

Recent developments in root canal treatment techniques in dental conservation

Perkembangan terkini teknik perawatan saluran akar dalam konservasi gigi

Made Mega Indah Purnamawati, Maya Sari Dewi, I Gusti Agung Ayu Hartini

Departemen Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Mahasasawati
Denpasar, Indonesia.

Corresponding author: **Made Mega Indah Purnamawati**, e-mail: megaindah@unmas.ac.id

ABSTRACT

Root canal treatment (RCT) is an important procedure in dental conservation to preserve teeth that have undergone pulp infection or damage. This literature review examines the latest developments in RCT techniques, focusing on publications from the last five years. A systematic literature search was conducted using electronic databases with relevant keywords. The results show rapid advances in rotary instruments, minimally invasive preparation techniques, irrigation systems, obturation materials, and regenerative approaches. Imaging technologies such as CBCT and operating microscopes also contribute significantly to improving treatment success. It was concluded that the latest techniques in RCT have improved the efficiency, accuracy, and success rate of treatment, although long-term research is still needed to comprehensively validate the effectiveness.

Keywords: root canal treatment, latest techniques and developments of RCT, conservative dentistry, endodontics

ABSTRAK

Perawatan saluran akar (PSA) merupakan prosedur penting dalam konservasi untuk mempertahankannya gigi yang mengalami infeksi atau kerusakan pulpa. Artikel ini mengkaji perkembangan terkini teknik PSA, dengan fokus pada publikasi lima tahun terakhir. Kajian sistematis ini berbasis data elektronik dengan kata kunci yang relevan. Hasil menampakkan kemajuan pesat dalam instrumen rotari, teknik preparasi minimal invasif, sistem irigasi, bahan obturasi, dan pendekatan regeneratif. Teknologi pencairan seperti CBCT dan mikroskop operasi juga berkontribusi signifikan dalam meningkatkan keberhasilan perawatan. Disimpulkan bahwa teknik-teknik terbaru PSA telah meningkatkan efisiensi, akurasi, dan tingkat keberhasilan perawatan, meskipun masih diperlukan penelitian jangka panjang untuk memvalidasi efektivitasnya secara komprehensif.

Kata kunci: perawatan saluran akar, teknik dan perkembangan terkini PSA, konservasi gigi, endodontik,

Received: 10 June 2025

Accepted: 25 October 2025

Published: 01 December 2025

PENDAHULUAN

Dalam perkembangannya, konservasi gigi telah mengalami transformasi signifikan dari pendekatan invasif menuju paradigma yang lebih konservatif dengan tujuan mempertahankan struktur gigi sebanyak mungkin. Perawatan saluran akar (PSA) atau endodontik menjadi salah satu prosedur utama dalam konservasi gigi yang memungkinkan gigi dengan infeksi atau kerusakan pulpa tetap dapat dipertahankan tanpa harus dilakukan dicabut.

Dalam beberapa dekade terakhir, ilmu konservasi gigi khususnya dalam bidang endodontik telah berkembang pesat seiring dengan kemajuan teknologi dan pemahaman yang lebih mendalam tentang biologi pulpa dan periradikular. Perkembangan ini mencakup berbagai aspek mulai dari diagnosis yang lebih akurat, teknik preparasi yang lebih efisien, hingga bahan dan instrumen yang lebih canggih. Menurut Gluskin dkk,¹ perkembangan teknologi dalam bidang endodontik telah mengubah paradigma perawatan dari yang sebelumnya berfokus pada penghilangan jaringan terinfeksi menjadi pendekatan yang lebih menekankan pada preservasi jaringan sehat dan regenerasi.

Signifikansi PSA dalam mempertahankan gigi alami tidak dapat diremehkan. Dibandingkan dengan pencabutan dan penggantian dengan gigi tiruan, mempertahankan gigi alami melalui PSA memberikan berbagai keuntungan, termasuk fungsi kunyah yang lebih baik, estetika yang lebih alami, dan pencegahan perubahan posisi gigi yang berdekatan. Studi oleh Raedel dkk,² menunjukkan bahwa gigi yang dirawat endodontik memiliki tingkat kelangsungan hidup jangka panjang yang tinggi, dengan tingkat keberhasilan mencapai 90% setelah 10 tahun jika direstorasi dengan tepat.

Kajian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan

terkini dalam teknik perawatan saluran akar dalam konteks konservasi gigi. Fokus utama kajian adalah pada inovasi dan kemajuan yang terjadi pada lima tahun terakhir, meskipun beberapa pustaka penting dari periode sebelumnya juga dimasukkan untuk memberikan konteks yang lebih komprehensif. Kajian ini mencakup perkembangan dalam instrumen dan peralatan, teknik preparasi dan obturasi, sistem irigasi, serta pendekatan regeneratif dalam perawatan saluran akar.

Ruang lingkup kajian dibatasi pada teknik PSA konvensional (non-bedah) pada gigi permanen, dengan penekanan pada aplikasi klinis dari teknologi dan teknik terbaru. Aspek-aspek seperti PSA bedah, perawatan pada gigi sulung, serta manajemen komplikasi pasca perawatan tidak dibahas secara mendalam pada kajian ini. Kajian ini memberikan gambaran komprehensif tentang *state-of-the-art* dalam teknik PSA dan implikasinya untuk praktik klinis dalam konservasi gigi.

TINJAUAN PUSTAKA

Dasar-dasar perawatan saluran akar

Endodontik atau PSA didefinisikan sebagai prosedur untuk menghilangkan jaringan pulpa yang terinfeksi atau nekrotik, membersihkan dan membentuk sistem saluran akar, serta mengisi dan menutup saluran tersebut dengan bahan yang biokompatibel untuk mencegah reinfeksi. Tujuan utama PSA adalah mempertahankan gigi agar berfungsi dengan baik tanpa tanda dan gejala patologi periradikular.³

Indikasi utama untuk PSA meliputi pulpitis ireversibel, nekrosis pulpa, periodontitis apikal, trauma yang menyebabkan kerusakan pulpa, serta pertimbangan prostetik karena gigi memerlukan pengurangan yang dapat mengakibatkan paparan pulpa. Sementara itu, kontraindikasi

PSA mencakup gigi dengan prognosis buruk karena kerusakan periodontal yang parah, fraktur vertikal akar, atau gigi yang tidak dapat direstorasi.⁴

Anatomisaluransakarmerupakan salah satutantangan utama dalam perawatan endodontik. Sistem saluran akar memiliki kompleksitas yang tinggi dengan variasi morfologi yang signifikan. Studi oleh Ahmed & Dummer⁵ menggunakan *micro-CT* menunjukkan bahwa saluran akar tidak hanya berupa tabung sederhana, tetapi merupakan sistem 3D yang kompleks dengan saluran lateral, delta apikal, istmus, dan ramifikasi. Kompleksitas ini sering menjadi hambatan dalam pembersihan dan pembentukan saluran akar secara menyeluruh, yang dapat menyebabkan persistensi organisme mikro dan kegagalan perawatan.

Pemahaman yang mendalam tentang anatomisaluransakar menjadi semakin penting dengan berkembangnya teknik preparasi minimal invasif yang bertujuan untuk mempertahankan struktur gigi sebanyak mungkin. Teknologi pencitraan 3D seperti *cone beam computed tomography* (CBCT) telah memberikan kontribusi signifikan dalam visualisasi dan pemahaman anatomisaluransakar sebelum dan selama perawatan.⁶

Kemajuan teknologi dalam perawatan saluran akar

Perkembangan instrumen rotari dan resiprokasi telah mengubah lanskap PSA dalam dekade terakhir. Evolusi dari instrumen *stainless steel*/manual ke instrumen nikel-titanium (NiTi) rotari telah meningkatkan efisiensi dan keamanan preparasi saluran akar. Generasi terbaru instrumen NiTi memiliki desain dan metallurgi yang ditingkatkan, termasuk perlakuan termal yang menghasilkan fleksibilitas dan resistensi fraktur yang lebih baik.⁷

Sistem rotari terbaru seperti *ProTaper Gold*, *EdgeFile X7*, dan *TruNatomy* menggunakan teknologi perlakuan termal yang canggih untuk meningkatkan sifat mekanis instrumen. Studi oleh Elhaghy & Elsaka⁸ menunjukkan bahwa instrumen dengan perlakuan termal memiliki resistensi siklik yang lebih tinggi dan kemampuan mempertahankan anatomisaluranyang lebih baik dibandingkan dengan instrumen konvensional. Sementara itu, sistem resiprokasi seperti *WaveOne Gold* dan *Reciproc Blue* menawarkan keamanan yang lebih tinggi dengan mengurangi risiko fraktur instrumen melalui gerakan bolak-balik yang terkontrol.

Teknologi pencitraan telah mengalami revolusi dengan pengenalan CBCT dan mikroskop operasi dalam praktik endodontik. CBCT memungkinkan visualisasi 3D dari sistem saluran akar, membantu dalam diagnosis lesi periradikular, identifikasi saluran tambahan, dan evaluasi resorpsi akar. Menurut Patel dkk.,⁶ CBCT telah menjadi alat yang tidak tergantikan dalam kasus-kasus kompleks karena radiografi konvensional tidak memberikan informasi yang cukup.

Mikroskop operasi telah meningkatkan presisi dalam prosedur endodontik dengan memberikan magnifikasi dan iluminasi yang superior. Studi oleh Khalighinejad dkk.⁹ menunjukkan bahwa penggunaan mikroskop operasi meningkatkan tingkat keberhasilan dalam identifikasi dan

PSA yang terlewatkan, manajemen perforasi, dan pengangkatan instrumen patah.

Bahan dan teknik obturasi saluran akar juga mengalami kemajuan signifikan. Biokeramik telah muncul sebagai bahan obturasi yang menjanjikan dengan sifat biokompatibilitas yang tinggi, kemampuan pembentukan hidroksipapatit, dan sifat antimikroba. Siler biokeramik seperti *EndoSequence BC Sealer* dan *BioRoot RCS* menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam hal kekéapan dan biokompatibilitas.¹⁰

Sistem irigasi dan aktivasi irigasi terkini telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan irigasi konvensional dengan jarum. Teknologi ultrasonik pasif, sonik, dan tekanan negatif seperti *EndoVact* telah menunjukkan efektivitas yang lebih baik dalam menghilangkan *debris* dan *smear layer* dari sistem saluran akar. Studi Virdee dkk.,¹¹ menunjukkan bahwa aktivasi irigasi dengan energi sonik (EDDY) dan laser (PIPS-*Photon-Induced Photo-acoustic Streaming*) secara signifikan meningkatkan penetrasi irigan ke area yang tidak terjangkau oleh irigasi konvensional.

Teknik-teknik terbaru dalam perawatan saluran akar

Teknik preparasi saluran akar minimal invasif telah menjadi fokus utama dalam endodontik modern. Filosofi ini bertujuan untuk mempertahankan struktur gigi sebanyak mungkin sambil tetap mencapai tujuan biologis perawatan saluran akar. Instrumen dengan *tapery* yang lebih kecil seperti *TruNatomy* dan *XP-endo Shaper* dirancang khusus untuk preparasi minimal invasif, memungkinkan preservasi dentin perikoronal yang lebih baik⁽¹⁾.

Studi oleh Silva dkk.,¹² menunjukkan bahwa preparasi minimal invasif menghasilkan resistensi fraktur yang lebih tinggi pada gigi yang dirawat endodontik dibandingkan dengan teknik preparasi konvensional. Namun, tantangan utama dalam pendekatan ini adalah memastikan pembersihan yang adekuat dari sistem saluran akar, yang memerlukan protokol irigasi yang lebih efektif dan teknologi aktivasi yang canggih.

Teknik *single-visit endodontics* telah populer dalam beberapa tahun terakhir. Meta-analisis oleh Moreira dkk.¹³ membandingkan hasil klinis perawatan saluran akar satu kunjungan dengan multi-kunjungan dan menemukan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam tingkat keberhasilan jangka panjang antara kedua pendekatan tersebut. Keuntungan utama dari perawatan satu kunjungan meliputi pengurangan waktu perawatan, eliminasi risiko kontaminasi antar kunjungan, dan kenyamanan pasien yang lebih tinggi.

Teknik regeneratif dalam endodontik merupakan paradigma baru yang bertujuan untuk meregenerasi kompleks pulpa-dentin daripada sekadar menggantinya dengan bahan obturasi. Revitalisasi pulpa, yang melibatkan induksi perdarahan periapikal untuk membentuk bekuan darah sebagai *scaffold* bagi sel-sel stem, telah menunjukkan hasil yang menjanjikan terutama pada gigi imatur dengan apeks terbuka.¹⁴

Perkembangan terbaru dalam teknik regeneratif meliputi penggunaan *scaffold* sintetis, faktor pertumbuhan,

dan terapi sel stem. Studi oleh Kahler dkk.¹⁵ menunjukkan bahwa penggunaan plasma kaya trombosit (*platelet-rich plasma-PRP*) sebagai *scaffold* dalam prosedur revitalisasi meningkatkan hasil klinis dengan mempromosikan perkembangan akar dan penutupan apex yang lebih baik.

Teknik perawatan saluran akar dengan bantuan laser telah mendapatkan perhatian karena kemampuannya dalam desinfeksi yang superior. Laser Er:YAG dan Nd: YAG telah digunakan untuk meningkatkan eliminasi *bio-film* dari sistem saluran akar. Studi oleh Martins dkk.¹⁶ menunjukkan bahwa iradiasi laser Er:YAG dengan protokol PIPS secara signifikan mengurangi populasi *Enterococcus faecalis* di dalam saluran akar dibandingkan dengan metode irigasi konvensional.

PEMBAHASAN

Efektivitas teknik-teknik terbaru

Perbandingan tingkat keberhasilan antara teknik konvensional dan teknik terbaru dalam perawatan saluran akar menunjukkan hasil yang menjanjikan untuk inovasi terkini. Meta-analisis oleh Chen dkk.¹⁷ yang melibatkan 24 studi klinis pada total 3.780 gigi menunjukkan bahwa perawatan menggunakan instrumen rotari NiTi generasi baru memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi (92,3%) dalam *follow-up* 2-5 tahun dibandingkan dengan instrumen manual (85,7%).

Efektivitas teknik preparasi minimal invasif masih menjadi subjek perdebatan. Sementara beberapa studi menunjukkan keuntungan dalam hal preservasi struktur gigi dan resistensi fraktur, studi lain mengkhawatirkan tentang kemampuan pembersihan yang mungkin terkompromikan. Penelitian oleh Rodrigues dkk.¹⁸ menggunakan *micro-CT* menunjukkan bahwa teknik minimal invasif dengan *XP-endo Shaper* menghasilkan preservasi dentin yang signifikan lebih baik dibandingkan dengan *ProTaper Next*, namun dengan tingkat pembersihan debris yang sebanding ketika dikombinasikan dengan protokol irigasi yang dioptimalkan.

Sistem irigasi terkini seperti *EndoVac* dan *XP-endo Finisher* telah menunjukkan efektivitas superior dalam menghilangkan *smear layer* dan *debris* dari sistem saluran akar. Studi *in vitro* oleh Virdee dkk.¹¹ menunjukkan bahwa aktivasi irigasi dengan *XP-endo Finisher* menghasilkan pembersihan istmus yang signifikan lebih baik dibandingkan dengan irigasi konvensional dengan jarum. Namun, studi klinis jangka panjang masih diperlukan untuk mengevaluasi dampak dari pembersihan yang ditingkatkan ini terhadap hasil perawatan.

Bahan obturasi biokeramik telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam studi laboratorium dan klinis awal. Studio oleh Donnermeyer dkk.¹⁰ menunjukkan bahwa siler biokeramik menghasilkan kekedaan yang lebih baik dan kebocoran apikal yang lebih rendah dibandingkan dengan siler berbasis resin epoksi. Namun, data jangka panjang tentang stabilitas dan hasil klinis dari bahan ini masih terbatas.

Teknik regeneratif, meskipun menjanjikan, tetapi masih menghadapi tantangan dalam hal prediktabilitas dan

standardisasi protokol. Studi oleh Diogenes & Rupareli¹⁴ menunjukkan variabilitas yang tinggi dalam hasil klinis prosedur revitalisasi, dengan beberapa kasus menunjukkan perkembangan akar dan pembentukan jaringan miring pulpa yang signifikan, sementara kasus lain menunjukkan hasil yang minimal.

Implikasi klinis

Pemilihan teknik perawatan saluran akar harus didasarkan pada pertimbangan kasus per kasus, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti anatomi saluran akar, kondisi pulpa dan periradikular, serta ketersediaan teknologi dan keahlian operator. Untuk kasus dengan anatomi yang kompleks, penggunaan CBCT pra-operatif dan mikroskop operasi sangat direkomendasikan untuk meningkatkan tingkat keberhasilan.⁶

Kurva pembelajaran dan adaptasi teknik baru dalam praktik klinis merupakan pertimbangan penting. Transisi dari instrumen manual ke rotari atau dari teknik konvensional ke minimal invasif memerlukan pelatihan dan pengalaman yang cukup. Studi oleh Elnaghy & Elsaka⁸ menunjukkan bahwa operator dengan pengalaman terbatas memiliki tingkat fraktur instrumen yang lebih tinggi dengan sistem rotari NiTi, menekankan pentingnya pelatihan yang adekuat.

Analisis biaya-manfaat dari teknik-teknik terbaru juga perlu dipertimbangkan. Investasi dalam teknologi seperti CBCT, mikroskop operasi, atau sistem laser memerlukan biaya yang signifikan, yang dapat memengaruhi aksesibilitas perawatan. Namun, peningkatan efisiensi dan tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dapat mengimbangi biaya awal ini dalam jangka panjang.²

Tren dan arah perkembangan masa depan

Teknologi dan teknik yang sedang dikembangkan dalam perawatan saluran akar mencakup robotik endodontik, navigasi dinamis, dan instrumen yang dapat beradaptasi dengan anatomi saluran akar. Sistem robotik seperti Yomi (Neocis Inc.) telah mulai diaplikasikan dalam endodontik untuk meningkatkan presisi akses endodontik dan lokalisasi *orifice* saluran akar.⁷

Pendekatan berbasis biologi dalam perawatan saluran akar merupakan arah yang menjanjikan untuk masa depan. Pengembangan bahan bioaktif yang dapat menstimulasi regenerasi jaringan pulpa-dentin, serta teknik modulasi respons imun untuk mengoptimalkan penyembuhan periradikular, sedang diteliti secara intensif.¹⁵

Integrasi kecerdasan buatan (*artificial intelligence - AI*) dan teknologi digital dalam PSA juga mulai muncul. Algoritma AI telah dikembangkan untuk membantu dalam diagnosis lesi periradikular dari radiografi, prediksi hasil perawatan, dan bahkan perencanaan preparasi saluran akar yang optimal berdasarkan data CBCT.⁹

Berdasarkan literatur review ini, disimpulkan bahwa perkembangan teknik PSA dalam konservasi gigi telah mengalami kemajuan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Inovasi dalam instrumen rotari NiTi, teknologi pencitraan, sistem irigasi, dan bahan obturasi telah meningkatkan efisiensi, keamanan, dan prediktabilitas PSA.

Pendekatan minimal invasif dan teknik regeneratif menawarkan paradigm baru yang menekankan pada preservasi struktur gigi dan potensi regenerasi jaringan pulpa-dentin.

Implikasi untuk praktik klinis dan pendidikan kedokteran gigi meliputi pentingnya pendidikan berkelanjutan untuk mengikuti perkembangan teknologi dan teknik terbaru, serta integrasi teknologi digital dalam kurikulum pendidikan endodontik. Praktisi klinis perlu mempertimbangkan adopsi teknologi baru secara kritis, dengan mempertimbangkan bukti ilmiah, kurva pembelajaran, dan analisis biaya-manfaat.

Rekomendasi untuk penelitian di masa depan meliputi kebutuhan akan studi klinis jangka panjang dengan ukuran sampel yang lebih besar untuk mengevaluasi

efektivitas teknik-teknik terbaru, standardisasi protokol untuk teknik regeneratif, serta pengembangan lebih lanjut dari pendekatan berbasis biologi dalam PSA. Penelitian interdisiplin yang menggabungkan endodontik dengan bidang seperti biologi molekuler, nanoteknologi, dan kecerdasan buatan juga sangat direkomendasikan.

Kesimpulan akhir dari review ini adalah bahwa perkembangan teknik PSA telah membawa kemajuan signifikan dalam konservasi gigi, memungkinkan preservasi gigi yang tingkat keberhasilannya lebih tinggi. Namun, tantangan dalam hal standardisasi protokol, aksesibilitas teknologi, dan validasi jangka panjang dari teknik-teknik terbaru perlu diteliti berkelanjutan, sehingga PSA dalam konservasi gigi tampak menjanjikan untuk meningkatkan kesehatan oral dan kualitas hidup pasien.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gluskin AH, Peters CL, Peters OA. Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *Br Dent J* 2020;228: 383-92.
2. Raedel M, Hartmann A, Bohm S, Walter MH. Three-year outcomes of root canal treatment: Mining an insurance database. *J Dent* 2021;105:103562.
3. Hargreaves KM, Berman LH. Cohen's pathways of the pulp. 12th ed. St. Louis: Elsevier; 2021.
4. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Present status and future directions in endodontic microbiology. *Endod Topics* 2022;30(1):3-22.
5. Ahmed HMA, Dummer PMH. A new system for classifying tooth, root and canal morphology. *Int Endod J* 2023;56:115-30.
6. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontontology position statement: use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int Endod J*. 2020;53(7):945-57.
7. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New technologies for disinfection and irrigation. *Dent Clin North Am*. 2023;63:91-104.
8. Elnaghy AM, Elsaka SE. Cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2022;55:508-18.
9. Khalighinejad N, Aminoshariae A, Kulild JC, Mickel A. The impact of magnification on endodontic therapy: A systematic review. *J Endod* 2023;49(1):3-11.
10. Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Real-world usage of bioceramics in endodontics: A systematic review. *J Endod*. 2021;47(8):1226-36.
11. Virdee SS, Seymour DW, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*. 2022;51:605-21.
12. Silva EJNL, Rover G, Belladonna FG, De-Deus G, da Silveira Teixeira C, da Silva Fidalgo TK. Impact of contracted endodontic cavities on fracture resistance of endodontically treated teeth: A systematic review of in vitro studies. *Clin Oral Investig* 2022;22:109-18.
13. Moreira MS, Anuar ASN, Tedesco TK, Dos Santos M, Morimoto S. Endodontic treatment in single and multiple visits: An umbrella review. *Int Endod J*. 2023;56(1):6-21.
14. Diogenes A, Ruparel NB. Regenerative endodontic procedures: Clinical outcomes. *Dent Clin North Am* 2022;66(1):41-57.
15. Kahler B, Chrepa V, Mickel A, Sigurdsson A. Clinical outcomes of regenerative endodontic procedures: A retrospective multicenter study. *J Endod*. 2023;49(4):418-27.
16. Martins MR, Carvalho MF, Vaz IP, Capelas JA, Martins MA, Gutknecht N. Efficacy of Er:YAG laser with PIPS on enterococcus faecalis in root canals: A systematic review of in vitro studies. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2022;40:4-11.
17. Chen Y, Li X, Zhang K, Hu D, Zhou X. Long-term outcomes of root canal treatment using nickel-titanium rotary instruments versus manual instrumentation: A systematic review and meta-analysis. *J Endod*. 2023;49(3):302-15.
18. Rodrigues RCV, Zandi H, Kristoffersen AK, Enersten M, Mdala I, Ørstavik D, et al. Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *J Endod* 2017;43:1058-63.