



Analisis Restorasi Pasca Perawatan Pulpektomi Gigi Decidui pada Anak: Tinjauan Literatur tentang Metode dan Efektivitasnya

Selvia Maysaroh^{1*}, Lasmi Dewi Nuraini²

¹Mahasiswa Profesi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Kebangkitan Nasional No. 101, Penumping, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57141

²Dosen Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. Kebangkitan Nasional No. 101, Penumping, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57141

Korespondensi penulis: selviamaysarohh@gmail.com

Abstract. *Background: Half of the 75 million children in Indonesia suffer from dental caries, and the number continues to rise each year. Caries is a disease that involves the enamel, dentin, and pulp of the tooth. If left untreated, it can reach the pulp and cause tooth necrosis. Pulpectomy is a dental procedure that involves removing the entire pulp tissue of deciduous teeth to access the infected root canal. This procedure is crucial to prevent the spread of infection. Post-pulpectomy restoration is essential to ensure the optimal function of the tooth and prevent further damage to the remaining tooth structure. The restoration must have adequate retention, minimal leakage, and not increase the risk of further damage to the remaining tooth structure. Methodology: This study is a qualitative research in the form of a literature review using secondary data collected in August 2024 from five main databases: PubMed, MDPI, ScienceDirect, Garuda (Garba Rujukan Digital), and Taylor & Francis. The collected data were then sorted to identify articles relevant to the research criteria. Results and Discussion: Based on the Prisma Diagram Flow, 343 articles were identified from the five databases, which were then filtered down to five articles that met the criteria to be the primary articles in this literature review. The results show that there are various types of post-pulpectomy restorations tailored to the diagnosis and clinical indications of the treated teeth. Conclusion: There are two commonly used types of post-pulpectomy restorations, namely restorations made of Glass Ionomer Cement (GIC) and Stainless Steel Crowns (SSC). Both of these restorations can be modified into space maintainers, which are essential in preserving space for the future growth of permanent teeth while improving the function of the treated tooth.*

Keywords: Dentition; Pulpectomy; Restoration; Tooth Decay; Pediatric Dentistry.

Abstrak. Latar belakang: Setengah dari 75 juta anak di Indonesia menderita karies gigi, dan jumlahnya terus bertambah setiap tahun. Karies merupakan penyakit yang melibatkan email, dentin, dan pulpa gigi. Jika tidak segera ditangani, karies dapat mencapai pulpa dan menyebabkan nekrosis gigi. Pulpektomi adalah prosedur kedokteran gigi yang dilakukan dengan mengangkat seluruh jaringan pulpa gigi decidui untuk memberikan akses ke saluran akar yang terinfeksi. Prosedur ini penting untuk mencegah penyebaran infeksi lebih lanjut. Setelah melakukan pulpektomi, restorasi gigi sangat penting untuk memastikan fungsi gigi yang optimal dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Restorasi pasca pulpektomi harus memiliki retensi yang baik, minimal kebocoran, serta tidak meningkatkan risiko kerusakan pada struktur gigi yang tersisa. Metode penelitian: Penelitian ini adalah penelitian kualitatif berbentuk literatur review dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh pada Agustus 2024 dari lima database utama yaitu PubMed, MDPI, ScienceDirect, Garuda (Garba Rujukan Digital), dan Taylor & Francis. Data yang dikumpulkan kemudian disortir untuk menemukan artikel yang relevan dan memenuhi kriteria penelitian. Hasil dan pembahasan: Berdasarkan alur Prisma Diagram Flow, sebanyak 343 artikel ditemukan dari lima database, yang kemudian disaring menjadi lima artikel yang memenuhi kriteria untuk menjadi artikel utama dalam literatur review ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat berbagai jenis restorasi pasca pulpektomi yang disesuaikan dengan diagnosis dan indikasi klinis gigi yang dirawat. Kesimpulan: Terdapat dua jenis restorasi pasca-pulpektomi yang banyak digunakan, yaitu restorasi berbahan Glass Ionomer Cement (GIC) dan Stainless Steel Crown (SSC). Kedua jenis restorasi ini dapat dimodifikasi menjadi alat space maintainer, yang penting dalam mempertahankan ruang untuk pertumbuhan gigi permanen yang akan datang, sekaligus meningkatkan fungsi gigi tersebut.

Kata kunci: Dentisi; Pulpektomi; Restorasi; Karies Gigi; Kedokteran Gigi Anak.

1. LATAR BELAKANG

Masalah gigi dan mulut khususnya karies gigi merupakan penyakit yang dialami hampir setengah dari populasi penduduk di dunia (3,58 miliar jiwa) (Aprilianti dan Effendi, 2021). Berdasarkan data Survey Kesehatan Indonesia (SKI) tahun 2023, prevalensi karies pada anak usia 5-9 tahun mencapai 84,8% (Kemenkes RI, 2023). Tetapi gigi decidui dianggap akan terganti seiring dengan pertumbuhan, dan karies gigi anak tidak terlalu diperhatikan. Sebanyak setengah dari 75 juta anak-anak di Indonesia menderita karies gigi dan jumlahnya makin bertambah setiap tahun (Andriyani *et al.*, 2023). (Nabila *et al.*, 2023). Karies gigi ialah penyakit yang melibatkan email, dentin, dan pulpa gigi. Kondisi karies jika tidak segera dilakukan perawatan dapat mencapai jaringan pulpa, dan jika sel-sel pada pulpa telah rusak/mati maka terjadilah nekrosis atau kematian pulpa (Syakirah dan Deynilisa, 2020). Penelitian Syakirah dan Deynilisa (2020) menunjukkan gambaran bahwa hanya sedikit orang yang peduli pada kondisi nekrosis pulpa, apalagi jika hal ini terjadi pada anak-anak.

Pulpektomi merupakan salah satu prosedur kedokteran gigi berupa pengangkatan seluruh jaringan pulpa pada gigi decidui untuk mendapatkan akses ke saluran akar yang terinfeksi (Jena, 2020). Pulpektomi dikategorikan menjadi pulpektomi parsial dan total. Pulpektomi parsial ialah mengangkat $\frac{1}{3}$ hingga $\frac{1}{2}$ koronal pulpa dari saluran akar, sedangkan pulpektomi total/*complete pulpectomy* ialah mengangkat seluruh jaringan pulpa dari saluran akar. Sedangkan Hartomo *et al.* (2021) menyatakan bahwa pulpektomi dibedakan menjadi pulpektomi vital dimana pengangkatan jaringan pulpa dilakukan pada gigi yang masih vital, contohnya pada gigi pasca trauma, dan pulpektomi devital yaitu pengangkatan seluruh jaringan pulpa yang sebelumnya dimatikan dengan bahan devitalisasi. Pulpektomi nonvital ini diindikasikan pada gigi decidui yang nekrosis, tidak goyang dan jaringan periodontal menunjukkan kondisi yang normal. Studi lain yang dilakukan oleh Jena (2020) menjelaskan bahwa pulpektomi diindikasikan pada pasien dengan kondisi yang kooperatif, sehat secara keseluruhan, gigi decidui yang tidak punya gigi permanen pengganti, pulpitis irreversible, adanya resorpsi internal, dan setidaknya $\frac{2}{3}$ panjang akar dapat dicapai Jena (2020). Kontraindikasi pulpektomi ialah pada kondisi gigi yang luksasi, gigi dengan adanya kista di periapikalnya, adanya perforasi dasar kamar pulpa, panjang akar kurang dari $\frac{2}{3}$ panjang awal, dan pasien dengan kondisi *medically compromised*. Perawatan pulpektomi bertujuan untuk mempertahankan gigi decidui hingga waktunya digantikan gigi permanen, alih-alih dilakukan cabut gigi sehingga fungsi mastikasi, artikulasi, dan estetika tetapi terjaga (Hartomo *et al.*, 2021).

Restorasi gigi pasca perawatan pulpa seperti pulpektomi membutuhkan perhatian khusus, karena restorasi tersebut harus memiliki retensi yang adekuat, minim kebocoran, dan tidak meningkatkan risiko rusaknya jaringan gigi yang tersisa (de Andrade et al., 2023). Studi mengatakan bahwa gigi pasca perawatan pulpa yang telah kehilangan banyak struktur membutuhkan restorasi akhir yang melingkupi tonjol gigi, sehingga memberikan proteksi terhadap tekanan selama pengunyahan dan mencegah fraktur mahkota. Jenis restorasi untuk gigi decidui yang paling efektif untuk jangka panjang pasca perawatan pulpa ialah menggunakan stainless steel crown, sedangkan bila tersisa email yang cukup maka dapat menggunakan bahan resin komposit (Murika Sari dan Wardani Mahendra, 2023). *Literature review* mengenai bahan restorasi yang digunakan pasca pulpotomi sudah pernah dilakukan, tapi belum ada *literature review* yang membahas bahan restorasi pasca perawatan pulpektomi. Berangkat dari latar belakang tersebut, *literature review* ini dibuat untuk mengetahui jenis-jenis restorasi beserta kelebihan dan kekurangannya masing-masing yang digunakan pasca perawatan pulpektomi gigi decidui.

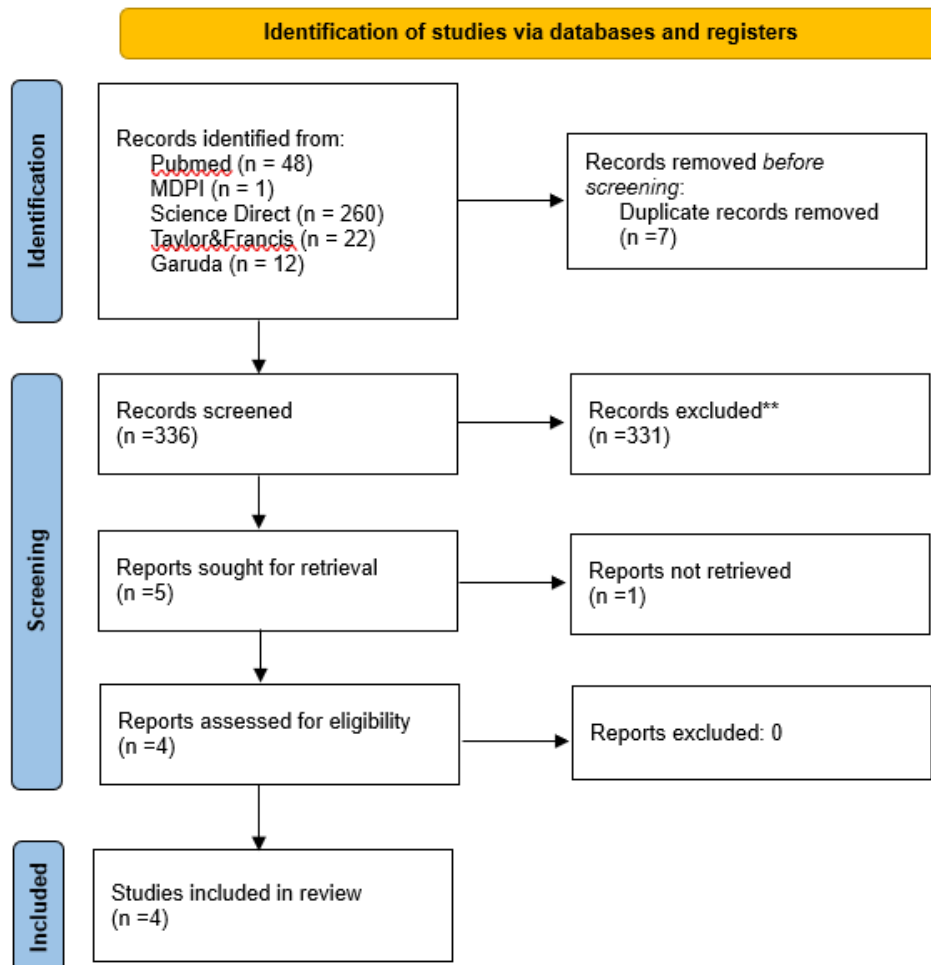
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif berbentuk *literature review* dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh selama bulan Agustus 2024 dari lima *database* yaitu *Pubmed*, MDPI, *ScienceDirect*, Garuda (Garba Rujukan Digital), dan *Taylor&Francis* menggunakan akses dari *e-resources* Perpustakaan Nasional RI. Artikel yang dipilih ialah yang memenuhi kriteria inklusi sebagai berikut: artikel berupa laporan kasus/*case report*, artikel yang dipublikasikan dalam 5 tahun terakhir yaitu tahun 2019-2024, artikel yang membahas restorasi gigi decidui pasca perawatan pulpektomi, artikel yang dapat diakses secara penuh, dan artikel yang ditulis dalam bahasa inggris atau indonesia. Sedangkan artikel yang dieksklusikan ialah yang memiliki kriteria: tidak dijelaskan mengenai restorasi akhir pasca perawatan pulpektomi, pulpektomi yang dilakukan pada gigi permanen/dewasa, dan pulpektomi yang tidak menjadi bahasan utama artikel tersebut. Artikel yang didapatkan dari 3 database di atas kemudian disortir mengikuti alur dari Prisma *diagram flow* (PRISMA Statement, 2020) sehingga menghasilkan beberapa artikel utama sebagai sumber dari *literature review* ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Data sekunder yang didapatkan kemudian disortir hingga didapatkan sejumlah 4 artikel utama. Proses alur pemilihan artikel dapat dilihat pada prisma *diagram flow* (PRISMA Statement, 2020) di bawah (**Gambar 1**). Pada tahapan akhir pemilihan artikel digunakan *checklist critical appraisal tools for case reports* dari Joanna Briggs Institute (JBI, 2020) untuk mendapatkan artikel-artikel yang memenuhi syarat.



Gambar 1. Alur PRISMA diagram flow dalam pemilihan artikel utama

Pada *diagram flow* di atas menunjukkan bahwa awalnya didapatkan total sebanyak 343 artikel dari 5 database yaitu *Pubmed* sebanyak 48 artikel, MDPI sebanyak 1 artikel, *ScienceDirect* sebanyak 260 artikel, *Taylor&Francis* sebanyak 22 artikel, dan Garuda (Garba Rujukan Digital) sebanyak 12 artikel. Semua artikel ini kemudian dihilangkan duplikatnya sehingga menyisakan 336 artikel yang akan dipilih menyesuaikan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sebelumnya, sehingga menyisakan 5 artikel yang sesuai. Dari 5 artikel

ini 1 artikel tidak dapat diakses secara penuh sehingga pada akhirnya terdapat 4 artikel yang memenuhi syarat setelah dilakukan pengecekan menggunakan *checklist critical appraisal tools for case reports* dari Joanna Briggs Institute (JBI, 2020) oleh 2 *reviewer*.

Terdapat 4 artikel utama yang akan dibahas dalam *literature review* ini, artikel pertama dibuat oleh Lai *et al.* (2020) berjenis laporan kasus pada anak usia 6 tahun yang memiliki kondisi osteogenesis imperfekta tipe III dengan gigi yang membutuhkan perawatan pulpektomi. Artikel ke 2 dibuat oleh yang membahas kasus nekrosis gigi yang dilakukan pulpektomi Hartomo *et al.* (2021). Sedangkan artikel ke 3 oleh Rahmadani dan Mahendra (2023) dan artikel ke 4 oleh Sari dan Christiono (2019) ialah kasus fraktur gigi yang dilakukan pulpektomi dan restorasi akhir GIC. Semua artikel berjenis laporan kasus yang diterbitkan dari 2019-2023. Deskripsi rincian artikel utama ini dapat dilihat pada **Tabel 1** di bawah.

Tabel 1. Deskripsi karakteristik artikel utama

No.	Penulis	Tahun	Judul	Usia Pasien	Jenis Penelitian
1	Lai et al.	2020	<i>Dental management and consideration of patients with severe deforming, type III osteogenesis imperfecta in clinic: A case report</i>	6	Laporan kasus
2	Hartomo et al.	2021	<i>Selection of Obturations Materials in Pulpectomy Treatment of Deciduous Teeth</i>	6	Laporan kasus
3	Rahmadani and Mahendra	2023	Penatalaksanaan Fraktur Mahkota Kompleks dengan Pulpektomi Vital pada Gigi Desidui: Laporan Kasus	4	Laporan kasus
4	Sari and Christiono	2019	Penatalaksanaan Perforasi Korona pada Pulpektomi Gigi Decidui	6	Laporan kasus

Pada **Tabel 2** di bawah, dapat dilihat rincian dari diagnosis dan indikasi tiap laporan kasus yang melibatkan prosedur pulpektomi dan restorasi pasca pulpektomi. Restorasi akhir pasca perawatan pulpa harus memperhatikan diagnosis dan indikasi klinis gigi tersebut, terdapat 2 artikel yang menggunakan *stainless-steel crown* sebagai restorasi akhir pasca pulpektomi dengan diagnosis karies profunda perforasi dan *pulpitis irreversible*. Sedangkan 2 artikel lain menggunakan restorasi direk dengan bahan GIC sebagai restorasi akhir dengan indikasi karies mencapai pulpa dan fraktur mencapai pulpa. Keempat artikel ini menunjukkan kondisi klinis adanya keterlibatan pulpa, dimana 3 artikel menunjukkan karies sebagai penyebabnya dan 1 artikel lain menunjukkan fraktur sebagai penyebabnya. Selain itu 3 artikel melakukan prosedur pulpektomi dan restorasi di gigi posterior dan 1 artikel melakukan pulpektomi dan restorasi akhir pada gigi anterior.

Tabel 2. Diagnosis dan pilihan restorasi pada tiap laporan kasus

No.	Penulis	Diagnosis	Indikasi	Restorasi yang digunakan
1	Lai et al.	Karies profunda perforasi gigi 65	Karies mencapai pulpa pada gigi molar atas disertai hasil perkusi positif, dengan kondisi sistemik <i>osteogenesis imperfecta</i> tipe III	<i>Stainless-steel crown</i>
2	Hartomo et al.	Gigi 65 nekrosis pulpa	Karies profunda gigi 65 bagian oklusal mencapai pulpa, perkusi (-) palpasi (-) mobilitas (-) vitalitas (-). Radiografi menunjukkan adanya lesi periapikal.	Restorasi GIC
3	Rahmadani and Mahendra	Fraktur mahkota kompleks <i>et causa traumatic injury</i> gigi 51 dan 61.	Gigi 51 dan 61 fraktur melibatkan pulpa (kompleks)	Restorasi GIC
4	Sari and Christiono	Gigi 84 karies profunda dengan <i>pulpitis irreversible</i>	Gigi 84 kavitas oklusal kedalaman pulpa tertutup, sondasi (+), perkusi (-), palpasi (-), mobilitas (-), drag (-) dan vitalitas (+). Tidak ada lesi periapikal pada radiografi.	<i>Stainless steel crown (SSC)</i> .

Pada keempat artikel di *literature review* ini, jenis restorasi pasca pulpektomi gigi decidui yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi restorasi direk dan tidak direk. Selain itu restorasi yang digunakan dapat juga dikategorikan menjadi 2 yaitu restorasi dengan modifikasi *space maintainer* (SM) dan tanpa modifikasi *space maintainer* (SM). Hal ini dapat dilihat pada tabel 3 di bawah.

Tabel 3. Tipe dan modifikasi restorasi pasca pulpektomi

No.	Penulis	Elemen	Restorasi	Tipe	Modifikasi SM	Kondisi awal	Kondisi akhir
1.	Lai et al.	65	SSC	Indirek	Iya		
2.	Hartomo et al.	65	GIC	Direk	Tidak		
3.	Rahmadani and Mahendra	51, 61			Tidak		
4.	Sari and Christiono	84	SSC	Indirek	Tidak		

Pada tabel 3 dapat terlihat bahwa 2 artikel menggunakan bahan restorasi indirek berupa *stainless steel crown* (SSC) dan 2 lainnya menggunakan restorasi direk berupa GIC. Salah satu artikel yang menggunakan SSC sebagai restorasi akhir pasca pulpektomi melakukan modifikasi SSC sehingga dapat sekaligus menjadi alat *space maintainer* (artikel 1).

B. Pembahasan

Gigi yang telah mengalami perawatan pulpa/syaraf memiliki kondisi yang berbeda-beda di setiap pasien, dan kondisinya lebih rentan terhadap gaya lateral yang diterima (de Kuijper & Gresnigt, 2024). Oleh karena itu pemilihan restorasi pasca perawatan syaraf gigi seperti pulpektomi perlu diperhatikan dengan seksama. Restorasi pasca perawatan pulpa harus memperhatikan diagnosis dan indikasi klinis gigi tersebut. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Kalalo, *et al.* (2022) bahwa pemilihan restorasi gigi yang telah dirawat syaraf harus memperhatikan indikasi penggunaannya dan melihat dukungan dari gigi ataupun jaringan sekitar gigi (Kalalo *et al.*, 2022). Pada *literature review* ini, artikel 1 dan 4 menggunakan SSC sebagai restorasi akhir pasca pulpektomi, kondisi klinis pasien di artikel pertama ialah karies mencapai pulpa pada gigi 65 dengan perkusi (+) dan gigi 64 sisa akar sehingga harus dicabut. Pasien pada artikel 1 ini memiliki penyakit *osteogenesis imperfecta* (OI) dengan manifestasi oral berupa *dentinogenesis imperfecta* (DI), sehingga penggunaan SSC pada kasus ini sejalan dengan Kaur *et al.* (2019) bahwa kondisi pasien dengan DI membutuhkan perawatan seperti restorasi SSC, restorasi adhesif, atau *space maintainer* karena kondisi DI menghasilkan gigi pasien yang mudah terkikis/aus, lebih sensitif, diskolorasi, dan lebih rentan terhadap karies sehingga SSC menjadi pilihan yang direkomendasikan untuk meminimalisir komplikasi akibat keausan gigi (*excessive tooth wear*) (Kaur *et al.*, 2019). Pada artikel 4 kasus yang ada berupa gigi 84, Karies luas mencapai pulpa tertutup dengan diagnosis pulpitis irreversible, penggunaan SSC pada kasus ini sesuai dengan pernyataan Warizky *et al.* (2024) bahwa SSC merupakan restorasi yang paling sering dipilih untuk memperbaiki dan mempertahankan sisa jaringan gigi yang mengalami karies yang meluas atau parah (Warizky dan Jeffrey, 2024). Penggunaan SSC pasca pulpektomi di kasus ini juga didukung oleh penjelasan Prasetya, *et al.* (2024) bahwa SSC merupakan restorasi ekstrakoronal yang digunakan pada gigi desidui dengan karies luas, defek enamel, pasca perawatan saluran akar, restorasi preventif pada pasien dengan risiko karies tinggi atau kondisi *bruxism*, restorasi *crossbite* pada satu gigi, dan sebagai gigi *abutment* untuk *space maintainer* (Prasetya *et al.*, 2024).

Pada keempat artikel yang dibahas dalam *literature review* ini, artikel 2 dan 3 menunjukkan kasus dimana gigi masih memiliki struktur gigi yang cukup untuk dilakukan restorasi direk, sedangkan pada artikel 1 dan 4 operator menggunakan restorasi indirek karena

kavitas yang luas pada gigi dan sisa jaringan gigi yang sedikit, serta pada artikel 1 terdapat kondisi ausnya gigi akibat kondisi DI. Hal ini sesuai yang dijelaskan Kuijper (2024) bahwa jika struktur dentin periservikal masih tersisa maka restorasi direk/*adhesive* diindikasikan, sedangkan jika tidak maka harus menggunakan restorasi indirek (de Kuijper dan Gresnigt, 2024). Alhamdhan (2024) menyatakan bahwa menentukan restorasi pasca perawatan syaraf gigi seperti pulpektomi harus mempertimbangkan antara lain sisa struktur gigi yang ada dan posisinya di dalam lengkung rahang (Alhamdhan *et al.*, 2024) dimana penentuan restorasi akhir ini berpengaruh pada durasi keberhasilan perawatan syaraf gigi.

Pada artikel 1 yang ditulis oleh Lai, *et al.* (2020) restorasi akhir pasca pulpektomi yang digunakan ialah SSC dengan modifikasi menjadi alat *space maintainer* (Lai *et al.*, 2020). Hal ini sesuai yang dinyatakan oleh Sakulratchata dan Kriangkrai (2022) bahwa restorasi *stainless steel crown* (SSC) dapat dimodifikasi menjadi *space maintainer* (SM) pada kondisi hilangnya gigi decidui yang terlalu awal (Sakulratchata dan Kriangkrai, 2022), studinya memaparkan kasus *premature loss* gigi molar pertama decidui rahang bawah akibat pencabutan dan menggunakan mahkota SSC dan *hard wire* untuk membentuk alat SM. Prasetya, *et al.* (2024) dalam studinya juga menyatakan bahwa restorasi SSC dapat digunakan pada gigi *abutment* pada alat *space maintainer* (Prasetya *et al.*, 2024).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Terdapat berbagai jenis restorasi akhir pasca perawatan pulpektomi, yang penggunaannya disesuaikan dengan diagnosis dan indikasi klinis gigi yang dirawat. Dokter gigi harus cermat dalam menilai kondisi gigi dan merekomendasikan restorasi akhir pasca perawatan pulpektomi yang terbaik pada pasien, sehingga perawatan gigi mencapai hasil maksimal dan dapat bertahan selama mungkin. Selain itu pada kondisi tertentu restorasi pasca pulpektomi dapat dimodifikasi menjadi alat *space maintainer* sesuai kondisi klinis pasien. Pada *literature review* ini mencakup 2 jenis restorasi pasca pulpektomi yaitu GIC dan SSC, diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi bagi peneliti lain. Penelitian selanjutnya dibutuhkan untuk menggali dan membandingkan lebih banyak jenis restorasi pasca pulpektomi gigi decidui.

DAFTAR REFERENSI

Al-Najjar, B., & Alsyouf, I. (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics*, 84(1), 85-100. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00380-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00380-8)

- ASTM International. (2017). *ASTM D5185-18: Standard test method for multielement determination of used and unused lubricating oils and base oils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES)*. ASTM International.
- Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. N. P. (2016). *Introduction to maintenance engineering: Modelling, optimization and management*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118926581>
- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2012). *Machinery failure analysis and troubleshooting: Practical machinery management for process plants* (4th ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386045-3.00004-0>
- Brown, A. (2019). Cost avoidance strategies in heavy equipment maintenance. *International Journal of Engineering Management*, 12(2), 89-102.
- Heng, A., Zhang, S., Tan, A. C. C., & Mathew, J. (2009). Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(3), 724-739. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2008.06.009>
- ISO. (2016). *ISO 17359: Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines*. International Organization for Standardization.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483-1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- Johnson, R. (2021). Maintenance strategies for heavy equipment: Preventive vs predictive. *Journal of Maintenance Engineering*, 18(4), 56-70.
- Komatsu Ltd. (2010). *Shop manual for Komatsu PC200-8 excavator (SEN00084-10)*.
- Li, W., & He, D. (2012). Rotational machine health monitoring and fault detection using EMD-based acoustic emission feature quantification. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61(4), 990-1001. <https://doi.org/10.1109/TIM.2011.2179933>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-075067531-4/50006-3>
- Peng, Y., Dong, M., & Zuo, M. J. (2010). Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: A review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50, 297-313. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0>
- PT. Antareja Mahada Makmur. *Profil perusahaan*. Diakses pada 4 Februari 2025 dari <https://amm.id/tentang-kami/>
- Sharma, A., Yadava, G. S., & Deshmukh, S. G. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(1), 5-25. <https://doi.org/10.1108/13552511111116222>
- Smith, J. (2018). Predictive maintenance in mining industry: A case study. *Journal of Industrial Engineering*, 45(3), 123-135.

- Hilmawan, R., Clark, A. L., & Hermawan, R. (2017). Policy change in Indonesia's coal sector: Domestic market obligation and its impact. *Energy Policy*, 108, 563-573. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.015>
- Kumar, R., & Singh, A. (2021). Failure analysis of final drive system in heavy earth moving machinery. *Engineering Failure Analysis*, 124, 105394. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105394>
- Prasetyo, A., & Ardiansyah, H. (2019). Performance evaluation of hydraulic excavators in mining operations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(1), 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/311/1/012048>
- Putra, D. Y., Nugroho, S., & Yuliani, N. (2022). Reliability analysis of heavy equipment components in mining operations. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 14(2), 85-94. <https://doi.org/10.14710/jmet.14.2.85-94>
- Rahman, A., Syahrani, S., & Pratama, B. (2020). Maintenance management of heavy equipment in coal mining industry. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 11247-11255.
- Suryanto, A., & Hidayat, R. (2023). Preventive maintenance strategy for final drive unit in excavators to reduce downtime. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 18(2), 145-156. <https://doi.org/10.33510/jtr.v18i2.145-156>
- Wibowo, H., Setiawan, B., & Susilo, D. (2021). Cost analysis of heavy equipment downtime in Indonesian mining companies. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 35(7), 495-510. <https://doi.org/10.1080/17480930.2021.1882089>
- World Bank. (2023). *Indonesia economic prospects: Navigating coal transition*. The World Bank. <https://www.worldbank.org>
- Zhang, Y., Li, X., & Chen, H. (2020). Condition monitoring and predictive maintenance of construction equipment using IoT and machine learning. *Automation in Construction*, 114, 103182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103182>