mengidentifikasi perubahan patologi (Kuck et al., 2014). Sehingga, OCT memadai untuk kebutuhan pemantauan luka kronis serta dapat mengurangi *biopsy* kulit invasif.

Alat diagnostik lain yang menggunakan pencitraan optik adalah *Near-Infrared optical scanner* (NIROS) yang telah dievaluasi untuk digunakan sebagai alat diagnostik untuk menilai penyembuhan luka kronis (Lei et al., 2018). NIROS dikembangkan untuk membedakan antara *venous leg ulcer* (VLU) dan *diabetic foot ulcer* (DFU) yang dapat disembuhkan dan tidak dapat disembuhkan (A Godavarty et al., 2015), berdasarkan perbedaan aliran darah (oksigenasi dan deoksigenasi) ke luka dan sekitarnya yang ditunjukkan dengan perbedaan kontras optik saat melakukan pencitraan tanpa kontak secara real time (Lei et al., 2018). NIR menganalisis gelombang penyerapan cahaya maksimum dari beberapa zat di sekitar lokasi luka termasuk saturasi oksigen, kadar hemoglobin dan kandungan air (Jayachandran et al., 2016).

Near Infra-red (NIR) memiliki kemampuan untuk mencitrakan lebih dalam sekaligus memberikan informasi hemodinamik luka (Mukherjee et al., 2017). Dengan penetrasi sinar NIR yang lebih dalam, merupakan dasar utama untuk penggunaannya secara luas dalam penilaian luka (Tran et al., 2022). Pada sebuah studi percontohan didapatkan bahwa pada luka yang

sembuh awalnya memiliki konsentrasi hemoglobin yang lebih tinggi di lokasi luka namun menurun seiring berjalannya waktu (Weingarten et al., 2010). Sebaliknya, konsentrasi hemoglobin yang lebih tinggi dan tidak menurun seiring berjalannya waktu ditemukan pada luka yang tidak sembuh dikarenakan fase inflamasi kronis pada luka tersebut (Anuradha Godavarty et al., 2015). Oleh karena itu, NIR dapat digunakan untuk menilai luka dan mendiagnosis luka yang dapat sembuh atau tidak dapat disembuhkan lebih awal.

Pencitraan optik non invasif lain adalah *Hyperspectral imaging (HSI)* yang merupakan alat diagnostik baru dalam mikrosirkulasi luka (Daeschlein et al., 2017). Parameter penting secara hemodinamik, seperti kadar air jaringan, distribusi hemoglobin total, dan saturasi oksigen darah (1 mm hingga sekitar 6 mm subkutan), mudah diukur dan divisualisasikan dengan *HSI* dalam waktu yang hampir bersamaan (Sicher et al., 2018). Penggunaan *HSI* juga dapat memvisualisasikan dan memantau edema, yang tidak dapat dilakukan dengan pendekatan konvensional (Wild et al., 2018). Selain itu, juga digunakan untuk menilai keberadaan dan tingkat keparahan penyakit arteri perifer (Chin et al., 2011), menilai perkembangan ulkus kaki diabetik (Yudovsky et al., 2011), serta kelainan hemodinamik pasien *scleroderma*, ulkus kaki kronis, dan infeksi kulit (Sicher et al., 2018). Dalam beberapa tahun terakhir, *HSI* berhasil menyelidiki batas luka kronis (Denstedt et al., 2013), dan menggambarkan batas-batas kanker dalam specimen bedah untuk kanker kepala dan leher (Lu et al., 2017).

Secara khusus, *HSI* dapat memberikan gambar oksihemoglobin dan deoksihemoglobin hampir secara real-time dan dapat menganalisis patofisiologi jaringan yang berbeda berdasarkan sifat spektralnya yang bervariasi (Lu & Fei, 2014). Hasilnya, penggunaan *HSI* dalam beberapa bidang diagnostik klinis semakin berkembang (Saiko et al., 2020). Dalam pengobatan dan pemantauan penyembuhan luka, kurangnya invasif dan evaluasi spasial dari *HSI* merupakan keuntungan yang signifikan dibandingkan dengan mengambil biopsi untuk karakterisasi, karena biopsi menimbulkan rasa sakit dan dapat memperburuk jaringan parut pasien (Wahabzada et al., 2017). Dalam hal ini, *HSI* dapat membantu atau menggantikan teknik standar penilaian tersebut.

Keterbatasan Tinjauan

Terlepas dari pencarian komprehensif penulis, tinjauan ini memiliki beberapa keterbatasan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil. Pertama, terdapat kemungkinan bahwa studi yang relevan terkait alat diagnostik dalam penilaian luka kronis berhasil teridentifikasi, baik yang digunakan di fasilitas pelayanan primer maupun di rumah sakit. Hal ini dapat disebabkan oleh variasi terminologi, keterbatasan basis data, serta publikasi yang mungkin tidak terindeks. Kedua, alat diagnostik dalam penilaian luka kronis secara umum dapat diklasifikasikan menjadi metode invasif dan non-invasif. Namun, dalam tinjauan ini dokushanya diberika pada sebagian laa diagnostik non-invasif yang mampu memberikan penilaian secara *real-time*. Pendekatan ini dipilih dengan mempertimbangkan aspek keamanan pasien maupun kemudahan penggunaan klinis.

E. KESIMPULAN

Berbagai alat pemeriksaan diagnostik telah terbukti dapat digunakan untuk menilai luka kronis baik di klinik maupun di rumah sakit, seperti *non-contact device*, *rapid enzyme*, *optical coherence tomography*, *non-contact near infrared optical*, *hyperspectral* dan *autofluorescence*. Alat-alat ini mampu memberikan informasi komprehensif terkait kondisi luka, proses penyembuhan, beban bakteri, potensi penyembuhan, serta deteksi infeksi secara cepat dan efisien. Dominasi penggunaan metode non-invasif dan non-kontak menunjukkan keunggulan dalam hal

kenyamanan pasien dan kecepatan hasil dibandingkan metode lainnya seperti pemeriksaan *mikrobiologis*, *bikoimia* maupun pencitraan seperti *CT-Scan*, *MRI*, *Spek/CT* dan *USG* yang memerlukan waktu lebih lama. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji komparatif antar berbagai alat diagnostik non-invasif tersebut guna mengevaluasi tingkat akurasi, sensitivitas, dan spesifitasnya dibandingkan dengan metode standar, sehingga dapat memperkuat dasar evidensi dalam pemilihan alat diagnostik yang paling efektif untuk penilaian luka kronis.

F. REFERENSI

- Arafah, M. I. I. M. R. S. (2022). Efektivitas Perawatan Luka Modern dan Konvensional terhadap Proses Penyembuhan Luka Diabetik. *Jurnal Ilmiah Mappadising*, (Vol 4 No 1 (2022): Jurnal Ilmiah Mappadising Volume 4 Nomor 1 Maret 2022), 1–9. Retrieved from <https://ojs.univprima.ac.id/index.php/mappadising/article/view/291/240>
- Arisandi, D. et al. (2016). Evaluation of validity of the new diabetic foot ulcer assessment scale in Indonesia. *Wound Repair and Regeneration*, 24(5), 876–884. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/wrr.12464>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Baran, U. et al. (2015). *High Resolution Imaging of Acne Lesion Development and Scarring in Human Facial Skin Using OCT-Based Microangiography*. 238(December 2014), 231–238. <https://doi.org/10.1002/lsm.22339>
- Basseghoda, A. et al. (2019). Talanta New myeloperoxidase detection system based on enzyme-catalysed oxidative synthesis of a dye for paper-based diagnostic devices. *Talanta*, 194(August 2018), 469–474. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.065>
- Bates-Jensen, B. M. et al. (2019). Reliability of the Bates-Jensen wound assessment tool for pressure injury assessment: The pressure ulcer detection study. *Wound Repair and Regeneration : Official Publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*, 27(4), 386–395. <https://doi.org/10.1111/wrr.12714>
- Blokhuis-Arkes, M. H. E. et al. (2015). Rapid enzyme analysis as a diagnostic tool for wound infection: Comparison between clinical judgment, microbiological analysis, and enzyme analysis. *Wound Repair and Regeneration : Official Publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*, 23(3), 345–352. <https://doi.org/10.1111/wrr.12282>
- Chin, J. A. et al. (2011). Evaluation of hyperspectral technology for assessing the presence and severity of peripheral artery disease. *Journal of Vascular Surgery*, 54(6), 1679–1688. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.06.022>
- Choi, E. P. H. et al. (2016). Evaluation of the internal and external responsiveness of the Pressure Ulcer Scale for Healing (PUSH) tool for assessing acute and chronic wounds. *Journal of Advanced Nursing*, 72(5), 1134–1143. <https://doi.org/10.1111/jan.12898>
- Comino-Sanz, I. M. et al. (2023). A Digital Tool for Measuring Healing of Chronic Wounds Treated with an Antioxidant Dressing: A Case Series. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054147>

- DaCosta, R. S. et al. (2015). Point-of-care autofluorescence imaging for real-time sampling and treatment guidance of bioburden in chronic wounds: first-in-human results. *PloS One*, 10(3), e0116623. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116623>
- Daeschlein, G. et al. (2017). Hyperspectral imaging as a novel diagnostic tool in microcirculation of wounds. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 67(3-4), 467-474. <https://doi.org/10.3233/CH-179228>
- Dahlia et al. (2019). GAMBARAN KARAKTERISTIK LUKA BERDASARKAN SKOR MUNGS DAN ANKLE BRAKHIAL INDEKS (ABI) PADA PASIEN DIABETES MELLITUS DENGAN ULKUS DIABETIK. *Dunia Keperawatan*, 7, 134-141.
- Denstedt, M. et al. (2013). Hyperspectral imaging as a diagnostic tool for chronic skin ulcers. *Photonic Therapeutics and Diagnostics IX*, 8565, 85650N. <https://doi.org/10.1117/12.2001087>
- Frykberg, R. G., & Banks, J. (2015). Challenges in the Treatment of Chronic Wounds. *Advances in Wound Care*, 4(9), 560-582. <https://doi.org/10.1089/wound.2015.0635>
- Gariani, K. et al. (2013). *Diabetic foot infections : state-of-the-art*. 1-12.
- Godavarty, A et al. (2015). *Non-contact optical imaging of healing and non-healing diabetic foot ulcers*. 9318, 2-5. <https://doi.org/10.1117/12.2080716>
- Godavarty, Anuradha et al. (2015). *Diabetic Wound Imaging Using a Noncontact Near-Infrared Scanner : A Pilot Study*. <https://doi.org/10.1177/1932296815590828>
- Greatrex-White, S., & Moxey, H. (2015). Wound assessment tools and nurses' needs: An evaluation study. *International Wound Journal*, 12(3), 293-301. <https://doi.org/10.1111/iwj.12100>
- Gupta, S. et al. (2021). Chronic wounds: magnitude, socioeconomic burden and consequences. *Wounds Asia*, 4(1), 8-14.
- Halfens, R. J. G., & Stobberingh, E. E. (2013). *Swab Versus Biopsy for the Diagnosis of Chronic Infected Wounds*. (May), 211-219.
- Holmes, J. et al. (2019). Dynamic Optical Coherence Tomography Is a New Technique for Imaging Skin Around Lower Extremity Wounds. *International Journal of Lower Extremity Wounds*, 18(1), 65-74. <https://doi.org/10.1177/1534734618821015>
- Hoyo, J. et al. (2022). Rapid Colorimetric Detection of Wound Infection with a Fluidic Paper Device. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16). <https://doi.org/10.3390/ijms23169129>
- Izatt, J. A. et al. (2015). *Theory of Optical Coherence Tomography BT - Optical Coherence Tomography: Technology and Applications* (W. Drexler & J. G. Fujimoto, eds.). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06419-2_3
- Jayachandran, M. et al. (2016). Critical Review of Noninvasive Optical Technologies for Wound Imaging. *Advances in Wound Care*, 5(8), 349-359. <https://doi.org/10.1089/wound.2015.0678>
- Joanna Briggs Institute. (2020). JBI Manual for Evidence Synthesis. Retrieved from

<https://synthesismanual.jbi.global>

- Kee, K. K. et al. (2019). *Risk factor analysis on the healing time and infection rate of diabetic foot ulcers in a referral wound care clinic*. 28(1), 5–13.
- Kim, D. W. et al. (2016). *Plasma treatment effect on angiogenesis in wound healing process evaluated in vivo using angiographic optical coherence tomography Plasma treatment effect on angiogenesis in wound healing process evaluated in vivo using angiographic optical coherence tomo*. 233701. <https://doi.org/10.1063/1.4967375>
- Kolluri, R. et al. (2022). An estimate of the economic burden of venous leg ulcers associated with deep venous disease. *Vascular Medicine (London, England)*, 27(1), 63–72. <https://doi.org/10.1177/1358863X211028298>
- Kuck, M. et al. (2014). Evaluation of optical coherence tomography as a non-invasive diagnostic tool in cutaneous wound healing. *Skin Research and Technology*, 20(1), 1–7. <https://doi.org/10.1111/srt.12077>
- Lei, J. et al. (2018). Assessing the Healing of Venous Leg Ulcers Using a Noncontact Near-Infrared Optical Imaging Approach. *Advances in Wound Care*, 7(4), 134–143. <https://doi.org/10.1089/wound.2017.0745>
- Lentsck, M. H. et al. (2018). Quality of life related to clinical aspects in people with chronic wound. *Revista Da Escola de Enfermagem*, 52, 1–9. <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017004003384>
- Li, S. et al. (2020). Imaging in Chronic Wound Diagnostics. *Advances in Wound Care*, 9(5), 245–263. <https://doi.org/10.1089/wound.2019.0967>
- Li, S. et al. (2021). Diagnostics for Wound Infections. *Advances in Wound Care*, 10(6), 317–327. <https://doi.org/10.1089/wound.2019.1103>
- Lu, G. et al. (2017). Detection of Head and Neck Cancer in Surgical Specimens Using Quantitative Hyperspectral Imaging. *Clinical Cancer Research: An Official Journal of the American Association for Cancer Research*, 23(18), 5426–5436. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-17-0906>
- Lu, G., & Fei, B. (2014). Medical hyperspectral imaging: a review. *Journal of Biomedical Optics*, 19(1), 10901. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.19.1.010901>
- McLister, A. et al. (2016). New Developments in Smart Bandage Technologies for Wound Diagnostics. *Advanced Materials*, 28(27), 5732–5737. <https://doi.org/10.1002/adma.201504829>
- Mościcka, P. et al. (2023). Fluorescence – modern method of the diagnosis of chronic wounds on the example of venous leg ulcerb. *Advances in Dermatology and Allergology*, 40(1), 66–71. <https://doi.org/10.5114/ada.2022.119419>
- Mukherjee, R. et al. (2017). Diagnostic and Prognostic Utility of Non-Invasive Multimodal Imaging in Chronic Wound Monitoring: a Systematic Review. *Journal of Medical Systems*, 41(3). <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0679-y>
- Nazmi. (2018). Implementasi Kebijakan Pengembangan Industri Alat Kesehatan Dalam negeri. *Kebijakan Kesehatan Indonesia*, 07(01), 42–48.

- Olsson, M. et al. (2019). The humanistic and economic burden of chronic wounds: A systematic review. *Wound Repair and Regeneration*, 27(1), 114–125. <https://doi.org/10.1111/wrr.12683>
- Ottolino-perry, K. et al. (2017). Improved detection of clinically relevant wound bacteria using autofluorescence image-guided sampling in diabetic foot ulcers. 833–841. <https://doi.org/10.1111/iwj.12717>
- Ouzzani, M. (2017). Rayyan – a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, (2016), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Rachmawati, A. S. et al. (2022). Penerapan terapi madu terhadap ulkus diabetik : literatur review. 1(1), 50–58.
- Saiko, G. et al. (2020). Hyperspectral imaging in wound care: A systematic review. *International Wound Journal*, 17(6), 1840–1856. <https://doi.org/10.1111/iwj.13474>
- Sanada, H. et al. (2011). Clinical wound assessment using DESIGN-R total score can predict pressure ulcer healing: Pooled analysis from two multicenter cohort studies. *Wound Repair and Regeneration*, 19(5), 559–567. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2011.00719.x>
- Sen, C. K. et al. (2016). Cutaneous Imaging Technologies in Acute Burn and Chronic Wound Care. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 138(3 Suppl), 119S–128S. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000002654>
- Senkowsky, J. et al. (2021). A non-contact device for fast screening of wound infections. *Experimental Dermatology*, 30(9), 1332–1339. <https://doi.org/10.1111/exd.14399>
- Sicher, C. et al. (2018). Hyperspectral imaging as a possible tool for visualization of changes in hemoglobin oxygenation in patients with deficient hemodynamics - proof of concept. *Biomedizinische Technik. Biomedical Engineering*, 63(5), 609–616. <https://doi.org/10.1515/bmt-2017-0084>
- Stang, D., & Young, M. (2018). ulcer classification system in Scotland : part 2. *The Diabetic Foot Journal*, 21(2), 100–106.
- Tran, M. et al. (2022). Emerging Strategies Based on Sensors for Chronic Wound Monitoring and Management. *CHemosensors*, 10(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/chemosensors10080311>
- Tricco, A. C. et al. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Ann Intern Med*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Wahabzada, M. et al. (2017). Monitoring wound healing in a 3D wound model by hyperspectral imaging and efficient clustering. 1–14.
- Weingarten, M. S. et al. (2010). Prediction of wound healing in human diabetic foot ulcers by diffuse near-infrared spectroscopy: a pilot study. *Wound Repair and Regeneration : Official Publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*, 18(2), 180–185. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2010.00583.x>
- Wendland, D. M., & Taylor, D. W. M. (2017). Wound Measurement Tools and Techniques: A Review. *Journal of Acute Care Physical Therapy*, 8(2), 42–57. <https://doi.org/10.1097/jat.0000000000000050>

- Wild, T. et al. (2018). Hyperspectral imaging of tissue perfusion and oxygenation in wounds: Assessing the impact of a micro capillary dressing. *Journal of Wound Care*, 27(1), 38–51. <https://doi.org/10.12968/jowc.2018.27.1.38>
- Yudovsky, D. et al. (2011). Assessing diabetic foot ulcer development risk with hyperspectral tissue oximetry. *Journal of Biomedical Optics*, 16(2), 026009. <https://doi.org/10.1117/1.3535592>