



TINJAUAN PUSTAKA

Anatomi Mikroskopik Pulpa Gigi: Kajian Pustaka

Diva Marcelina Wulandari¹, Annisaa Putri Ariyani², Wita Anggraini³,
Indrani Sulistyowati⁴

¹Program Studi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Trisakti,
^{2,3,4}Subdivisi Anatomi, Departemen Biologi Oral, Fakultas Kedokteran Gigi,
Universitas Trisakti

Email: indrani@trisakti.ac.id

Abstrak: Jaringan pulpa gigi merupakan jaringan ikat lunak yang berperan penting dalam mempertahankan vitalitas, nutrisi, dan proteksi gigi. Pulpa tersusun dari berbagai jenis sel, termasuk odontoblas, fibroblas, sel punca, dan sel imun seperti makrofag dan limfosit, yang seluruhnya bekerja secara terkoordinasi untuk menjaga homeostasis dan mendukung kemampuan regeneratif jaringan. Pulpa juga menerima suplai darah dan saraf yang mendukung respons terhadap cedera. Sel punca mampu berdiferensiasi menjadi odontoblas yang berperan meregenerasi struktur kompleks dentin-pulpa. Telaah Pustaka ini menekankan pentingnya pemahaman anatomi mikroskopik pulpa gigi untuk mendukung strategi terapi regeneratif terkini di bidang kedokteran gigi.

Kata kunci: pulpa gigi, sel punca, terapi regeneratif

Microscopic Anatomy of Dental Pulp

Abstract: *The dental pulp is a soft connective tissue that plays a crucial role in maintaining tooth vitality, nutrition, and protection. It is composed of various cell types, including odontoblasts, fibroblasts, stem cells, and immune cells such as macrophages and lymphocytes, which work in a coordinated manner to preserve homeostasis and support the tissue's regenerative capacity. The pulp also receives blood supply and innervation that facilitate responses to injury. Stem cells are capable of differentiating into odontoblasts, forming dentin-pulp complex structures, and contributing to pulp tissue regeneration. This literature review emphasizes the importance of understanding the microscopic anatomy of dental pulp to support current regenerative therapeutic strategies in dentistry.*

Keywords: *dental pulp, stem cells, regenerative therapy*

PENDAHULUAN

Pulpa adalah jaringan ikat lunak dengan persarafan dan suplai darah

yang mengisi ruang pulpa.

Pemahaman mengenai anatomi mikroskopik pulpa sangat penting,

terutama dalam konteks regenerasi jaringan. Sistem vaskular pulpa tidak hanya berfungsi menyalurkan nutrisi dan membuang sisa metabolisme, tetapi juga berperan aktif dalam memediasi respons inflamasi serta mendukung proses regeneratif jaringan tersebut.¹

Pulpa gigi memiliki fungsi penting dalam penyediaan nutrisi, persarafan, dan regenerasi dentin. Pulpa berperan dalam memelihara kelembaban dan menyediakan nutrisi seperti albumin, transferin, tenascin, dan proteoglikan untuk mendukung vitalitas jaringan dentin yang dibentuk oleh odontoblas. Pulpa juga berperan dalam penghantaran rangsangan sensorik, seperti nyeri, suhu, dan tekanan.² Selain itu, pulpa mampu membentuk dentin baru sebagai respons protektif terhadap rangsangan maupun cedera sehingga dapat melindungi jaringan vital dari iritan eksternal dan menghambat progresi lesi karies.²⁻⁴

Pemeliharaan vitalitas pulpa merupakan tujuan utama perawatan endodontik untuk mencegah kerusakan dan kehilangan gigi di masa mendatang. Keberhasilan proses regenerasi pulpa sangat bergantung

pada kemampuan revaskularisasi yang optimal sehingga dapat menjaga vitalitas pulpa. Dalam praktik klinis, kebutuhan regenerasi pulpa umumnya muncul pada kondisi patologis seperti inflamasi pulpa, nekrosis, maupun periodontitis apikalis.¹

Secara fungsional, pulpa berperan sebagai jaringan aktif yang mengatur berbagai aktivitas sel di dalamnya. Kandungan molekul organik dalam jaringan ini memungkinkan terjadinya proses migrasi, proliferasi, adhesi, dan diferensiasi sel yang mendukung pemeliharaan vitalitas serta potensi regeneratif jaringan pulpa. Dengan demikian, pemahaman yang mendalam mengenai struktur dan fungsi mikroskopik pulpa menjadi dasar penting bagi pengembangan terapi regeneratif di bidang endodontik.⁵

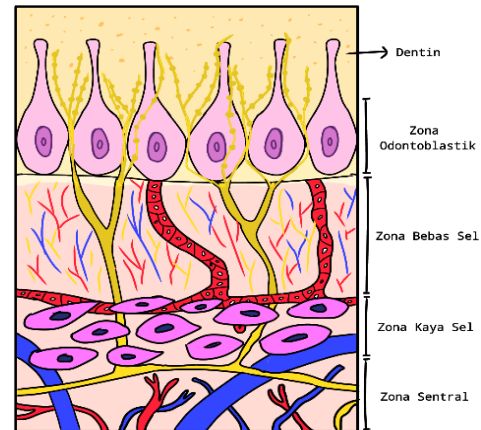
ISI

Struktur Jaringan Pulpa

Pulpa gigi merupakan jaringan lunak yang berada di dalam ruang pulpa dan dibatasi oleh dentin. Secara anatomi, pulpa memiliki bagian yang menonjol ke arah mahkota yang disebut tanduk pulpa, serta bagian

yang memanjang dari servikal gigi hingga apeks dikenal sebagai pulpa radikular.² Pembagian letak ini menentukan bentuk dan batas ruang pulpa, termasuk saluran akar sebagai jalur utama vaskularisasi dan persarafan.^{1,6}

Secara mikroskopik, pulpa tersusun atas beberapa zona histologis dengan fungsinya masing-masing.⁶ (Gambar 1). Zona odontoblastik menjadi zona terluar yang berisi odontoblas sebagai penghasil matriks dentin. Zona bebas sel terletak tepat di bawah zona odontoblastik dan didominasi oleh serabut saraf serta kapiler kecil. Zona selanjutnya adalah zona kaya sel dengan banyak fibroblas dan sel mesenkim yang belum berdiferensiasi yang berfungsi mendukung proses regenerasi serta mempertahankan keberlangsungan odontoblas. Zona terdalam, yaitu zona sentral, terdiri atas pembuluh darah berukuran lebih besar, serabut saraf, dan fibroblas yang berfungsi menjaga vitalitas jaringan pulpa.²



Gambar 1. Ilustrasi Struktur Histologis Pulpa Gigi

Selain komponen selulernya, pulpa memiliki matriks ekstraseluler (MES) yang berperan dalam menjaga struktur dan fungsi jaringan. MES pulpa terdiri atas kolagen yang memberikan kekuatan, serta serat elastik yang mempertahankan fleksibilitas jaringan. Glikoprotein seperti fibronectin membantu adhesi dan migrasi sel sekaligus mendukung mineralisasi dentin, sedangkan proteoglikan menjaga kelembaban dan mendukung nutrisi sel. Beberapa protein lainnya, seperti annexin, turut berperan dalam proses regenerasi pulpa. Keseluruhan komponen MES ini bekerja sama untuk mempertahankan integritas dan kemampuan regeneratif pulpa.^{4,7-9}

Komposisi Seluler Jaringan Pulpa

Jaringan pulpa gigi terdiri dari beberapa jenis sel yang terkoordinasi dalam mempertahankan vitalitas dan fungsi biologisnya.² Pada lapisan terluar, odontoblas membentuk batas antara dentin dan pulpa. Sel-sel ini tidak hanya berperan dalam pembentukan dentin primer saat perkembangan gigi, tetapi juga aktif menghasilkan dentin sekunder sepanjang hidup, menyesuaikan dengan perubahan fisiologis. Ketika pulpa terkena rangsangan eksternal seperti karies, trauma, atau tekanan mekanis, odontoblas dapat memicu pembentukan dentin reaksioner sebagai perlindungan tambahan.^{3,4,10}

Fibroblas merupakan jenis sel yang paling dominan pada jaringan pulpa. Selain berperan dalam mensintesis dan mensekresi beberapa jenis kolagen, fibroblas juga berperan dalam pembentukan MES yang penting untuk adhesi sel dan mempertahankan fungsi pulpa. Fibroblas juga memiliki peran dalam angiogenesis dengan memfasilitasi pembentukan pembuluh darah baru ketika terjadi kerusakan jaringan pulpa.¹¹

Pulpa juga mengandung *dental pulp stem cells* (DPSCs) atau sel punca yang berada terutama di zona kaya sel. Sel punca ini memiliki kemampuan proliferasi dan diferensiasi yang tinggi, sehingga berperan penting dalam regenerasi jaringan pulpa. Sel-sel ini dapat berdiferensiasi menjadi berbagai tipe, yaitu sel endotelial, *fibroblast-like cells*, dan *odontoblast-like cells*, sehingga mendukung proses regenerasi pulpa dan dentin melalui pembentukan dentin reparatif.^{3,4,12}

Komponen imun pulpa meliputi makrofag, limfosit T, serta sel imun lain seperti sel dendritik, sel mast, dan sel plasma. Makrofag dan limfosit berperan utama melakukan fagositosis dan pengaturan respons inflamasi. Sel-sel ini juga berinteraksi dengan fibroblas, sel punca, dan sel endotelial untuk menjaga homeostasis jaringan dan mendukung regenerasi.^{2,12}

Vaskularisasi dan Inervasi Jaringan Pulpa

Darah yang menyuplai pulpa gigi berasal dari percabangan *arteria carotis communis*, yang di sisi kiri berawal dari *arcus aortae* dan di sisi kanan dari *truncus brachiocephalicus*.

Arteri ini kemudian bercabang menjadi *arteria carotis externa* dan *interna* pada level *vertebra cervicalis IV* (C4), di dekat *cartilago thyroidea* dan *os hyoideum*. *Arteria carotis externa* menyuplai sebagian besar struktur kepala dan leher, termasuk rahang dan gigi, sedangkan *arteria carotis interna* masuk ke dalam *cranium* untuk menyuplai otak.¹³

Cabang terminal *arteria carotis externa*, yaitu *arteria maxillaris* berperan penting dalam suplai darah ke rahang atas dan bawah. Arteri ini terbagi menjadi tiga segmen: *pars mandibularis*, *pars pterygoidea*, dan *pars pterygopalatina*. Salah satu cabang *arteria maxillaris pars mandibularis* yaitu *arteria alveolaris inferior* yang berjalan di dalam *canalis mandibulae*, menyuplai darah ke gigi molar dan premolar rahang bawah serta jaringan pendukungnya yang kemudian bercabang menjadi *arteria incisiva* untuk gigi incisivus dan kaninus pada rahang bawah. Cabang lain, yaitu *arteria mentalis* yang keluar melalui *foramen mentale* untuk menyuplai bibir bawah dan dagu.¹³

Pada rahang atas, suplai darah berasal dari cabang *arteria maxillaris pars pterygopalatina*. Arteri ini membentuk cabang-cabang seperti *arteria alveolaris superior posterior* untuk gigi molar dan premolar, serta *arteria infraorbitalis* yang kemudian bercabang menjadi *arteria alveolaris superior media* dan *anterior*. Cabang *media* menyuplai premolar rahang atas, sedangkan cabang *anterior* bertanggung jawab untuk gigi incisivus, kaninus, serta sebagian *sinus maxillaris* dan *cavitas nasi*.¹³

Drainase dari pulpa pada gigi rahang atas dialirkan oleh *venae alveolares superiores posterior, media*, dan *anterior* yang kemudian bermuara ke dalam *plexus venosus pterygoideus*. Sedangkan, pulpa pada gigi rahang bawah mengalirkan drainase melalui *vena alveolaris inferior*. Seluruh aliran vena ini akhirnya mengalir ke *vena jugularis interna* yang berperan sebagai saluran utama untuk pengembalian darah dari jaringan kepala dan leher.¹³

Inervasi pulpa gigi berasal dari cabang-cabang *nervus trigeminus* yang memiliki tiga cabang utama: *nervus ophthalmicus*, *nervus maxillaris*,

dan *nervus mandibularis*. Dari ketiga cabang tersebut, *nervus maxillaris* dan *mandibularis* berperan langsung dalam memberikan percabangannya untuk menghantarkan impuls sensorik dari gigi dan jaringan pulpa.¹³

Nervus maxillaris membawa serabut sensorik dari wajah bagian tengah dan rahang atas menuju *ganglion trigeminale*. Saraf ini memberikan cabang untuk gigi rahang atas melalui *nervus alveolaris superior posterior* dan *nervus infraorbitalis*. *Nervus alveolaris superior posterior* mempersarafi gigi molar, sedangkan gigi premolar, kaninus, dan incisivus disuplai oleh cabang dari *nervus infraorbitalis* yang berada di dalam *canalis infraorbitalis* membentuk *nervus alveolaris superior medius* dan *anterior*.¹³

Nervus mandibularis adalah cabang campuran yang membawa serabut sensorik maupun motorik. Divisi posterior dari *nervus mandibularis* memberikan cabang *nervus alveolaris inferior* yang memasuki *canalis mandibulae* untuk mempersarafi molar dan premolar rahang bawah, sedangkan *ramus incisivus* mempersarafi gigi anterior

rahang bawah. Seluruh serabut sensorik ini mengirimkan rangsangan dari pulpa, termasuk nyeri, tekanan, dan rangsangan nosiseptif.^{2,13}

Fokus Penelitian Terkini

Sel punca pulpa gigi atau *dental pulp stem cells* (DPSCs) menjadi fokus penelitian untuk terapi regeneratif pada pendekatan rekayasa jaringan pulpa gigi. Sel ini tidak hanya berpotensi meregenerasi jaringan gigi, tetapi juga berpotensi dalam regenerasi sistem stomatognatik. Saat ini, berbagai protokol isolasi, perluasan, dan pemeliharaan DPSCs secara aman telah dikembangkan, sehingga jumlah sel yang diperoleh mencukupi untuk berbagai aplikasi terapeutik.^{14,15}

DPSCs termasuk sel punca mesenkimal yang memiliki sifat pluripoten, sehingga dapat berdiferensiasi menjadi berbagai jenis sel dari tiga lapisan germinal embrionik. Kemampuan ini ditambah dengan distribusi luas dan efektivitasnya dalam perbaikan jaringan pada model praklinis dan klinis, membuat sel punca mesenkimal menjadi kandidat yang menjanjikan

untuk terapi regeneratif. Secara khusus, DPSCs dapat membentuk jaringan mineral, MES, serta struktur kompleks dentin-pulpa, sementum, dan ligamen periodontal pada model xenograft.¹⁴

Ketika pulpa mengalami kerusakan akibat karies dalam atau prosedur restoratif yang merusak lapisan odontoblas atau sel progenitor, DPSCs akan berproliferasi dan membentuk dentin reparatif. Oleh karena itu, jumlah *passage* sel punca dalam kultur *in vitro* berperan penting untuk memastikan sel dapat tetap mempertahankan kemampuan regeneratifnya ketika digunakan dalam aplikasi terapeutik.¹⁶

Penelitian praklinis menunjukkan bahwa DPSCs yang ditransplantasikan pada tikus atau kelinci imunodefisiensi dapat berdiferensiasi menjadi *cementoblast-like cells*, adiposit, dan sel pembentuk kolagen, serta membentuk struktur kompleks seperti kompleks dentin-pulpa, sementum, dan ligamen periodontal. DPSCs biasanya diaplikasikan bersama *scaffold* atau biomaterial berpori untuk mendukung regenerasi jaringan dan memperkuat area graft.

Saat ini, *scaffold* yang dilengkapi dengan peptida pensinyalan khusus sedang dikembangkan untuk meningkatkan angiogenesis dan mendukung pertumbuhan jaringan.¹⁷⁻¹⁹

Secara keseluruhan, DPSCs menunjukkan potensi besar sebagai sumber sel punca dalam terapi regeneratif, baik untuk regenerasi kompleks dentin-pulpa, jaringan periodontal, maupun rekonstruksi maksilofasial. Hal ini menjadikan DPSCs tetap menjadi fokus utama penelitian terkini di bidang kedokteran gigi dan bioteknologi jaringan.^{17,20}

KESIMPULAN

Pulpa gigi merupakan jaringan ikat lunak yang kompleks dengan komposisi seluler yang berperan dalam mempertahankan vitalitas, integritas, dan fungsi biologis gigi. Keberadaan sel punca pulpa gigi (DPSCs) dengan kemampuan proliferasi dan diferensiasi yang tinggi menjadikannya berpotensi dalam terapi regeneratif. Oleh karena itu, pemahaman mengenai struktur dan potensi regeneratif pulpa menjadi dasar penting dalam pengembangan

strategi perawatan regeneratif di bidang kedokteran gigi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Trisakti dan Tim Sub Bagian Anatomi, Departemen Biologi Oral, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Trisakti.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rombouts C, Giraud T, Jeanneau C, About I. Pulp Vascularization during Tooth Development, Regeneration, and Therapy. *Journal of Dental Research*. SAGE Publications Inc.; 2017. p. 137–44. doi:10.1177/0022034516671688 PubMed PMID: 28106505.
2. Bordoni Fondazione Don Carlo Gnocchi B, Ghannam MG, Alameddine H, Bordoni B. Anatomy, Head and Neck, Pulp (Tooth) [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/340925707>
3. Yu CY, Abbott P V. Responses of the pulp, periradicular and soft tissues following trauma to the permanent teeth. *Aust Dent J*. 2016 Mar 1;61:39–58. doi:10.1111/adj.12397 PubMed PMID: 26923447.
4. Galler KM, Weber M, Korkmaz Y, Widbiller M, Feuerer M. Inflammatory response mechanisms of the dentine–pulp complex and the periapical tissues. *International Journal of Molecular Sciences*. MDPI AG; 2021. p. 1–23. doi:10.3390/ijms22031480 PubMed PMID: 33540711.
5. Sloan AJ. Biology of the Dentin-Pulp Complex. In: *Stem Cell Biology and Tissue Engineering in Dental Sciences*. Elsevier Inc.; 2015. p. 371–8. doi:10.1016/B978-0-12-397157-9.00033-3
6. Ronan EA, Nagel M, Emrick JJ. The anatomy, neurophysiology, and cellular mechanisms of intradental sensation. *Frontiers in Pain Research*. Frontiers Media SA; 2024. doi:10.3389/fpain.2024.137656

7. Widjiastuti I, Subiyanto A, Ningtyas EK, Popyandra R, Kurniawan MG, Retnaningsih FD. Propolis extract as pulp capping material enhances odontoblast-like cell thickness and type 1 collagen expression (in vivo). *Dent J*. 2020 Mar 1;53(1):1–5.
doi:10.20473/j.djmk.v53.i1.p1-5
8. Nowwarote N, Petit S, Ferre FC, Dingli F, Laigle V, Loew D, et al. Extracellular Matrix Derived From Dental Pulp Stem Cells Promotes Mineralization. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Jan 27;9.
doi:10.3389/fbioe.2021.740712
9. Moussa DG, Aparicio C. Present and future of tissue engineering scaffolds for dentin-pulp complex regeneration. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. John Wiley and Sons Ltd; 2019. p. 58–75.
doi:10.1002/term.2769
PubMed PMID: 30376696.
10. Yumoto H, Hirao K, Hosokawa Y, Kuramoto H, Takegawa D, Nakanishi T, et al. The roles of odontoblasts in dental pulp innate immunity. *Japanese Dental Science Review*. Elsevier Ltd; 2018. p. 105–17.
doi:10.1016/j.jdsr.2018.03.001
11. Jeanneau C, Lundy FT, El Karim IA, About I. Potential Therapeutic Strategy of Targeting Pulp Fibroblasts in Dentin-Pulp Regeneration. *J Endod*. 2017 Sep 1;43(9):S17–24.
doi:10.1016/j.joen.2017.06.007
PubMed PMID: 28778507.
12. Yin W, Liu G, Li J, Bian Z. Landscape of Cell Communication in Human Dental Pulp. *Small Methods*. 2021 Sep 1;5(9).
doi:10.1002/smt.202100747
PubMed PMID: 34928049.
13. Eric W. Baker MMp. *Anatomy for dental medicine* [Internet]. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2016. Available from: www.winkingskull.com,
14. Ledesma-Martínez E, Mendoza-Núñez VM, Santiago-Osorio E. Mesenchymal stem cells

- derived from dental pulp: A review. *Stem Cells International*. Hindawi Publishing Corporation; 2016. doi:10.1155/2016/4709572 PubMed PMID: 26779263.
15. Kim S, Shin SJ, Song Y, Kim E. In Vivo Experiments with Dental Pulp Stem Cells for Pulp-Dentin Complex Regeneration. *Mediators Inflamm*. 2015;2015. doi:10.1155/2015/409347 PubMed PMID: 26688616.
 16. Tsutsui TW. Dental pulp stem cells: Advances to applications. *Stem Cells and Cloning: Advances and Applications*. Dove Medical Press Ltd; 2020. p. 33–42. doi:10.2147/SCCAA.S166759 PubMed PMID: 32104005.
 17. Ashri NY, Ajlan SA, Aldahmash AM. Dental pulp stem cells: Biology and use for periodontal tissue engineering. *Saudi Medical Journal*. Saudi Arabian Armed Forces Hospital; 2015. p. 1391–9. doi:10.15537/smj.2015.12.12750 PubMed PMID: 26620980.
 18. Wu DT, Munguia-Lopez JG, Cho YW, Ma X, Song V, Zhu Z, et al. Polymeric scaffolds for dental, oral, and craniofacial regenerative medicine. *Molecules*. MDPI; 2021. doi:10.3390/molecules26227043 PubMed PMID: 34834134.
 19. Diana R, Ardhani R, Kristanti Y, Santosa P. Dental pulp stem cells response on the nanotopography of scaffold to regenerate dentin-pulp complex tissue. *Regenerative Therapy*. Japanese Society of Regenerative Medicine; 2020. p. 243–50. doi:10.1016/j.reth.2020.09.007
 20. Moeenzade N, Naseri M, Osmani F, Razavi FE. Dental pulp stem cells for reconstructing bone defects: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. Tabriz University of Medical Sciences; 2022. p. 204–20. doi:10.34172/joddd.2022.034

