

**BIOKOMPATIBILITAS BAHAN KAPING PULPA
(Tinjauan Pustaka)**

**BIOCOMPATIBILITY OF PULP CAPPING MATERIALS
(Literature Review)**

Muhammad Garry Syahrizal Hanafi¹, Andi Izham¹, Harismanto¹, Endang Winiarti Bahtiar²

¹Program Magister Departemen Biologi Oral, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia

²Departemen Biologi Oral, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia

Corresponding Email: endang04@ui.ac.id

Abstrak

Bahan pelindung pulpa yang mampu untuk mempertahankan vitalitas pulpa diperlukan pada kasus-kasus terbukanya pulpa, baik yang disebabkan oleh karena karies, trauma, atau faktor iatrogenik. Oleh karena itu, diperlukan bahan pelindung pulpa yang mampu untuk mempertahankan vitalitas pulpa tersebut. Bahan pelindung pulpa ini akan berkontak dengan jaringan hidup, yaitu pulpa, maka bahan yang digunakan harus memiliki sifat biokompatibel terhadap jaringan tubuh manusia. Tujuan tulisan ini adalah untuk mengkaji parameter yang digunakan sebagai penentu biokompatibilitas bahan kaping pulpa yang sering digunakan di klinis, seperti Kalsium Hidroksida, Mineral Trioxide Aggregate, BioAggregate, Biodentine dan Nano-Hidroksiapatit berdasarkan penelitian yang dilaporkan. Kesimpulan dari tulisan ini adalah seluruh bahan kaping pulpa memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, dengan tingkat biokompatibilitas terbaik dimiliki oleh BioAggregate, Biodentine, MTA, diikuti Nano-HA dan Kalsium Hidroksida.

Kata kunci: Biokompatibilitas, Kalsium Hidroksida, Kaping Pulpa, Mineral Trioxide Aggregate, Partikel Nano

Abstract

Pulp protective material that is able to maintain pulp vitality is needed in cases of pulp exposure, whether caused by caries, trauma, or iatrogenic factors. Therefore, we need a pulp protective material that is able to maintain the vitality of the pulp. This pulp protective material will come into contact with living tissue, that is the pulp, the material used must have biocompatible properties of human body tissue. The purpose of this paper is to discuss the biocompatibility of pulp pulp materials which are often used clinically, such as Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, BioAggregate, Biodentine and Nano-Hydroxyapatite based on previous research. The conclusion of this paper is that all pulp kaping materials have good biocompatibility properties, with the best level being owned by BioAggregate, Biodentine, MTA, followed by Nano-HA and Calcium Hydroxide.

Keywords: Biocompatibility, Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, Nano Particle, Pulp Capping

PENDAHULUAN

Karies, trauma dan faktor iatrogenik dapat menyebabkan terbukanya jaringan pulpa gigi.¹⁻³ Terbukanya jaringan pulpa dapat menyebabkan terjadinya pulpitis mulai dari reversibel sampai menjadi irreversibel, sehingga menyebabkan rasa nyeri yang hebat dan nekrosis pulpa. Apabila sudah terjadi kasus ini, maka harus dilakukan perawatan saluran akar atau pencabutan gigi.³ Tantangan utama pada kasus terbukanya pulpa adalah pada saat jaringan pulpa terbuka secara tidak wajar, seperti pada kondisi iatrogenik⁴, yang mana 40% kasus iatrogenik terjadi karena pemilihan alat ekskavasi yang kurang baik.⁵ Pada kasus ini, harus segera dilakukan perawatan pulpa kaping direk⁵, yaitu pengaplikasian suatu bahan yang mampu menjadi pembatas^{6,7} dan melindungi jaringan pulpa dari kontaminasi area luar dan mampu merangsang penyembuhan oleh jaringan pulpa itu sendiri agar tidak terjadi nekrosis.⁴ Perlindungan jaringan pulpa atau kaping pulpa adalah pemberian suatu material bioaktif di atas jaringan pulpa untuk mempertahankan vitalitas pulpa⁸ dan merangsang pembentukan dentin reparatif.^{7,9,10} Dentin reparatif, yang menjadi tujuan utama perawatan kaping pulpa⁶, terbentuk dari sel-sel odontoblas dan sel-sel pulpa lainnya yang mengindikasikan adanya respon reparatif dari jaringan pulpa.¹¹

Perawatan kaping pulpa merupakan alternatif bagi perawatan saluran akar², dengan catatan jika kerusakan yang terjadi bersifat reversibel, asimtomatik¹⁰ dan tidak ada tanda-tanda inflamasi pada jaringan pulpa.⁹ Pada beberapa kasus terbukanya pulpa karena karies atau faktor iatrogenik, kaping pulpa ini hanya bersifat sementara⁵, dikarenakan aktivitas bakteri yang menginfeksi jaringan pulpa dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan pulpa, menginvasi area periapikal, dan akhirnya berakibat pada kegagalan perawatan kaping pulpa¹⁰, karena pulpa telah mengalami pulpitis irreversibel atau nekrosis.⁵ Namun, beberapa kasus lain menyatakan tingkat keberhasilan yang tinggi pada perawatan ini, bahkan hingga 12 tahun. Hasil ini dilaporkan karena penggunaan material yang memiliki sifat bakterisidal¹⁰ dan bakteriostatik.⁸

Terdapat beberapa pilihan bahan untuk melakukan kaping pulpa. Bahan yang sering digunakan dewasa ini adalah Kalsium Hidroksida sebagai *gold standard*, Mineral Trioxide Aggregate (MTA) dan Semen Tricalcium Silicate (Biodentine).¹¹ Material kaping pulpa ini harus dikontakkan dengan jaringan pulpa, sehingga syarat utama material ini adalah nontoksik, biokompatibel, menutup area pulpa yang terekspos dengan baik, memiliki daya larut yang rendah, dan memiliki tingkat kesuksesan yang tinggi pada prosedur restoratif.^{6,7,9,12}

Kalsium Hidroksida merupakan *gold standard* perawatan kaping pulpa^{5,8,11} dan bahan yang paling seri dipakai¹⁰, karena bahan ini memiliki sifat antibakterial yang kuat^{5,11}, dan dapat menginduksi pembentukan jembatan dentin yang terkalsifikasi⁷ pada area pulpa yang terbuka.^{2,5,9} Namun, kini perlahan Kalsium Hidroksida sudah mulai ditinggalkan, karena ada beberapa kerugian yang didapat jika menggunakan bahan ini untuk kaping pulpa, yaitu unsurnya yang merupakan basa kuat¹⁰, dapat bersifat kaustik dan dapat menyebabkan nekrosis koagulasi superficial pada jaringan pulpa^{6,7}, pembentukan tunnel-tunnel di jembatan dentin yang telah dibuatnya sehingga pulpa masih memiliki kemungkinan terbuka^{9,11}, mudah larut¹¹ dan memiliki ikatan yang sangat rendah terhadap dentin, serta degradasi pasca pengaplikasian etsa asam.⁹ Karena alasan inilah, tingkat keberhasilan kaping pulpa direk dengan menggunakan Kalsium Hidroksida mengalami penurunan seiring bertambahnya tahun, mulai dari 97,8% pada tahun ke-1, hingga hanya tinggal 13% pada tahun ke-10.¹ Namun beda halnya jika Kalsium Hidroksida digunakan sebagai bahan kaping pulpa indirek.⁸ Kalsium Hidroksida masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi, yaitu antara 73-97% pasca 2 minggu hingga 11 tahun pasca pengaplikasian.⁸

Mineral Trioxide Aggregate (MTA) sudah mulai dikembangkan sejak akhir tahun 1990-an sebagai bahan pengganti Kalsium Hidroksida untuk menangani kaping pulpa direk.⁹ Penggunaan MTA pada kaping pulpa direk ini memiliki tingkat kegagalan yang jauh

lebih rendah dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida.^{5,8} Selain digunakan sebagai bahan kaping pulpa, MTA juga digunakan sebagai bahan restorasi pada kasus karies sekunder yang parah, pulpotomi⁶, apeksogenesis, apeksifikasi, bahkan bahan pengisi saluran akar.^{13,14} MTA memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida, yaitu MTA merupakan bahan antimikrobial, biokompatibel terhadap jaringan^{1,4}, sitotoksitas yang rendah, kemampuan mineralisasi lebih baik⁶, menginduksi lebih banyak terjadinya jembatan dentin, dentin yang terbentuk lebih padat dan tidak terbentuk tunnel-tunnel, mengakibatkan jauh lebih sedikit inflamasi pada jaringan pulpa^{9,11}, radiopasitasnya bagus, kelarutan rendah, serta kapasitas ekspansi pasca setting sangat baik, sehingga mampu menutup seluruh defek pada atap kamar pulpa yang terjadi perforasi⁴ serta meminimalkan leakage yang dapat menjadi tempat masuknya bakteri² dan memiliki kekuatan mekanis yang baik sehingga dapat melindungi pulpa dari tekanan fisik dan mekanis.¹ Walaupun MTA merupakan bahan kaping pulpa yang mendekati ideal, namun terdapat beberapa kekurangan pada bahan ini, yaitu kemungkinan melepaskan zat-zat berbahaya bagi tubuh, pengaplikasian yang cukup sulit, waktu setting yang lama,^{4,9,11} diskolorasi pada struktur gigi,⁴ dan mahal.¹¹ Untuk menanggulangi kekurangan MTA, penelitian sebelumnya menambahkan beberapa unsur yang dapat meningkatkan kemampuan material ini, seperti penambahan akselerator dan modifier.¹¹

Selama beberapa tahun belakangan, teknologi nano mulai diterapkan di dunia kedokteran gigi, khususnya di bidang endodontik.⁹ Contoh dari teknologi nano ini adalah *bioceramic nanotechnology*⁹ dan *nano hydroxyapatite* (nano-HA).⁷ Produk *bioceramic nanotechnology* adalah Semen Tricalcium Silicate (Ca_3SiO_5)⁴, dengan merk dagang seperti BioAggregate dan Biodentine. BioAggregate merupakan semen mineral nanopartikel (terdiri dari kalsium silikat, kalsium fosfat, dan Kalsium Hidroksida) yang bebas kontaminasi dan diklaim memiliki performa yang lebih baik dibanding MTA.⁹ BioAggregate memiliki kemampuan tidak larut, radiopasitas yang baik, bebas

aluminium, memiliki efek antibakterial, biokompatibilitas yang sangat baik, serta menginduksi pembentukan tulang alveolar dan penyembuhan jaringan periodontal.⁹ Selain itu, dibandingkan dengan MTA, BioAggregate dapat menginduksi pembentukan formasi odontoblas dan mineralisasi yang lebih baik.⁹

Biodentine merupakan semen mineral nanopartikel (trikalsium silikat) diciptakan untuk meningkatkan kemampuan fisikokimiawi dan kimia material kaping pulpa.⁴ Material ini dapat digunakan untuk menggantikan struktur dentin yang hilang, bahan kaping pulpa baik direk atau tidak, restorasi pada karies sekunder, dan apeksifikasi.⁴ Biodentine memiliki keunggulan yang tidak jauh berbeda dengan BioAggregate, dimana pada saat dikontakkan dengan jaringan pulpa, Biodentine memiliki efek positif dan merangsang pertumbuhan dentin reparatif dengan skala yang sama dengan MTA.¹¹

Hidroksiapatit sintetis (HA) dengan komposisi stoikiometrik dan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ memiliki biokompatibilitas yang sangat baik dengan struktur gigi dan tulang manusia. Hal ini membuat HA memiliki prognosis yang menjanjikan untuk aplikasi biomedis. HA merupakan salah satu dari sedikit bahan, yang diklasifikasikan sebagai bahan bioaktif yang dapat menginduksi pertumbuhan tulang dan osteointegrasi ketika diterapkan dalam perawatan ortopedi, gigi dan maksilofasial.⁷ Namun demikian, ketika HA digunakan sebagai material kaping pulpa, dapat menyebabkan peradangan dan nekrosis pulpa dalam beberapa kasus. Guna mengatasi keterbatasan tersebut dan untuk meningkatkan sifat biologis HA, maka dikembangkan HA melalui nanoteknologi, yang mana telah mengarah pada pengembangan nano hidroksiapatit (Nano-HA). Molekul-molekul yang terkandung dalam Nano-HA memiliki sifat yang identik dengan dentin dan enamel.⁷

Biokompatibilitas Kalsium Hidroksida

Efek bakterisidal dari Kalsium Hidroksida berasal dari pelepasan ion hidroksil dalam suatu lingkungan yang lembab dan berair. Ion hidroksil merupakan radikal bebas yang sangat oksidan. Hal ini dapat menyebabkan reaktivitas ekstrim dengan berbagai macam

biomolekul, serta dapat menyebabkan proses denaturasi protein dan kerusakan pada membran sitoplasmik bakteri.^{6,10}

Kalsium Hidroksida memiliki tingkat absorpsi dan kelarutan yang tinggi, sebagaimana Poggio C., dkk. mengemukakan fakta bahwa walaupun angka kelarutan Kalsium Hidroksida termasuk rendah, tapi tetap berada di atas MTA. Hal ini berpotensi membuat rongga antara restorasi permanen dengan atap kamar pulpa, ketika Kalsium Hidroksida sudah terlarut seluruhnya.⁶ Pada penelitian yang dilakukan oleh Swarup dkk., melakukan pengamatan pembentukan jembatan dentin pada pengaplikasian Kalsium Hidroksida. Meskipun menurut Gurcan AT, Kalsium Hidroksida mampu membentuk jembatan dentin yang kemudian akan menginduksi terbentuknya dentin reparatif¹⁵, namun jembatan dentin tidak terbentuk pada pengujian aplikasi Kalsium Hidroksida selama periode 15 hari di mayoritas sampel. Jembatan dentin baru terbentuk pada hari ke-30.⁷

Penelitian oleh Chen dkk. menggunakan jaringan subkutan tikus untuk melakukan uji subkutan, menunjukkan bahwa Kalsium Hidroksida, dapat menyebabkan peradangan yang cukup masif, dimana reaksi dan nekrosis koagulatif terjadi sampai hari ke-7. Hal ini didukung pula oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Gong V., dkk. dan Hirschman dkk., dimana terdapat peradangan secara signifikan pada pengaplikasian Kalsium Hidroksida dan bahan ini menunjukkan sifat sitotoksik pada sel fibroblas kulit manusia^{12,16}, karena mampu menurunkan viabilitas sel tersebut.¹⁶ Namun, proses inflamasinya berkurang secara signifikan sampai hari ke-30. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pelarut yang berbeda digunakan untuk membuat pasta kalsium hidroksida (air atau polyethylene glycol), dan juga penambahan radiopacifiers yang berbeda (barium sulfat, barium oksida, atau zinc oxide) tidak berpengaruh dalam reaksi terhadap jaringan.³

Biokompatibilitas Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

Angka keberhasilan kaping pulpa direk dengan menggunakan MTA jauh di atas Kalsium

Hidroksida; 80,5% berbanding 59%.¹ Selain itu, risiko terjadinya kegagalan dalam perawatan kaping pulpa direk dengan menggunakan MTA jauh di bawah Kalsium Hidroksida. Namun, terdapat penurunan prognosis keberhasilan perawatan pada kasus penumpatan permanen dilakukan di atas 2 hari. Dengan demikian, disarankan pasca dilakukan perawatan kaping pulpa direk menggunakan MTA, langsung dilakukan penumpatan permanen.¹

MTA merupakan bahan kaping pulpa direk yang biokompatibel dan mampu menutup defek pada atap kamar pulpa dengan maksimal, karena sifat ekspansi pasca settingnya.¹³ Serangkaian tes untuk menilai biokompatibilitas MTA telah dilakukan, mulai dari tes mutagenesis, neurotoksisitas, biokompatibilitas terhadap sirkulasi darah, genotoksisitas, uji subkutan, uji klinis hingga uji implantasi. Dan semua tes menyatakan bahwa MTA adalah bahan kaping pulpa yang memiliki sifat biokompatibilitas yang sangat baik.¹³ Tidak peduli gigi yang dirawat adalah gigi decidui atau gigi permanen.²

MTA meningkatkan ekspresi dari kolagen tipe 1 dan osteocalcin yang ada di osteoblast, merangsang produksi protein morfogenetik tulang 2 serta ekspresi alkaline fosfatase.⁴ MTA memiliki kekuatan alkali yang merupakan sifat utamanya, yaitu memiliki pH basa dan pelepasan ion hidroksil selama reaksi hidrasi, sehingga dapat menciptakan lingkungan yang merusak bagi kelangsungan hidup dan penyebaran bakteri, khususnya bakteri penyebab karies, seperti *Streptococcus mutans*. Namun demikian, ion hidroksil yang dilepaskan oleh MTA ini merupakan radikal bebas yang dapat berbahaya bagi tubuh. Selain itu, pH basa dapat menyebabkan reaksi inflamasi pada pulpa.⁶

Menurut Nowicka A., dkk., MTA memiliki kemampuan pembentukan densitas jembatan dentin paling baik, ditunjukkan dengan angka yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida dan Biodentine.¹¹ Ditinjau dari sifat antibakterial, ternyata MTA berada di bawah Kalsium Hidroksida. Hal ini dibuktikan dengan pembentukan zona inhibisi pertumbuhan bakteri oleh MTA lebih sempit dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida.¹⁰ Namun demikian, MTA tetap dipilih pada kasus

perawatan kaping pulpa indirek, karena sifatnya yang tidak larut dan tidak teresorpsi, jadi lebih mampu melindungi pulpa dari tekanan mekanik dan fisik.⁸

Kundzina dkk. melakukan uji MTA sebagai bahan kaping pulpa sekaligus sebagai bahan restorasi pengganti dentin yang hilang. Hasil studi histologis adanya pembentukan dentin reparatif yang lebih baik jika dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida. Kundzina dkk. dalam penelitiannya juga melakukan uji acak untuk membandingkan efektifitas MTA dan Kalsium Hidroksida pada kaping pulpa direk pada gigi geraham manusia dengan rentang usia 18-55 tahun. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa MTA lebih efektif dibandingkan Kalsium Hidroksida.¹⁷

Biokompatibilitas Partikel Nano

Trikalsium silikat (komponen utama dari MTA, BioAggregate dan Biodentine) memiliki potensi odontogenik yang lebih besar dibandingkan dengan Kalsium Hidroksida yang diamati melalui pola ekspresi penanda odontogenik, seperti DSPP, DMP-1, osteocalcin, alkaline phosphatase dan kolagen tipe I.¹⁸ Namun, efek BioAggregate pada jaringan pulpa gigi belum sepenuhnya dipahami. Interaksi antara bahan kaping pulpa dengan jaringan pulpa yang terekspos sangat kompleks, terutama pada saat rekrutmen sel mesenkhim gigi (perubahan adhesi dan migrasi sel), perlekatan berikutnya pada biomaterial, dan mekanisme mineralisasi di atas area pulpa.⁹

Pada tes viabilitas, *Human Dental Pulp Cells* (HDPC) yang dikontakkan dengan BioAggregate, menunjukkan viabilitas tertinggi pada jam ke 24 dan 48.⁹ Perawatan dengan ekstrak BioAggregate menunjukkan peningkatan adhesi seluler dan migrasi HDPC yang tergantung konsentrasi ekstrak. Dimana pada tes ini, BioAggregate menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan ekstrak MTA.⁹ Pewarnaan imunofluoresensi menunjukkan bahwa BioAggregate dan MTA dapat mengoptimalkan pembentukan formasi adhesif dan menginduksi munculnya jembatan dentin.⁹ Selanjutnya, pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) mengungkapkan bahwa HDPC yang melekat pada BioAggregate lebih

rata dan menunjukkan penyebaran yang lebih baik daripada HDPC yang melekat pada ekstrak MTA.⁹

Mori G., dkk. pada tahun 2014 melakukan penelitian untuk menguji biokompatibilitas material Biodentine. Tes subkutan pada jaringan tikus dilakukan pada penelitian ini. Pada tes tersebut, tampak bahwa sel mengalami inflamasi sejak saat pengaplikasian, hari ke-7, dan hari ke-14, kemudian turun secara drastis di atas hari ke-14 tersebut.⁴ Hal ini menunjukkan sifat biokompatibilitas material Biodentine, karena material yang menunjukkan penurunan tingkat inflamasi seiring berjalannya waktu tergolong bahan yang biokompatibel.⁴ Selain itu, biokompatibilitas Biodentine didukung oleh fakta bahwa Biodentine tidak menunjukkan aktivitas sitotoksik dan dapat menginduksi proliferasi HDPC serta sel fibroblas gingiva.⁴ Viabilitas dan proliferasi sel fibroblas ini mulai terjadi pada hari ke-3 hingga ke-7.¹⁹ Laurent et al mengevaluasi sitotoksitas Biodentine dan MTA terhadap fibroblast pulpa manusia, dan mereka menyimpulkan bahwa bahan tersebut tidak mempengaruhi fungsi seluler sehingga bahan tersebut biokompatibel.²⁰ Laurent, dkk. dalam penelitiannya yang lain mengaplikasikan Biodentine terhadap HDPC, didalam penelitian ini diamati pembentukan osteodentin dan perubahan *growth factor* Beta-1, yang mana ini menunjukkan bahwa mineralisasi Biodentine mirip dengan MTA, dengan demikian menunjukkan bahwa bahan ini memungkinkan untuk perbaikan jaringan pulpa, sekaligus menunjukkan sifat biokompatibilitas.²¹ Selanjutnya, Clerc L., dkk. melaporkan bahwa Biodentine dan MTA memungkinkan untuk proliferasi berbagai jenis HDPC, yang menunjukkan bahwa kedua bahan ini dapat digunakan untuk kaping pulpa direk. Hal ini juga menunjukkan sifat biokompatibilitas kedua bahan.²² Menurut Nowicka A., dkk., volume jembatan dentin paling tinggi terbentuk pada jaringan yang dikontakkan dengan Biodentine, disusul oleh MTA dan Kalsium Hidroksida.¹¹ Matsuura T. dkk. melakukan uji studi pada 74 gigi permanen yang dirawat dengan Biodentine selama 14,3 bulan dan hasil evaluasinya didapatkan tingkat keberhasilan penggunaan

bahan Biodentine sangat tinggi, yaitu berkisar antara 96,4% - 100%.

Nano-HA dan MTA sama-sama menghasilkan jembatan dentin yang kontinu. Namun, terdapat perbedaan antara dua jembatan yang terbentuk tersebut. Jembatan dentin yang terbentuk pada MTA sudah teratur dengan pola tubulus dentinal. Lain halnya dengan Nano-HA, dimana pembentukan tubulus tidak terlihat pada kelompok Nano-HA. Respon inflamasi awal dan nekrosis koagulasi superficial lebih banyak diamati terjadi pada Nano-HA dan kalsium hidroksida, namun masing-masing semakin berkurang seiring berjalannya waktu.⁷ Nekrosis koagulasi superficial ini paling sedikit diamati pada kelompok MTA diikuti berturut-turut oleh Nano-HA dan Kalsium Hidroksida. Pada uji efek material terhadap vaskularisasi, terlihat peningkatan pada kelompok Nano-HA pada periode awal yang berkurang dengan meningkatnya waktu. Namun, berdasarkan kemampuan nano-HA untuk menghasilkan jembatan gigi, respon seluler dan vaskular yang masih dalam kategori baik, bahan ini dapat dianggap sebagai bahan pengganti dan dipertimbangkan untuk digunakan sebagai bahan kaping pulpa direk.⁷

KESIMPULAN

Perawatan kaping pulpa direk merupakan perawatan yang kompleks. Hal ini disebabkan karena prognosis keberhasilan perawatan memiliki variable yang sangat banyak dan seringkali tidak dapat dikendalikan. Maka dari itu, diperlukan suatu bahan yang mumpuni, dimana bahan tersebut harus memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, dapat menutup defek pada atap kamar pulpa, memiliki kekuatan mekanis yang baik, hingga harus memiliki kelarutan atau solubilitas yang rendah.

Kalsium Hidroksida sebagai *Gold standard* memang masih banyak digunakan sebagai bahan kaping pulpa direk. Namun posisinya semakin terancam karena perkembangan material-material lain yang berbasis Kalsium Silikat hingga teknologi nano seperti MTA, BioAggregate, Biodentine dan Nano-HA memiliki kemampuan yang diklaim lebih baik dibanding Kalsium Hidroksida.

Melalui tulisan ini, didapatkan fakta bahwa material-material kaping pulpa tersebut memiliki sifat biokompatibilitas yang baik bagi jaringan tubuh, namun dengan tingkat yang berbeda-beda. Menurut parameter yang digunakan sebagai penentu biokompatibilitas bahan kaping pulpa pada beberapa penelitian yang diangkat di tulisan ini, dapat disimpulkan bahwa MTA dan produk kalsium silikat lainnya seperti BioAggregate dan Biodentine memiliki tingkat biokompatibilitas paling baik diantara bahan lainnya, diikuti dengan Nano-HA dan Kalsium Hidroksida. Disarankan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut atas perbedaan biokompatibilitas keduanya karena hasil yang didapat masih belum cenderung kepada salah satunya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mente J, Hufnagel S, Leo M, Michel A, Gehrig H, Panagidis D, et al. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: Long-term results. *J Endod.* 2014;40(11):1746–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2014.07.019>
2. Schwendicke F, Brouwer F, Schwendicke A, Paris S. Different materials for direct pulp capping: Systematic review and meta-analysis and trial sequential analysis. *Clin Oral Investig.* 2016;20(6):1121–32. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1802-7>
3. Chen L, Suh BI. Cytotoxicity and biocompatibility of resin-free and resin-modified direct pulp capping materials: A state-of-the-art review. *Dent Mater J.* 2017;36(1):1–7. Available from: <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-107>
4. Mori GG, Teixeira LM, de Oliveira DL, Jacomini LM, da Silva SR. Biocompatibility evaluation of biodentine in subcutaneous tissue of rats. *J Endod.* 2014;40(9):1485–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.02.027>
5. Schwendicke F, Brouwer F, Stolpe M. Calcium hydroxide versus mineral trioxide aggregate for direct pulp capping: A cost-effectiveness analysis. *J Endod.*

- 2015;41(12):1969–74. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.019>
6. Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Beltrami R, Rindi S. Solubility and pH of direct pulp capping materials: A comparative study. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2015;13(2):e181–5. Available from: <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000230>
 7. Swarup S, Rao A, Boaz K, Srikant N, Shenoy R. Pulpal response to nano hydroxyapatite, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide when used as a direct pulp capping agent: An in vivo study. *J Clin Pediatr Dent*. 2014;38(3):201–6. Available from: <https://doi.org/10.17796/jcpd.38.3.83121661121g6773>
 8. Petrou MA, Alhamoui FA, Welk A, Altarabulsi MB, Alkilzy M, Splieth CH. A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment. *Clin Oral Investig*. 2014;18(5):1383–9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1107-z>
 9. Zhu L, Yang J, Zhang J, Peng B. A comparative study of bioaggregate and ProRoot MTA on adhesion, migration, and attachment of human dental pulp cells. *J Endod*. 2014;40(8):1118–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.028>
 10. Poggio C, Beltrami R, Colombo M, Ceci M, Dagna A, Chiesa M. In vitro antibacterial activity of different pulp capping materials. *J Clin Exp Dent*. 2015;7(5):e584–8. Available from: <https://doi.org/10.4317/jced.52401>
 11. Nowicka A, Wilk G, Lipski M, Kołdecki J, Buczkowska-Radlińska J. Tomographic evaluation of reparative dentin formation after direct pulp capping with Ca(OH)₂, MTA, biodentine, and dentin bonding system in human teeth. *J Endod*. 2015;41(8):1234–40. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.03.017>
 12. Gong V, França R. Nanoscale chemical surface characterization of four different types of dental pulp-capping materials. *J Dent*. 2017;58:11–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2016.12.009>
 13. Torabinejad M, Parioikh M. Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review-part II: Leakage and biocompatibility investigations. *J Endod*. 2010;36(2):190–202. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.010>
 14. Hosoya N, Takigawa T, Horie T, Maeda H, Yamamoto Y, Momoi Y, et al. A review of the literature on the efficacy of mineral trioxide aggregate in conservative dentistry. *Dent Mater J*. 2019;38(5):693–700. Available from: <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-193>
 15. Gurcan AT, Seymen F. Clinical and radiographic evaluation of indirect pulp capping with three different materials: A 2-year follow-up study. *Eur J Paediatr Dent*. 2019;20(2):105–10. Available from: <https://doi.org/10.23804/ejpd.2019.20.02.04>
 16. Hirschman WR, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity comparison of three current direct pulp-capping agents with a new bioceramic root repair putty. *J Endod*. 2012;38(3):385–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.11.012>
 17. Kundzina R, Stangvaltaite L, Eriksen HM, Kerosuo E. Capping carious exposures in adults: A randomized controlled trial investigating mineral trioxide aggregate versus calcium hydroxide. *Int Endod J*. 2017;50(10):924–32. Available from: <https://doi.org/10.1111/iej.12719>
 18. Araújo LB, Cosme-Silva L, Fernandes AP, de Oliveira TM, Cavalcanti B das N, Gomes Filho JE, et al. Effects of mineral trioxide aggregate, Biodentine™ and calcium hydroxide on viability, proliferation, migration and differentiation of stem cells from human exfoliated deciduous teeth. *J Appl Oral Sci*. 2018;26:1–8. Available from: <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2016-0629>
 19. Zhou HM, Shen Y, Wang ZJ, Li L, Zheng YF, Häkkinen L, et al. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *J*

- Endod. 2013;39(4):478-83. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.026>
20. Laurent P, Camps J, Méo MD, Déjou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. *Dent Mater.* 2008 Nov;24(11):1486–94. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.02.020>
 21. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine™ induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J.* 2012 May;45(5):439–48. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x>
 22. Pérard M, Le Clerc J, Meary F, Pérez F, Tricot-Doleux S, Pellen-Mussi P. Spheroid model study comparing the biocompatibility of Biodentine and MTA. *J Mater Sci Mater Med.* 2013 Jun;24(6):1527–34. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10856-013-4908-3>