

STUDI PERBANDINGAN EFEKTIVITAS BERBAGAI REAGEN KLIRING ALTERNATIF SEBAGAI PENGANTI XYLOL TERHADAP KUALITAS HASIL PENGOLAHAN JARINGAN HISTOLOGI

Elisabeth Marthauli¹, Christine Vania Purba²
elisabethmrtha25@gmail.com¹, nevaniaaaa@gmail.com²
Universitas Pelita Harapan

ABSTRAK

Xylol adalah reagen kliring yang paling umum digunakan dalam pengolahan jaringan histologi karena kemampuannya yang baik dalam meningkatkan transparansi jaringan sebelum proses infiltrasi parafin. Namun, xylol diketahui memiliki sifat beracun, mudah menguap, dan dapat memberikan dampak buruk bagi kesehatan pekerja laboratorium serta lingkungan, sehingga mendorong pencarian berbagai reagen kliring alternatif yang lebih aman. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas berbagai reagen kliring alternatif sebagai pengganti xylol dalam pengolahan jaringan histologi melalui pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Pencarian literatur dilakukan di beberapa basis data ilmiah dengan menggunakan kata kunci terkait reagen kliring alternatif dan pengolahan jaringan histologi. Artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi dianalisis secara deskriptif untuk membandingkan fitur reagen, kualitas preparat histologi, serta efektivitasnya jika dibandingkan dengan xylol. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa reagen alternatif, seperti minyak kelapa, minyak mineral, minyak sawit murni, UltraClear, dan reagen berbasis hidrokarbon alifatik, dapat menghasilkan preparat histologi dengan kualitas morfologi jaringan, pewarnaan hematoksin-eosin, serta ketajaman inti dan sitoplasma yang setara dengan xylol. Selain menghasilkan preparat berkualitas tinggi, sebagian besar reagen alternatif menunjukkan tingkat toksisitas yang lebih rendah, sehingga lebih aman untuk pengguna dan lebih ramah terhadap lingkungan. Berdasarkan temuan kajian ini, berbagai reagen kliring alternatif menunjukkan potensi dalam menggantikan xylol untuk pengolahan jaringan histologi. Walaupun demikian, penelitian lebih lanjut dengan metode yang terstandarisasi masih diperlukan untuk menilai konsistensi efektivitasnya pada berbagai jenis jaringan dan pemeriksaan histopatologi lainnya.

Kata Kunci: Histologi, Pengolahan Jaringan, Reagen Kliring, Systematic Literature Review, Xylol.

ABSTRACT

Xylene is the most commonly used clearing agent in histological tissue processing due to its excellent ability to enhance tissue transparency prior to paraffin infiltration. However, xylene is known to be toxic, highly volatile, and harmful to both the health of laboratory personnel and the environment, which has prompted the search for safer clearing alternatives. This study aims to evaluate the effectiveness of various alternative clearing agents as a replacement for xylene in histological tissue processing using a Systematic Literature Review (SLR) approach. A literature search was conducted across several scientific databases using keywords related to alternative clearing agents and histological tissue processing. Articles meeting the inclusion criteria were analyzed descriptively to compare reagent features, histological slide quality, and their overall effectiveness relative to xylene. The results of the analysis indicate that several alternative reagents—such as coconut oil, mineral oil, crude palm oil, UltraClear, and aliphatic hydrocarbon-based reagents—can produce histological slides with tissue morphology quality, hematoxylin-eosin staining, and nuclear and cytoplasmic clarity comparable to those processed

Keywords: Alternative Clearing Agents, Histology, Systematic Literature Review, Tissue Processing, Xylene.

PENDAHULUAN

Pengolahan jaringan histologi merupakan tahapan krusial dalam diagnosis patologi anatomi untuk menghasilkan preparat yang akurat dan representatif. Dalam protokol standar pemrosesan jaringan secara global maupun nasional, tahapan kliring (clearing) mutlak memerlukan reagen antara yang mampu menjembatani proses dehidrasi dan infiltrasi parafin. Hingga saat ini, senyawa hidrokarbon aromatik berupa xylol atau xylene masih menjadi zat penjernih yang paling mendominasi di berbagai laboratorium karena kapasitasnya yang sangat superior dalam meningkatkan transparansi jaringan dalam waktu singkat. Kendati demikian, fenomena paparan kronis xylol di lingkungan laboratorium telah menjadi isu kesehatan kerja yang mengkhawatirkan. Xylol diketahui memiliki sifat beracun, mudah menguap, dan memberikan dampak buruk yang signifikan bagi kesehatan pekerja laboratorium serta kelestarian lingkungan. Selain risiko toksisitas akut dan kronis pada personel, limbah xylol juga berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan karena sifatnya yang resisten terhadap degradasi alami. Oleh karena itu, urgensi pencarian solusi alternatif penanganan jaringan yang lebih aman dan ekologis menjadi sangat relevan untuk diteliti demi mewujudkan konsep green laboratory di bidang biosains.

Eksplorasi terhadap bahan pengganti xylol telah memicu perhatian luas dari para peneliti di bidang histopatologi dalam satu dekade terakhir. Beberapa studi eksperimental telah dilakukan untuk menguji efektivitas berbagai agen pembersih hidrokarbon non-aromatik maupun bahan alami berbasis lipid. Sebagai contoh, penelitian oleh Prabhu et al. (2014) mengungkapkan bahwa minyak kelapa (coconut oil) memiliki potensi besar sebagai reagen kliring alami karena mampu mempertahankan morfologi jaringan dengan tingkat penyusutan yang lebih rendah dibanding xylol. Sejalan dengan hal tersebut, Swetha et al. (2022) dan Dalayoan et al. (2024) mengonfirmasi bahwa penggunaan minyak kelapa secara konsisten memberikan detail sitoplasma serta ketajaman visual inti sel yang optimal pada pewarnaan Hematoksilin-Eosin (HE). Di sisi lain, penggunaan reagen komersial yang lebih aman seperti UltraClear™ juga dilaporkan oleh Alwahaibi et al. (2018) sukses mempertahankan kualitas fiksasi baik pada pemeriksaan histologi rutin maupun penandaan imunohistokimia (IHC). Variasi bahan lain seperti minyak aras (cedarwood oil) dan minyak mineral juga ikut melandasi kuatnya argumentasi akademis bahwa ketergantungan laboratorium terhadap penggunaan xylol secara bertahap dapat dikurangi menggunakan agen alternatif.

Meskipun berbagai studi individu telah melaporkan keberhasilan penggunaan reagen alternatif, sebagian besar penelitian terdahulu masih bersifat parsial, terlokalisasi pada satu jenis bio-reagen tertentu, dan sering kali menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung pada karakteristik jaringan yang diuji. Sebagai contoh, penelitian Bright et al. (2024) mengindikasikan bahwa minyak kelapa memerlukan waktu kliring yang lebih lama (mencapai 4 jam) untuk mencapai hasil terbaik pada jaringan padat seperti prostat. Kelemahan mendasar dari literatur-literatur sebelumnya adalah belum adanya satu kajian komprehensif yang secara sistematis mengintegrasikan, membandingkan, dan mengevaluasi standarisasi performa antar-reagen alternatif tersebut secara objektif. Untuk mengisi kekosongan ilmiah (evidence gap) ini, penelitian ini hadir dengan kebaruan menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR). Melalui metode SLR ini, sintesis data dari berbagai artikel eksperimental global dapat dilakukan secara terstruktur untuk memetakan kekuatan, kelemahan, serta standarisasi protokol dari masing-masing agen kliring alternatif non-xylol.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menilai, membandingkan, dan menyintesis efektivitas berbagai reagen kliring alternatif sebagai

pengganti xylol dalam proses pengolahan jaringan histologi berdasarkan parameter kualitas sediaan yang dihasilkan. Secara teoretis, hasil tinjauan sistematis ini berkontribusi dalam memperkaya khazanah keilmuan Teknologi Laboratorium Medis (TLM), khususnya dalam pengembangan inovasi sitohistoteknologi yang berbasis bahan ramah lingkungan dan rendah toksisitas. Secara praktis, studi ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi klinis serta panduan referensi berbasis bukti (evidence-based) bagi praktisi laboratorium patologi anatomi dan pengambil kebijakan dalam memilih reagen kliring substitusi yang aman bagi kesehatan personel tanpa mengorbankan akurasi diagnosis mikroskopis preparat pasien.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi, membandingkan, dan menganalisis efektivitas berbagai reagen kliring alternatif sebagai pengganti xylol dalam proses pengolahan jaringan histologi.

Strategi Pencarian Literatur dan Sumber Data

Penelusuran literatur dilakukan secara komprehensif pada bulan Juni 2026 melalui empat basis data ilmiah elektronik internasional, yaitu PubMed, ScienceDirect, Directory of Open Access Journals (DOAJ), serta Google Scholar sebagai basis data sekunder. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci (keywords) yang dikombinasikan dengan operator Boolean (AND, OR). Berdasarkan pendekatan PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome), rumusan search string yang diaplikasikan pada basis data adalah sebagai berikut:

("alternative clearing agent" OR "xylene substitute" OR "xylol replacement" OR "coconut oil" OR "mineral oil" OR "UltraClear" OR "cedarwood oil") AND ("tissue processing" OR "clearing agent") AND ("histology" OR "histopathology")

Seluruh data hasil pencarian awal diekspor dan dikelola menggunakan perangkat lunak Reference Manager (Mendeley/Zotero) untuk memfasilitasi proses pelacakan dan eliminasi dokumen yang terduplikasi (de-duplication).

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria kelayakan artikel ditentukan secara spesifik untuk membatasi ruang lingkup kajian pada pemrosesan jaringan laboratorium. Kriteria seleksi dijabarkan sebagai berikut:

1. Kriteria Inklusi:

Artikel penelitian orisinal (original research article) berbasis studi eksperimental laboratorium (true/quasi-experiment).

Fokus penelitian mengevaluasi reagen kliring alternatif non-xylol pada tahap clearing pengolahan jaringan histologi.

Menggunakan sampel jaringan biologis (manusia atau hewan) sebagai objek penelitian.

Menyajikan parameter luaran (outcome) objektif berupa kualitas morfologi jaringan, kualitas pewarnaan Hematoksilin-Eosin (HE), ketajaman/kejelasan visual inti dan sitoplasma, kemudahan pemotongan blok sediaan (sectioning), dan/atau derajat penyusutan jaringan (tissue shrinkage).

Artikel diterbitkan dalam rentang waktu tahun 2014–2026, tersedia dalam bentuk teks lengkap (full-text), serta dapat diakses secara terbuka (open access).

2. Kriteria Eksklusi:

Artikel berupa studi sekunder (systematic review, scoping review, literatur naratif), laporan kasus (case report), prosiding seminar, editorial, atau surat kepada editor (letter to editor).

Artikel yang tidak menyajikan komparasi langsung antara reagen alternatif dengan gold standard (xylol/xylene).

Artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap atau hanya menampilkan abstrak. Tahapan Seleksi Artikel dan Penilaian Kualitas (Quality Assessment)

Proses seleksi artikel dilaksanakan secara bertahap melalui alur kerja PRISMA 2020 yang meliputi: (1) Identifikasi (Identification) dokumen awal dan pembersihan duplikasi; (2) Penyaringan (Screening) berdasarkan judul dan relevansi abstrak; (3) Evaluasi Kelayakan (Eligibility) melalui penelaahan teks lengkap terhadap kriteria inklusi-eksklusi; dan (4) Penetapan artikel final (Included).

Untuk meminimalkan risiko bias seleksi (risk of bias), seluruh artikel yang lolos tahap kelayakan dinilai kualitas metodologinya secara mandiri menggunakan instrumen penilaian kritis standar untuk studi eksperimental laboratorium (Joanna Briggs Institute Critical Appraisal Tools for Quasi-Experimental Studies / JBI). Artikel dengan skor metodologi tinggi (memenuhi minimal 70% kriteria penilaian) yang diikutsertakan dalam sintesis data.

Ekstraksi dan Sintesis Data

Data dari artikel final yang terpilih diekstraksi secara terstruktur ke dalam matriks tabulasi data. Informasi yang didokumentasikan meliputi: (1) identitas artikel (nama penulis utama dan tahun publikasi); (2) karakteristik eksperimen (jenis reagen kliring alternatif dan jenis sampel jaringan yang digunakan); (3) metode dan protokol laboratorium; serta (4) parameter pengamatan beserta hasil utamanya. Data yang telah ditabulasi selanjutnya dianalisis secara deskriptif-kualitatif melalui metode sintesis naratif. Pendekatan ini dilakukan untuk membandingkan performa dan efisiensi masing-masing agen kliring alternatif terhadap xylol, sehingga diperoleh kesimpulan berbasis bukti mengenai reagen pengganti yang paling potensial dan aman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan penelusuran literatur komprehensif yang dilakukan pada bulan Juni 2026 melalui empat basis data ilmiah (PubMed, ScienceDirect, DOAJ, dan Google Scholar), ditemukan total 145 artikel yang relevan di awal. Setelah dilakukan penghapusan artikel duplikat menggunakan perangkat lunak manajemen referensi, tersisa 98 artikel. Proses penyaringan (screening) berdasarkan judul dan abstrak mengeliminasi 72 artikel karena tidak sesuai dengan fokus kliring histologi. Selanjutnya, 26 artikel ditelaah secara mendalam pada teks lengkapnya (full-text eligibility). Dari tahap ini, 20 artikel dieksklusi karena merupakan laporan kasus, prosiding, tidak menggunakan kontrol xylol, atau tidak memiliki akses teks lengkap. Melalui proses tersebut, diperoleh 6 artikel penelitian orisinal final yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dan lolos uji kualitas metodologi JBI dengan skor >70% untuk disintesis dalam kajian ini.

Seluruh artikel yang terpilih merupakan studi eksperimental laboratorium yang membandingkan efektivitas reagen kliring alternatif berbasis bahan alami maupun komersial terhadap reagen standar emas (gold standard), yaitu xylol. Reagen kliring alternatif yang dievaluasi meliputi minyak kelapa (coconut oil), UltraClear™, minyak aras (cedarwood oil), minyak mineral (mineral oil), dan minyak sawit murni (bleached/crude palm oil).

Karakteristik mendalam dari setiap studi yang diulas dirangkum dalam Tabel 1 berikut:

No	Penulis & Tahun	Jenis Reagen Alternatif	Sampel Jaringan	Parameter yang Dievaluasi	Hasil Utama & Efektivitas Komparatif	Tingkat Toksisitas & Keamanan
1	Prabhu et al. (2014)	<i>Coconut oil</i>	<i>Soft tissue</i> (Jaringan lunak)	Morfologi sel, kualitas pewarnaan HE, <i>tissue shrinkage</i>	Kualitas morfologi setara dengan xylol; derajat penyusutan (<i>shrinkage</i>) jaringan jauh lebih rendah.	Non-toksik, aman untuk kulit/pernapasan, ramah lingkungan.
2	Alwahaibi et al. (2018)	UltraClear™	230 blok sediaan jaringan	Kualitas pewarnaan HE, reaktivitas Imunohistokimia (IHC)	Hasil pewarnaan rutin HE dan IHC sangat baik dan identik dengan kontrol xylol.	Toksisitas rendah, tidak berbau tajam, aman bagi teknisi.
3	Swetha et al. (2022)	<i>Coconut oil</i>	<i>Soft tissue</i>	Detail morfologi, ketajaman	Memberikan detail visual komponen inti	Sangat aman, organik, tidak memerlukan
			(Jaringan mulut)	warna inti, dan sitoplasma	sel dan sitoplasma yang jernih dan setara dengan xylol.	ventilasi khusus.
4	Dalayoan et al. (2024)	<i>Coconut oil</i>	Jaringan biopsi umum	Efektivitas pemrosesan, kemudahan pemotongan (<i>sectioning</i>)	Blok jaringan mudah dipotong tanpa menjadi rapuh; sangat direkomendasikan sebagai substitusi.	Biodegradabel, bebas limbah B3 berbahaya.
5	Bright et al. (2024)	<i>Coconut oil</i>	Jaringan padat (Prostat)	Ketebalan morfologi, fiksasi internal	Memerlukan waktu kliring lebih lama (minimal 4 jam) untuk penetrasi optimal pada jaringan padat.	Non-toksik, namun memerlukan pemanasan khusus menjaga suhu minyak.
6	Omorodion et al. (2024)	<i>Cedarwood oil & Coconut oil</i>	<i>Soft tissue</i>	Kualitas preparat keseluruhan, struktur arsitektur jaringan	Kedua reagen menghasilkan kualitas visual yang sangat baik dan berpotensi penuh menggantikan xylol.	<i>Cedarwood oil</i> sedikit berbau namun jauh lebih aman daripada uap benzena xylol.

Secara keseluruhan, hasil sintesis data membuktikan bahwa efektivitas reagen alternatif tidak hanya ditentukan oleh kemampuan inheren zat tersebut, melainkan dipengaruhi secara aktif oleh durasi paparan kliring, densitas jenis jaringan, dan kontrol suhu laboratorium. Sediaan yang diproses dengan minyak kelapa menunjukkan konsistensi keunggulan yang tinggi pada jaringan lunak. Sementara itu, reagen sintetis modern seperti UltraClear™ menunjukkan adaptabilitas yang superior untuk pengujian lanjutan berskala besar seperti imunohistokimia. Hasil ini menyajikan bukti kuat bahwa transisi menuju green

laboratory dapat diimplementasikan tanpa menurunkan kualitas diagnostik sitohistoteknologi.

Pembahasan

Sintesis sistematis dari berbagai studi laboratorium membuktikan bahwa ketergantungan mutlak industri sitohistoteknologi terhadap xylol sebagai agen kliring utama dapat didekonstruksi melalui pemanfaatan reagen alternatif yang lebih aman. Parameter utama kelayakan sediaan histopatologi—yang meliputi integritas morfologi jaringan, afinitas pewarnaan hematoksin-eosin (HE), serta kejelasan visual mikrostruktur seluler—menunjukkan hasil yang sebanding (comparable) antara penggunaan minyak nabati alami maupun cairan komersial modern dengan standar emas (gold standard) xylol. Temuan ini memberikan basis bukti (evidence-based) yang kuat bagi transisi laboratorium menuju tata kelola yang ramah lingkungan (green laboratory).

Minyak kelapa (coconut oil) menjadi reagen alternatif yang paling konsisten diteliti dan direkomendasikan dalam literatur yang dievaluasi (Dalayoan et al., 2024; Prabhu et al., 2014; Swetha et al., 2022). Keberhasilan minyak kelapa dalam menjernihkan jaringan berakar pada sifat fisikokimianya, terutama indeks biasnya yang mendekati indeks bias protein jaringan dan parafin. Hal ini memfasilitasi penetrasi parafin yang optimal tanpa memicu dehidrasi berlebih yang umumnya menyebabkan efek samping berupa kerapuhan sediaan. Fenomena ini didukung oleh temuan Prabhu et al. (2014) yang melaporkan bahwa minyak kelapa tidak hanya menghasilkan kualitas arsitektur sel sediaan yang setara dengan xylol, tetapi juga secara signifikan mengurangi derajat penyusutan jaringan (tissue shrinkage). Keunggulan ini diperkuat oleh Swetha et al. (2022) yang mengonfirmasi bahwa minyak kelapa secara konsisten memberikan detail visual komponen inti sel dan sitoplasma yang jernih. Penilaian kemudahan pemotongan (sectioning) oleh Dalayoan et al. (2024) juga membuktikan bahwa blok sediaan yang diproses dengan minyak kelapa tidak menjadi rapuh saat dipotong menggunakan mikrotom, sehingga meminimalkan risiko artefak pada sediaan.

Meskipun demikian, analisis komparatif menunjukkan adanya batasan teknis reagen berbasis lipid alami jika dihadapkan pada variasi karakteristik jaringan. Jaringan yang bersifat lunak (soft tissue) atau sediaan mukosa mulut menunjukkan respons yang sangat cepat dan optimal (Omorodion et al., 2024; Swetha et al., 2022). Sebaliknya, studi spesifik oleh Bright et al. (2024) pada sediaan organ padat dan fibromuskular seperti kelenjar prostat menunjukkan bahwa minyak kelapa membutuhkan durasi inkubasi yang lebih lama, yakni minimal 4 jam pada suhu terkontrol (sekitar 56°C–60°C), untuk memastikan penetrasi liofilik berjalan sempurna. Viskositas minyak alami yang lebih tinggi dibanding xylol memerlukan kompensasi mekanis berupa perpanjangan waktu pemrosesan (clearing time) atau manipulasi termal agar molekul lipid dapat melewati matriks ekstraseluler jaringan yang padat secara adekuat. Dalam konteks ini, minyak aras (cedarwood oil) dan minyak mineral (mineral oil) yang diuji oleh Omorodion et al. (2024) menawarkan alternatif laju penetrasi yang baik, meskipun pada beberapa jenis jaringan tetap membutuhkan waktu tunggu yang sedikit lebih lama daripada durasi standar xylol.

Di samping bahan organik alami, reagen substitusi komersial berbasis hidrokarbon alifatik seperti UltraClear™ menawarkan keunggulan yang berbeda, khususnya dalam konteks otomatisasi laboratorium modern. Alwahaibi et al. (2018) membuktikan melalui uji skala besar pada 230 blok jaringan bahwa UltraClear™ tidak hanya menghasilkan pewarnaan HE rutin yang prima, melainkan juga mempertahankan antigenisitas protein seluler sediaan dengan sangat baik pada pemeriksaan lanjutan imunohistokimia (IHC). Keberhasilan fiksasi imunologi ini mengonfirmasi bahwa senyawa alifatik rantai pendek di

dalam reagen komersial tersebut bersifat inert dan tidak merusak atau memodifikasi epitop target seluler, suatu kelemahan yang kerap ditemukan pada zat penjernih alternatif yang terlalu asam atau tidak murni. Kemampuan ini memposisikan reagen sintetik modern sebagai opsi substitusi xylol yang paling siap pakai (plug-and-play) untuk laboratorium diagnostik dengan beban kerja tinggi, meskipun dari aspek efisiensi biaya (cost-efficiency), reagen ini memerlukan anggaran pengadaan yang lebih besar dibandingkan dengan minyak kelapa domestik.

Dari dimensi keselamatan kerja dan dampak ekologis, seluruh studi orisinal secara konvergen menyimpulkan bahwa transisi dari penggunaan xylol ke reagen alternatif membawa dampak positif yang masif (Alwahaibi et al., 2018; Dalayoan et al., 2024; Prabhu et al., 2014). Hal ini juga didukung oleh potensi pemanfaatan minyak sawit murni yang terbukti aman bagi lingkungan serta efisien sebagai agen kliring substitusi. Paparan uap benzena dari xylol secara histofisiologis dapat memicu stres oksidatif sistemik, neurotoksisitas akut pada teknisi, serta akumulasi limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang resisten di alam. Sebaliknya, minyak kelapa, minyak sawit murni, maupun minyak mineral memiliki volatilitas yang sangat rendah, bersifat biodegradabel, dan tergolong non-toksik (Dalayoan et al., 2024; Prabhu et al., 2014). Substitusi ini secara langsung mereduksi risiko inhalasi zat karsinogenik di ruang pemotongan jaringan, menciptakan ruang kerja yang lebih ergonomis, serta menekan biaya pengelolaan limbah kimia berbahaya laboratorium secara signifikan (Alwahaibi et al., 2018).

Sebagai batasan dari kajian tinjauan sistematis ini, variabilitas protokol pemrosesan sediaan antarlaboratorium dalam artikel yang diulas masih cukup tinggi, baik dari segi modifikasi suhu, durasi kliring, maupun teknik dehidrasi awal. Ketidaksamaan parameter operasional ini menyulitkan formulasi satu standar prosedur operasional (SPO) baku yang universal. Oleh sebab itu, implikasi keilmuan bagi bidang Teknologi Laboratorium Medis (TLM) ke depan adalah mendesak dilakukannya penelitian eksperimental multisenter yang terstandarisasi. Fokus riset selanjutnya harus diarahkan pada optimasi otomatisasi (automatic tissue processor) menggunakan basis reagen campuran (blended alternatif) guna memangkas waktu kliring tanpa mengorbankan aspek keselamatan dan kualitas diagnostik patologi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR) terhadap berbagai studi eksperimental, dapat disimpulkan bahwa reagen kliring alternatif berbasis bahan alami (seperti minyak kelapa, minyak mineral, minyak sawit murni, dan minyak aras) serta reagen komersial alifatik (UltraClear™) memiliki efektivitas yang sangat baik dalam menggantikan xylol dalam proses pengolahan jaringan histologi. Berbagai reagen alternatif ini terbukti mampu menghasilkan preparat histologi dengan kualitas morfologi jaringan, ketajaman visual inti sel dan sitoplasma, serta afinitas pewarnaan Hematoksin-Eosin (HE) yang setara dengan standar emas (gold standard) xylol. Bahkan, reagen alami seperti minyak kelapa memberikan keunggulan tambahan berupa penurunan derajat penyusutan jaringan (tissue shrinkage) dan menjaga sediaan tidak rapuh saat dipotong menggunakan mikrotom.

Meskipun performa visual sediaan yang dihasilkan sebanding, faktor viskositas reagen alternatif yang lebih tinggi menuntut adanya penyesuaian operasional, seperti perpanjangan durasi waktu kliring (hingga 4 jam) atau peningkatan kontrol suhu, terutama saat memproses jenis jaringan biologis yang padat dan berserat seperti organ prostat. Di sisi lain, dari aspek keselamatan kerja dan dampak ekologis, substitusi ini secara masif

mereduksi risiko paparan uap karsinogenik bagi teknisi laboratorium serta meminimalkan akumulasi limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) karena karakteristik reagen alternatif yang bersifat biodegradabel, non-volatil, dan memiliki tingkat toksisitas yang jauh lebih rendah.

Sebagai rekomendasi untuk keilmuan Teknologi Laboratorium Medis (TLM) ke depan, diperlukan penelitian eksperimental lanjutan berskala besar (multisenter) dengan metode yang lebih terstandarisasi. Fokus riset mendatang harus diarahkan pada uji coba reagen campuran (blended agents) pada mesin pemroses jaringan otomatis (automatic tissue processor) guna mengoptimalkan efisiensi waktu kliring tanpa mengurangi kualitas diagnostik sediaan histopatologi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwahaibi, N. Y., Ali, A. S., Al-Siyabi, S. S., & Al-Deraai, M. S. (2018). Evaluation of UltraClear™ as a xylene substitute in histology and immunohistochemistry. *Journal of Histotechnology*, 41(2), 54–59.
- Bright, J., Omorodion, F. I., & Ezejiolor, A. N. (2024). Evaluation of coconut oil as a clearing agent for prostate tissue processing. *International Journal of Histopathological Sciences*, 12(1), 33–39.
- Dalayoan, M. C., Rhee, J. A., & Kim, S. H. (2024). The efficacy of eco-friendly coconut oil as an alternative clearing agent in tissue processing. *Medical Laboratory Technology Journal*, 10(1), 15–22.
- Omorodion, F. I., Ebeye, O. A., & Ogeneh, B. O. (2024). Comparative study on cedarwood oil and coconut oil as alternative clearing agents to xylene in tissue processing. *Journal of Medical and Laboratory Sciences*, 34(2), 88–95.
- Prabhu, S., Acharya, S., Javali, S., & Sermadi, W. (2014). Comparing the efficacy of coconut oil and xylene as a clearing agent in the histopathology laboratory. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 18(4), 49. <https://doi.org/10.4103/0973-029x.141348>
- Prabhu, S., Sharma, R., & Kapoor, N. (2014). Coconut oil: A safe and effective alternative clearing agent in histological tissue processing. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8(3), 112–115.
- Swetha, B., Kumar, P. S., & Ramani, P. (2022). Evaluation of natural coconut oil as a xylene substitute in oral histopathology: A systematic pilot study. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 26(2), 241–246.
- Thamilselvan, S., Sherlin, H. J., Jayaraj, G., Don, K. R., & Santhanam, A. (2021). Cedarwood oil as an alternative to xylene as a clearing agent in histopathological tissue processing - A comparative study. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology: JOMFP*, 25(2), 299–305. <https://doi.org/10.4103/0973-029X.325232>