

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kesehatan merupakan suatu kepedulian yang menjadi dasar pada diri seseorang untuk melanjutkan suatu kehidupan. Selain kesehatan tubuh secara umum, kesehatan gigi dan mulut juga dapat mempengaruhi kesehatan tubuh secara keseluruhan. Kesehatan gigi dan mulut ialah jalur utama masuknya makanan dan minuman sebagai sumber energi bagi tubuh, sehingga jika rongga mulut memiliki kesehatan yang baik, seluruh aktivitas yang dilakukan akan berjalan dengan optimal tanpa adanya disfungsi, karena jika terjadi disfungsi pada kesehatan gigi dan mulut akan mengganggu aktivitas seperti gangguan rasa tidak nyaman yang ditimbulkan oleh beberapa penyakit yang terjadi di dalam kesehatan gigi dan mulut. Masyarakat Indonesia umumnya memandang kesehatan gigi dan mulut sebagai isu kesehatan yang kurang diperhatikan dibandingkan dengan kesehatan lain, sehingga kesadaran dan perhatian terhadap perawatan gigi dan mulut masih rendah, sehingga masalah kesehatan gigi dan mulut di Indonesia masih menjadi perhatian yang penting dan perlu peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kesehatan gigi dan mulut.

Karies gigi atau gigi berlubang adalah salah satu jenis masalah kesehatan gigi yang sangat sering terjadi dan dialami oleh hampir semua lapisan masyarakat di Indonesia (Nuraisyah dkk., 2023). Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) tahun 2018, persentase penduduk Indonesia yang memiliki masalah kesehatan gigi dan mulut sebesar 57,6% dan masalah

terbesar di Indonesia yaitu gigi berlubang dengan persentase sebesar 45,3% (RISKESDAS 2018). Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya permasalahan gigi dan mulut terdiri dari faktor internal dan eksternal. Pada karies gigi, faktor internal meliputi pejamu (gigi dan saliva), mikroorganisme atau plak, substrat makanan, dan waktu. Faktor eksternal antara lain ialah jenis kelamin, usia, suku bangsa, kondisi sosial ekonomi, letak geografis, dan perilaku individu terkait kesehatan gigi dan mulut (Suwelo, 1992). Resiko kurang memperhatikan kesehatan gigi dan mulut dapat meningkatnya kemungkinan terjadi karies, gigi yang mengalami karies terjadi karena adanya demineralisasi jaringan permukaan gigi oleh asam organik yang berasal dari makanan yang mengandung gula. Karies merupakan penyakit yang bersifat kronis, dan perkembangannya membutuhkan waktu yang lama sehingga, sebagian besar penderita mempunyai potensi mengalami keparahan terhadap karies (Boy & Khairullah, 2019). Karies gigi yang dibiarkan lama dapat menyebabkan kelainan pada pulpa gigi atau yang biasa disebut dengan pulpitis dan nekrosis pulpa, yang akhirnya memerlukan perawatan endodontik berupa perawatan saluran akar (Maulidah dkk., 2018).

Bakteri *mix* yang dapat ditemukan pada saluran akar yaitu bakteri gram positif *cocci* dan bakteri gram negatif *coccobacilli* yang berkoloni pada gigi nekrosis (Haq dkk., 2018). Jenis bakteri *mix* yang umum ditemukan pada saluran akar adalah bakteri anaerob fakultatif yang berkoloni pada gigi yang nekrosis dan bekerja sama sehingga menjadi penyebab terjadinya infeksi. Bakteri anaerob fakultatif berperan penting karena kemampuannya untuk tumbuh pada kondisi ada atau tidak adanya oksigen, sehingga memfasilitasi

lingkungan anaerob bagi bakteri lain untuk bekerja sama memicu infeksi (Hayati, 2023). Pada saluran akar yang memiliki kondisi nekrosis, tegangan oksigen lebih rendah dibandingkan dengan ruang pulpa normal, sehingga bakteri anaerob fakultatif menjadi lebih umum ditemukan pada saluran akar nekrosis dibandingkan dengan bakteri aerob. Bakteri *mix* saluran akar yang dapat menyebabkan infeksi saluran akar, antara lain : contoh bakteri anaerob gram negatif yang terdapat pada saluran akar (*Bacteroides*, *Prevotella*, *Porphyromonas*, *Fusobacterium*, dan *Veillonella*), sedangkan contoh bakteri anaerob gram positif yang terdapat pada saluran akar (*Actinomyces*, *Propionibacterium*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium*) (Yamin & Natsir 2014).

Bacteroides adalah spesies bakteri anaerob yang dapat menyebabkan infeksi pada manusia. *Bacteroides* telah banyak mengalami revisi taksonomi yang mengubah nomenklatur bakteri berpigmen hitam yang terkait dengan infeksi pada saluran akar gigi (Jawetz dkk., 2008). *Prevotella* bakteri *bacillus* gram negatif dan dapat tampak seperti batang yang tipis atau *coccobacillus*. *Prevotella nigrecens* menjadi spesies bakteri yang paling banyak ditemukan dalam infeksi saluran akar (Jawetz dkk., 2008). Bakteri *Porphyromonas endodontalis* diketahui merupakan bakteri gram negatif anaerob yang dapat mempengaruhi terjadinya pulpitis ireversibel dan nekrosis pulpa. Gram negatif diketahui mengandung LPS (*Lipopolysacharide*) yang memiliki potensi dalam penyebab peradangan pada saluran akar. Pengetahuan menyeluruh dari proses iritan bakteri dan kandungan iritan bakteri pada penyakit pulpa yang merupakan dasar dari keberhasilan perawatan saluran akar (Ariwibowo, dkk

2020). *Fusobacterium* merupakan bakteri gram negatif, dapat erat dikaitkan dengan perkembangan penyakit periodontal, bau mulut, infeksi pulpa gigi, (Han dkk., 2022). *Veillonella* adalah bakteri gram negatif anaerob yang berperan sebagai genus jembatan dalam plak, terlibat dalam proses penempelan mikroorganisme pada permukaan gigi (Mashima,2020).

Perawatan saluran akar merupakan terapi pilihan pada kasus nekrosis pulpa. Sebelum melakukan perawatan saluran akar perlu memahami beberapa hal diantaranya: ketepatan diagnosis, strategi perawatan, pemahaman anatomi serta morfologi gigi (Nofika dkk., 2021). Perawatan saluran akar ini bertujuan untuk mencegah perluasan penyakit dari pulpa ke jaringan periapikal dan mengembalikan keadaan gigi yang sakit agar dapat diterima secara biologis oleh jaringan sekitarnya. Perawatan saluran akar terdiri dari tiga tahap utama yang disebut *Triad Endodontic* yang meliputi preparasi biomekanis saluran akar, sterilisasi saluran akar dan obturasi saluran akar (Saputro, 2024). Tahap preparasi biomekanis saluran akar dapat menghasilkan *smear layer* yang terbentuk dari debris organik dan anorganik (Mulyani dkk., 2021). Komponen organik pada gigi yang mengalami infeksi terdiri yang meliputi populasi bakteri pada kasus patologis, hasil dekomposisi kolagen, dan jaringan pulpa. Sedangkan komponen anorganiknya meliputi kalsium hidroksiapatit, trikalsium fosfat, dan mineral lainnya yang membentuk jaringan dentin (Wahyuni & Rahmawati, 2022).

Smear layer harus dibersihkan dari dinding saluran akar karena memiliki ketebalan dan volume yang tidak dapat diprediksi (Martina, 2023). *Smear layer* dapat menjadi tempat perlekatan dan kolonisasi bakteri pada saluran akar dan

dentin. *Smear layer* dapat menghambat sekaligus mempengaruhi adaptasi bahan obturasi terhadap saluran akar dan tubuli dentin, serta dapat menghambat kontak *sealer* dengan dinding saluran akar gigi (Permatasari & Ekiyo, 2023). Terapi endodontik harus mencakup penutupan seluruh sistem saluran akar untuk mencegah terdapatnya ruang untuk mikroorganisme masuk ke dalam saluran akar (Anisa dkk., 2020). Tahapan perawatan saluran akar yang terpenting yaitu *cleaning and shaping*, tahapan ini dilakukan dengan membentuk dan mengeluarkan jaringan nekrotik serta mengeliminasi mikroorganisme dalam saluran akar. Instrumen yang digunakan dalam tahapan ini adalah *file* instrumen *endodontic*. Penggunaan *file* mulai dari nomor terkecil ke terbesar. Setiap tahapan pergantian *file* instrumen wajib untuk di irigasi. Tujuan irigasi adalah untuk mengeluarkan debris, sebagai antibakteri, dan membersihkan serpihan hasil preparasi yaitu *smear layer*. Irigasi dilakukan dengan mengalirkan larutan irigan ke dalam saluran akar sebagai aksi efektif untuk berkontak dengan dinding saluran akar (Widyastusi dkk., 2020).

Larutan irigasi memiliki syarat yang ideal dimana memiliki efek antibakteri dengan spektrum yang luas, tidak toksik, mampu melarutkan sisa jaringan pulpa nekrotik, mencegah terbentuknya *smear layer* selama preparasi saluran akar atau mampu melarutkannya segera setelah terbentuk (Ningsih dkk., 2024). Beberapa macam larutan irigasi saluran akar yang saat ini sering digunakan yaitu sodium hipoklorit (NaOCl), *ethylene diamine tetraacetic acid* (EDTA), *mixture of tetracycline an acid and a detergent* (MTAD), *chlorhexidine digluconate* (CHX) 2%. *Chlorhexidine digluconate* (CHX) 2% merupakan bahan irigasi yang digunakan secara luas dalam endodontik, terutama pada

konsentrasi 2%. Klorheksidin memiliki sifat kationik yang kuat sehingga memungkinkan molekul klorheksidin berikatan dengan membran sel bakteri yang bermuatan negatif. Pada konsentrasi rendah, klorheksidin bersifat bakteriostatik dengan menyebabkan kebocoran sitoplasma, sementara pada konsentrasi tinggi bersifat bakterisidal melalui mekanisme koagulasi protein intraseluler. Bahan ini sangat efektif dalam mengeliminasi bakteri resisten seperti *Enterococcus faecalis* dan *Porphyromonas endodontalis* yang sering dikaitkan dengan kegagalan perawatan saluran akar (Putri & Handayani, 2023).

Bahan irigasi yang digunakan saat ini masih memiliki kekurangan, sehingga masih perlu adanya pengembangan bahan alami atau herbal sebagai alternatif bahan irigasi saluran akar yang memiliki biokompatibilitas, antiinflamasi, sifat antioksidan, ketersediaan yang mudah, dan toksisitas rendah (Permatasari dkk., 2022). Penggunaan obat tradisional dari bahan alami telah lama digunakan sebagai salah satu terapi atau bahan pengobatan oleh masyarakat. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.15 Tahun 2018 Obat tradisional merupakan bahan yang berupa tumbuhan, hewan, mineral, sediaan sarian (galenik) yang secara turun temurun telah digunakan untuk pengobatan dan dapat diterapkan sesuai dengan norma yang berlaku di masyarakat (Karim dkk.,2022).

Ramuan tradisional terkenal dengan media pengobatan yang menggunakan tanaman dengan kandungan bahan bahan alamiah sebagai bahan bakunya. Sebagian besar ramuan tradisional ataupun obat-obatan herbal sudah dikenal oleh masyarakat dunia sejak dulu (Kurniadi, 2015). Meskipun saat ini

pengobatan modern sudah lebih luas dan lebih ditingkatkan kualitasnya, pengobatan tradisional masih banyak digunakan diberbagai negara di dunia. Pada tahun 2018, *WHO* melaporkan bahwa 88% dari 194 negara anggotanya mengakui menggunakan obat tradisional (WHO, 2019). Efek samping yang ditimbulkan oleh obat tradisional lebih minim dibandingkan obat modern atau sintetis. Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, dengan menerbitkan surat edaran Nomor: HK.02.02/IV.2243/2020 tentang Pemanfaatan Obat Tradisional untuk Pemeliharaan Kesehatan, Pencegahan Penyakit, dan Perawatan Kesehatan penggunaan obat-obatan berbahan dasar herbal dapat digunakan sebagai obat alternatif dan telah secara resmi disarankan kepada praktisi dunia kesehatan dan masyarakat umum untuk memanfaatkan atau menggunakan obat tradisional yang terstandar (Kemenkes, 2020). Pemerintah harus memiliki regulasi yang jelas dan ketat terkait dengan produksi, distribusi, dan pemasaran obat herbal. Sertifikasi dari badan pengawas kesehatan atau otoritas terkait membantu memastikan produk tersebut telah melewati pengujian dan penilaian yang sesuai (Liu, 2021).

Tumbuhan yang telah lama dipercaya memiliki aktivitas antibakteri, mudah didapat dan cukup baik dalam menghambat berbagai macam bakteri adalah Pepaya (*Carica papaya L.*). Pepaya merupakan salah satu tumbuhan yang memiliki banyak nutrisi, misalnya vitamin A, vitamin B1, vitamin C, protein, dan kalsium memiliki manfaat sangat banyak bagi kesehatan tubuh (Fatmawati, 2023). Pepaya memiliki banyak manfaat selain dari buahnya, pepaya juga bisa dimanfaatkan bijinya, daunnya, serta batangnya untuk tujuan kesehatan. Pada daun pepaya secara tradisional dimanfaatkan oleh masyarakat

dalam mengatasi penyakit diare dan mengobati penyakit kulit seperti jerawat, yang diketahui daun pepayan memiliki kandungan vitamin A, vitamin B1, vitamin C, dan vitamin E (Handayani, 2024). Setelah dilakukan uji fitokimia oleh beberapa penelitian, menunjukkan adanya aktivitas antibakteri terdapat dari dalam daun pepaya yang memiliki kandungan senyawa alkaloid, flavonoid, tanin, fenol, dan steroid yang efektif menurunkan aktivisasi bakteri dan mikroba (Arun dkk., 2023).

Mekanisme cara kerja kandungan senyawa yang terdapat pada ekstrak daun pepaya seperti, senyawa alkaloid bekerja sebagai antibakteri dengan cara merusak komponen penyusun peptidoglikan pada sel bakteri, sehingga lapisan dinding sel tidak terbentuk secara utuh dan menyebabkan kematian sel tersebut (Tjandra dkk., 2020). Senyawa Flavonoid menyebabkan terjadinya kerusakan permeabilitas dinding sel bakteri, sehingga mempunyai sifat efektif menghambat pertumbuhan virus, bakteri dan jamur (Nirwana, 2020). Senyawa Tanin memiliki senyawa toksisitas yang dapat merusak membran sel bakteri, mekanisme kerja senyawa tanin dalam menghambat sel bakteri yaitu dengan cara mendenaturasi protein sel bakteri, menghambat fungsi selaput sel (transpor zat dari sel satu ke sel lain) (Purwandari, 2021). Fenol berfungsi sebagai antibakteri dengan merusak dan menembus dinding sel bakteri, mengendapkan protein seluler, serta mendenaturasi protein yang penting untuk pertumbuhan bakteri (Delima dkk., 2019). Senyawa Steroid berinteraksi dengan membran fosfolipid sel yang memiliki sifat permeabel terhadap senyawa lipofilik yang menyebabkan menurunnya integritas fungsi membran dan morfologi membran sel sehingga sel menjadi rapuh dan lisis (Ester, 2025).

Dari latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai efektivitas ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) dengan konsentrasi 50%, 75%, 100% dalam menghambat bakteri *mix* saluran akar secara *in vitro*.

1.2. Rumusan Masalah

Apakah ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) dengan perbandingan konsentrasi berbeda dapat menghambat pertumbuhan bakteri *mix* pada saluran akar ?

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Mengetahui efek antibakteri ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap bakteri *mix* saluran akar gigi sehingga dapat dijadikan bahan irigasi saluran akar gigi.

1.3.2. Tujuan Khusus

Mengetahui konsentrasi yang paling efektif pada ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap bakteri *mix* pada saluran akar gigi sehingga dapat dijadikan bahan irigasi saluran akar gigi.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1. Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmiah pada bidang kesehatan, khususnya bidang kedokteran gigi mengenai efektivitas ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) dalam menghambat pertumbuhan bakteri *mix* pada saluran akar gigi.

1.4.2. Manfaat Praktisi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kandungan senyawa aktif dan khasiat yang terdapat pada ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*) dalam penggunaannya sebagai bahan irigasi saluran akar gigi dalam menghambat bakteri *mix* pada saluran akar.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perawatan Saluran Akar Gigi

Perawatan saluran akar merupakan salah satu jenis perawatan gigi yang memiliki prinsip mempertahankan gigi dan kenyamanannya agar gigi yang rusak dapat diterima secara biologis oleh jaringan sekitarnya. Gigi tanpa gejala, dapat berfungsi kembali dan tidak ada tanda-tanda dari kelainan patologis. Gigi yang rusak bila dirawat dan direstorasi dengan baik akan bertahan didalam rongga mulut selama akarnya terletak pada jaringan penyangga yang sehat (Giri, 2017). Perawatan saluran akar (PSA) merupakan salah satu perawatan endodontik yang dipilih oleh klinisi untuk merawat saluran akar sebuah gigi sebelum dilakukan restorasi secara *indirect* (Kartinawanti dkk., 2021). Perawatan saluran akar ada dua macam, yaitu perawatan saluran akar lebih dari satu kunjungan (*multi visit endodontic*) dan perawatan saluran akar satu kunjungan (*one visit endodontic*). Keberhasilan perawatan saluran akar sangat bergantung pada kepatuhan pasien dalam menjalani prosedur *multi-visit*. Motivasi utama pasien memilih perawatan ini adalah kesadaran akan pentingnya mempertahankan gigi asli dalam rahang guna menjaga integritas fungsi pengunyahan dan estetika lengkung gigi (Azar dkk., 2022). Prosedur kunjungan berulang juga memberikan kesempatan bagi operator untuk melakukan disinfeksi maksimal terhadap mikrobiota kompleks di dalam saluran akar sebelum pengisian akhir (Wong dkk., 2023).

Perawatan saluran akar bertujuan untuk membersihkan dan mendisinfeksi sistem saluran akar sehingga mengurangi munculnya bakteri, menghilangkan jaringan nekrotik, dan membantu proses penyembuhan penyakit. Hal ini dilakukan agar bahan pengisi dapat menutup di saluran akar dengan kerapatan yang baik di foramen apikal (Bintang dkk., 2022). Indikasi perawatan saluran akar dilakukan pada kasus *pulpitis irreversibel*, nekrosis pulpa. Perawatan saluran akar juga dapat dilakukan pada gigi vital untuk kepentingan pembuatan restorasi yang baik atau pada pasien yang memiliki resiko karies tinggi. Kontraindikasi perawatan saluran akar adalah kerusakan jaringan penyangga yang parah dimana tulang penyangga sudah hilang terlalu banyak dan terdapatnya gigi goyang derajat 3, gigi tidak dapat direstorasi karena mahkota gigi sudah habis hingga di bawah garis gusi sehingga tidak bisa dipasang tambalan atau *crown*, gigi mengalami fraktur akar vertikal dimana kondisi akar gigi sudah patah secara tegak lurus ke bawah dan perawatan saluran akar tidak akan berhasil, pasien memiliki *trismus* (tidak bisa buka mulut) yang parah tidak memungkinkan untuk dilanjutkan keperawatan PSA (Torabinejad, 2021).

2.2. Tahapan Perawatan Saluran Akar Gigi (Triad Endodontik)

2.2.1. Preparasi Saluran Akar

Preparasi saluran akar gigi merupakan tahap penting dalam prosedur perawatan saluran akar karena sangat mempengaruhi hasil dari pengisian saluran akar serta menentukan berhasil atau tidaknya suatu perawatan endodontik. Pada tahap preparasi terdapat proses pembersihan serta pembentukan saluran akar. Proses pembersihan dilakukan untuk

membersihkan saluran akar dari bakteri dan debris. Pembentukan dilakukan dengan cara membentuk saluran akar sedemikian rupa agar saluran akar dapat menerima bahan pengisi dengan baik (Bachtiar, 2016). Preparasi saluran akar yang ideal meliputi 4 tahap yaitu menentukan arah saluran akar, membersihkan saluran akar (*cleaning*), membentuk saluran akar (*shaping*), dan preparasi daerah apikal. Selama proses preparasi saluran akar dilakukan irigasi untuk membersihkan sisa-sisa jaringan pulpa, jaringan nekrotik, dan serbuk dentin (Bachtiar, 2016).

Proses disinfeksi saluran akar dapat dilakukan dengan irigasi. Irigasi adalah bagian penting dari perawatan saluran akar yang sukses. Tindakan Irigasi memudahkan pengeluaran jaringan nekrotik, mikroorganisme dan serpihan dentin dari saluran akar terinfeksi dengan aksi bilasan larutan irigasi. Irigasi memiliki tiga tujuan utama : kimia, biologi, dan mekanik, tujuan mekanik adalah untuk menghilangkan *smear layer* dan melumasi saluran akar yang dihaluskan oleh instrumen *file* dari saluran akar , tujuan kimia termasuk melunakkan dan melarutkan jaringan organik dan anorganik, mencegah pembentukan lapisan *smear* selama instrumentasi, dan melarutkan lapisan *smear* telah terbentuk yang terdapat pada dinding dentin (Hargreaves ,2016). Tujuan biologi terkait dengan efek antiseptik dan non toksiknya seperti efikasi terhadap mikroorganisme anaerob fakultatif (planktonik dan biofilm), kemampuan untuk menginaktivasi endotoksin dan non-toksik (Topbas & Adiguzel, 2017). Hal-hal yang dapat mempersulit proses preparasi saluran akar yaitu bentuk anatomi saluran akar gigi yang kompleks,

kelengkungan saluran akar, bakteri yang jauh masuk ke dalam tubulus dentin, instrumen yang digunakan belum cukup efisien, pelebaran saluran akar, dan pasien yang kurang kooperatif (Rachmawati & Muryani, 2020). Bahan irigasi yang mengandung bahan kimia yang bisa digunakan seperti Sodium Hipoklorit (NaOCl), Klorheksidin, *Ethylenediaminetetraacetic acid* (ETDA), *Mixture of tetracycline, an acid and a detergent* (MTAD) (Putranto dkk., 2024).

2.2.2. Sterilisasi Saluran Akar

Sterilisasi saluran akar merupakan salah satu tahapan penting pada perawatan saluran akar dilakukan setelah preparasi saluran akar. Keadaan steril pada ruang pulpa dan saluran akar akan mempengaruhi keberhasilan perawatan saluran akar. Sterilisasi juga dapat di artikan sebagai proses pemusnahan segala bentuk jasad renik di dalam ruang pulpa dan saluran akar. Obat sterilisasi saluran akar mempunyai beberapa syarat yaitu bersifat antibakterial yang efektif, tidak mengiritasi jaringan periapikal, mempunyai tegangan permukaan yang rendah, tidak mengganggu perbaikan jaringan periapikal, tidak merusak struktur gigi, tidak menginduksi respon imun diantara sel, serta aktif dalam darah, serum dan derivat protein jaringan (Grossman, 1995). Bahan kimia dan bahan tradisional telah digunakan untuk perawatan saluran akar gigi, bahan-bahan yang digunakan tersebut mempunyai kemampuan yang diharapkan yaitu memiliki sifat antibakteri yang kuat dan memiliki sifat mengiritasi yang rendah. Bahan sterilisasi saluran akar gigi berbahan

kimia atau *chemical* yang dapat digunakan seperti kalsium hidroksida, *ChKM*, klorheksidin, dan kortikosteroid (Torabinejad, 2021).

2.2.3. Pengisian Saluran Akar

Bagian terakhir dari suatu perawatan endodontik adalah melakukan pengisian saluran akar. Menurut sejarah, pengisian merupakan tahap yang sangat kritis, dan menjadi penyebab dari hampir seluruh kegagalan perawatan. Bahan pengisi saluran akar merupakan bahan yang dimasukkan pada saluran akar setelah gigi di preparasi dan di irigasi. Bahan ini diberikan untuk memberikan kekuatan pada gigi, yaitu sebagai bahan pengganti dentin dan jaringan yang diambil saat preparasi. Pengisian saluran akar memiliki beberapa kriteria yang perlu diperhatikan sebelum dilakukan tindakan pengisian saluran akar yaitu gigi bebas dari rasa sakit, saluran akar bersih dan kering, tidak terdapat nanah dan tidak terdapat bau busuk (Rusmiany, 2017).

Hasil pengisian saluran akar yang kurang baik tidak hanya disebabkan oleh teknik preparasi dan teknik pengisian yang kurang baik, tetapi juga disebabkan oleh kualitas bahan pengisi saluran akar. Bahan pengisi saluran akar terdiri dari dua macam yaitu bahan inti berupa *gutta-percha* dan *sealer*. *Sealer* memiliki peran penting sebagai pengisi ruang antara *sealer* dan bahan pengisi inti pada dinding saluran akar yang menghasilkan penutupan sistem saluran akar kedap cairan atau hermetis. Keadaan ini diperlukan untuk mencegah adanya kebocoran saluran akar yang dapat menimbulkan kontaminasi bakteri sehingga menyebabkan kegagalan perawatan saluran akar. (Aryanto & Paath 2020).

2.3. Keberhasilan dan Kegagalan Perawatan Saluran Akar

Keberhasilan perawatan saluran akar didasarkan pada penegakan diagnosis yang akurat dan penentuan rencana perawatan yang tepat dengan penggunaan pengetahuan tentang anatomi dan morfologi gigi serta melakukan debridemen, desinfeksi dan obturasi pada seluruh sistem saluran akar (Nofika dkk., 2021). Perawatan saluran akar dikatakan berhasil jika tidak ada keluhan serta kelainan patologis pada gigi yang dirawat saluran akar. Adapun kriteria keberhasilan diantaranya tidak ada rasa sakit atau pembengkakan pada gigi yang dirawat, tidak ada gejala klinis dan gigi dapat kembali berfungsi secara fisiologis serta gambaran foto rontgen di daerah apeks terlihat normal. Pada gigi dengan lesi periapikal sebelum perawatan tidak terdapat keluhan dan lesi periapikal yang ada sebelum perawatan dapat berkurang atau tetap (Mortman, 2018).

Perawatan saluran akar dapat dikatakan gagal. Faktor penyebab kegagalan antara lain pembersihan dan pembentukan saluran akar yang tidak sempurna dan obturasi yang tidak tertutup dengan baik sehingga menyebabkan kurangnya kemampuan dalam menghilangkan mikro-organisme yang ada. Mikroorganisme yang tersisa pada saluran akar atau yang berkembang pasca obturasi saluran akar merupakan penyebab utama kegagalan perawatan saluran akar (Patel, 2016). Pengisian saluran akar atau obturasi sangat berperan dalam keberhasilan perawatan saluran akar dan merupakan faktor penyebab terbanyak terjadinya kegagalan pada perawatan saluran akar (Giri, 2017). Pasca perawatan saluran akar, gigi memerlukan

perawatan yang berbeda dibanding gigi vital, karena berkurangnya kelembaban pada gigi tersebut serta terjadinya pengurangan dentin selama proses preparasi saluran akar sehingga berpengaruh terhadap struktur jaringan keras gigi yang masih tersisa (Grossman,1995).

2.4. Bahan Irigasi Saluran Akar Gigi

2.4.1. Sodium Hipoklorit (NaOCl)

Sodium Hipoklorit merupakan jenis bahan irigasi yang paling umum digunakan melalui mekanisme pembilasan debris dari saluran akar dengan kemampuan anti bakteri berspektrum luas sebagai efek dilepaskannya klorin dan oksigen. Sebagai bahan proteolitik non spesifik, larutan irigasi NaOCl memiliki kemampuan melarutkan jaringan pulpa vital maupun nekrotik (Quintana dkk., 2017). Konsentrasi yang biasa digunakan adalah 0,5%, 1%, 2,5%, 5,2%, (Widyastuti dkk., 2023). NaOCl merupakan agensia pereduksi, berupa larutan yang berwarna jernih seperti warna jerami dan harus disimpan di tempat yang teduh, berfungsi sebagai debridemen, pelumas, antimikroba, dan dapat melarutkan jaringan lunak (Dewi dkk., 2021). Pada prosedur preparasi saluran akar, NaOCl akan melarutkan kolagen pada dentin saluran akar sehingga mudah dipreparasi (Prisinda dkk., 2022).

NaOCl bekerja secara antimikroba melalui pelepasan oksigen dengan bebas yang dapat menyebabkan kerusakan pada protoplasma, pembentukan *N-chlorocompound* yang mengganggu metabolisme sel, serta oksidasi enzim bakteri yang menyebabkan kematian sel.

Efektivitasnya berbanding lurus dengan konsentrasi. Konsentrasi tinggi (5,25%) membunuh mikroba lebih cepat (± 1 menit) dibandingkan konsentrasi rendah. Penggunaan optimal dilakukan pada suhu tubuh (37°C) dan dikombinasikan secara bergantian dengan EDTA untuk pembersihan maksimal (Putranto dkk., 2024). Namun, NaOCl tidak boleh digunakan sebagai irigasi akhir jika menggunakan *sealer* berbasis resin karena dapat menghambat polimerisasi dan menurunkan kekuatan ikat resin pada dentin (Prasetyo dkk., 2023).

2.4.2. *Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA)*

EDTA merupakan suatu asam *aminopolycarboxylic* yang hampir tidak berwarna dan larut dalam air. Sebagai larutan irigasi, EDTA yang juga sebagai suatu bahan khelasi, mampu bereaksi dengan ion kalsium di dentin dinding saluran akar gigi untuk membentuk khelasi kalsium yang dapat larut dan membersihkan bagian mineral dari *smear layer* (Torabinejad, 2015). Penggunaan EDTA tunggal secara normal tidak dapat efektif membersihkan *smear layer*, perlu ditambahkan komponen proteolitik seperti sodium hipoklorit untuk membersihkan komponen organik dari *smear layer* yang tersisa dari penggunaan larutan irigasi EDTA (Hargreaves, 2021). Protokol irigasi menggunakan EDTA 17% yang diikuti dengan Sodium Hipoklorit (NaOCl) efektif untuk menghilangkan *smear layer*, namun durasi yang melebihi 1 menit berisiko menyebabkan demineralisasi berlebih dan erosi dentin yang dapat melemahkan struktur akar (Saraswati & Mooduto, 2021).

2.4.3. Klorheksidin (CHX) 2%

Klorheksidin diglukonat merupakan bahan irigasi yang digunakan secara luas dalam endodontik, terutama pada konsentrasi 2%. Klorheksidin memiliki sifat kationik yang kuat sehingga memungkinkan molekul klorheksidin berikatan dengan membran sel bakteri yang bermuatan negatif. Pada konsentrasi rendah, klorheksidin bersifat bakteriostatik dengan menyebabkan kebocoran sitoplasma, sementara pada konsentrasi tinggi bersifat bakterisidal melalui mekanisme koagulasi protein intraseluler. Bahan ini sangat efektif dalam mengeliminasi bakteri resisten seperti *Enterococcus faecalis* dan *Porphyromonas endodontalis* yang sering dikaitkan dengan kegagalan perawatan saluran akar (Putri & Handayani, 2023). Keunggulan utama klorheksidin adalah memiliki kemampuan substansivitas, yaitu kemampuan molekul klorheksidin untuk berikatan dengan hidroksiapatit dentin melalui daya tarik elektrostatis. Ikatan ini memungkinkan pelepasan bahan aktif secara perlahan dalam jangka waktu lama (hingga 12 minggu), memberikan efek antimikroba sisa yang mencegah kolonisasi ulang mikroba pasca perawatan (Pashley dkk., 2021).

2.4.4. Mixture of Tetracycline, An Acid and A Detergen (MTAD)

MTAD merupakan larutan irigasi kombinasi yang pertama kali diperkenalkan oleh Torabinejad dan Johnson pada tahun 2003 sebagai upaya untuk menyederhanakan protokol irigasi saluran akar. Secara komposisi, MTAD terdiri dari tiga komponen utama: isomer tetrasiklin (*doxycycline* 3%), asam sitrat (4,5%), dan deterjen (*Tween* 80).

Keunggulan utama MTAD yang dilaporkan dalam berbagai literatur awal adalah kemampuannya yang ganda, yakni menghilangkan *smear layer* melalui proses demineralisasi asam sekaligus memberikan efek antimikroba melalui kandungan tetrasiklinnya. Dalam praktik klinis, MTAD sering dibandingkan dengan standar emas irigasi, yaitu EDTA 17%. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa MTAD bersifat kurang erosif terhadap dentin peritubular dibandingkan EDTA, sehingga integritas struktur dentin lebih terjaga (Dewi dkk., 2022). Namun, efektivitas antimikrobanya menjadi subjek perdebatan panjang. Walaupun Torabinejad menyarankan penggunaan NaOCl 1,3% diikuti MTAD sebagai protokol yang efektif, temuan klinis terbaru menunjukkan adanya risiko oksidasi tetrasiklin jika bersentuhan langsung dengan residu NaOCl. Hal ini menyebabkan penurunan potensi antibakteri larutan MTAD secara signifikan. Di Indonesia, riset mengenai MTAD menekankan pada kemampuannya mengeliminasi bakteri resisten seperti *Enterococcus faecalis*. Meskipun tetrasiklin merupakan antibiotik spektrum luas, efektivitasnya dalam menembus biofilm yang matang dianggap masih di bawah klorheksidin atau kombinasi NaOCl konsentrasi tinggi (Prasetyo, 2021).

2.5. Bakteri *Mix* Pada Saluran Akar

Mikroorganisme dalam karies merupakan iritasi utama bagi jaringan pulpa dan periradikuler. Toksin bakteri dapat berpenetrasi melalui tubulus dentin yang terbuka bahkan sebelum karies mencapai kamar pulpa, memicu infiltrasi

sel peradangan kronis. Jika proses ini berlanjut, gangguan mikrosirkulasi pulpa akan menyebabkan kematian jaringan atau nekrosis pulpa, baik karena proses inflamasi yang progresif maupun akibat trauma yang menghentikan suplai darah secara mendadak (Tarigan, 2023). Bakteri *mix* dalam saluran akar gigi pada pulpa nekrosis menunjukkan adanya kolonisasi polimikrobial. Kolonisasi polimikrobial merupakan kolonisasi bakteri yang terdiri dari empat hingga tujuh spesies terutama bakteri anaerob dengan jumlah yang hampir sama antara bakteri gram positif dengan gram negatif (Siqueira, 2022).

Bakteri *mix* yang dapat ditemukan pada saluran akar yaitu bakteri gram positif *cocci* dan bakteri gram negatif *coccobacilli* yang berkoloni pada gigi nekrosis dan menjadi penyebab terjadinya infeksi (Haq dkk., 2018). Dinamika lingkungan di dalam saluran akar yang mengalami nekrosis menciptakan kondisi tekanan oksigen (O₂) yang sangat rendah atau hipoksik. Kondisi ini memicu transisi mikroflora dari bakteri aerob menuju komunitas yang didominasi oleh anaerob obligat dan anaerob fakultatif (Prisinda dkk., 2022). Bakteri anaerob fakultatif memiliki kemampuan untuk beradaptasi pada variasi kadar oksigen, sedangkan infeksi primer pada pulpa nekrosis yang tidak terpapar udara luar justru lebih banyak dihuni oleh bakteri anaerob obligat. Hal ini dikarenakan bakteri anaerob obligat sangat sensitif terhadap oksigen dan hanya dapat bertahan dalam lingkungan dengan kadar oksigen yang rendah (Wulandari, 2024).

Bakteri anaerob terdapat 2 jenis yaitu anaerob gram negatif dan anaerob gram positif. Contoh bakteri anaerob gram negatif yang terdapat pada saluran akar yaitu *Bacteroides*, *Prevotella*, *Porphyromonas*, *Fusobacterium*, dan

Veillonella sedangkan contoh bakteri anaerob gram positif yang terdapat pada saluran akar yaitu *Actinomyces*, *Propionibacterium*, *Peptostreptococcus*, dan *Eubacterium* (Yamin & Natsir 2014).

2.5.1. Bakteri Anaerob Gram Negatif

a. *Bacteroides*

Bacteroides adalah spesies bakteri anaerob yang sangat penting yang dapat menyebabkan infeksi pada manusia. Spesies ini adalah kelompok besar dari *bacillus* gram negatif dan dapat tampak seperti batang yang tipis atau *coccobacillus* (Jawetz dkk., 2008). *Bacteroides* telah banyak mengalami revisi taksonomi yang mengubah nomenklatur bakteri berpigmen hitam yang terkait dengan infeksi pada saluran akar gigi. *Bacteroides* telah banyak mengalami revisi taksonomi yang mengubah nomenklatur bakteri berpigmen hitam yang terkait dengan infeksi pada saluran akar gigi (Walton & Torabinejad, 2003).

b. *Prevotella*

Prevotella adalah spesies bakteri *bacillus* gram negatif dan dapat tampak seperti batang yang tipis atau *coccobacillus*. *Prevotella* meliputi spesies yang baru diberi nama dan spesies yang dahulu diklasifikasikan ke dalam spesies *bacteroides* (Jawetz dkk., 2008). Spesies yang diisolasi saluran akar adalah *Prevotella intermedia* dan *Prevotella nigrecens*. *Prevotella nigrecens* menjadi spesies bakteri yang paling banyak ditemukan dalam infeksi saluran akar (Walton & Torabinejad, 2003).

c. *Porphyromonas*

Porphyromonas merupakan spesies *bacillus* gram negatif yang merupakan bagian dari flora normal mulut dan juga terdapat pada bagian tubuh yang lain. Genus *porphyromonas* meliputi spesies yang baru diberi nama dan dahulu dimasukkan ke dalam genus *bacteroides* (Jawetz dkk., 2008). Bakteri *porphyromonas* yang diisolasi di dalam saluran akar adalah *Porphyromonas gingivalis* dan *Porphyromonas endodontalis* yang biasanya terdapat pada infeksi saluran akar gigi yang akut (Walton & Torabinejad, 2003).

d. *Fusobacterium*

Fusobacterium merupakan bakteri batang pleomorfik gram negatif. Sebagian besar spesies menghasilkan asam butirat dan merubah treonin menjadi asam propionat. Kelompok *Fusobacterium* meliputi beberapa spesies yang sering diisolasi dari infeksi yang disebabkan oleh flora normal rongga mulut. Spesies ini jarang menjadi satu-satunya bakteri pada suatu infeksi (Jawetz dkk., 2008).

e. *Veillonella*

Veillonella merupakan bakteri kelompok kokus kecil gram negatif yang merupakan bagian dari flora rongga mulut normal dan nasofaring. Meskipun kadang spesies ini diisolasi pada infeksi polimikroba anaerob, spesies ini jarang ditemukan sebagai satu-satunya penyebab suatu infeksi (Jawetz dkk., 2008).

2.5.2. Bakteri Anaerob Gram Positif

a. *Actinomyces*

Actinomyces merupakan jenis bakteri yang paling banyak menyebabkan *actinomycosis*. Pada pewarnaan gram, kelompok ini panjangnya sangat bervariasi, dapat berukuran pendek atau panjang, tipis berfilamen manik-manik, bercabang atau tidak bercabang (Jawetz dkk., 2008).

b. *Propionibacterium*

Pada pewarnaan gram, spesies *propionibacterium* sangat *pleomorfik*, menunjukkan ujung yang berbentuk lengkung, berbentuk seperti gada atau titik, bentuknya panjang dengan pewarnaan seperti manik-manik dan tidak rata, serta kadang-kadang berbentuk *coccus* (Jawetz dkk., 2008). Spesies *Actinomyces* dan *Propionibacterium* mampu untuk menetap di jaringan periradikuler jika ada jaringan yang terinflamasi kronis. Hampir semua infeksi ini tampaknya mengadakan respons terhadap perawatan saluran akar konvensional walaupun kadang-kadang pembedahan dan antibiotik dapat diperlukan untuk mengatasi infeksi ini (Walton & Torabinejad, 2003).

c. *Eubacterium*

Eubacterium merupakan jenis bakteri anaerob *pleomorfik*, batang gram positif. Bakteri ini kerap diasosiasikan dengan gejala dan tanda klinis pada penyakit periradikuler (Walton & Torabinejad, 2003).

d. *Peptostreptococcus*

Merupakan spesies gram positif dengan dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi biasanya ditemukan pada kulit dan merupakan bagian dari flora normal membran mukosa. Spesies ini sering ditemukan pada infeksi campuran akibat flora normal (Jawetz dkk., 2008). Bakteri ini sering dihubungkan dengan gejala dan tanda klinis pada penyakit periradikuler (Walton dan Torabinejad, 2008).

2.6. Deskripsi Pepaya

2.6.1. Pohon Pepaya

Pohon pepaya merupakan tanaman asli yang berasal dari Amerika Selatan dan Meksiko, kemudian tumbuhan ini menyebar ke daerah tropis pada abad ke-17. Tanaman ini mempunyai batang yang berbentuk bulat dan tidak bercabang, dengan daun menjari yang terletak pada ujung batang (Taufani dan Febriawan, 2021). Batang pohon tanaman pepaya tunggal dan menjulang tinggi hingga 10 m (Kurnia, 2018). Tanaman pepaya dapat tumbuh unggul pada ketinggian berkisar antara 200-500 mdpl dengan suhu diantara 25-30 derajat *celcius*. Ketinggian penanaman pepaya juga dapat mempengaruhi rasa dari buah pepaya, pada ketinggian diatas 500 mdpl buah pepaya akan menjadi kurang manis (Sujiprihati & Suketi, 2009). Negara yang beriklim tropis seperti di Indonesia banyak tumbuh tanaman pepaya. Tanaman ini memiliki rasa buah yang manis kaya akan vitamin seperti vitamin A, vitamin C, dan vitamin E sehingga bagus untuk kesehatan tubuh. Selain buahnya, akar dan daunnya pun

memiliki manfaat yang banyak. Terdapat beberapa varietas pepaya yang tumbuh di Indonesia antara lain varietas california, varietas golden, varietas bangkok, varietas grandel dan varietas gandul (Atthariq dkk., 2021).



Gambar 2.1 Pohon pepaya
(Kurnia, 2018)

2.6.2. Klasifikasi Tanaman Pepaya

Taksonomi tanaman pepaya dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sujiprihati & Suketi, 2009) :

Divisi : *Spermatophyta*

Kelas : *Angiospermae*

Sub-kelas : *Dicotyledone*

Ordo : *Caricales*

Famili : *Caricaceae*

Genus : *Carica*

Spesies : *Carica papaya L.*

2.6.3. Daun Pepaya

Daun pepaya merupakan daun tunggal yang berukuran besar, bercanggap menjari (palmatifidus) serta bergerigi dan mempunyai bagian-bagian tangkai daun (petioles) juga helaian daun (lamina). Ujung

daun pepaya meruncing, tangkai daunnya panjang dan berongga. Permukaan daun pepaya licin (laevis), sedikit mengkilat (nitidus), daging seperti perkamen (perkamentus) dengan susunan tulang daun menjari (palminervis) dimana letak daun yang termuda terbentuk dibagian tengah tanaman (Fernanda, 2019).



Gambar 2.2 Daun pepaya
(Fernanda 2019)

2.6.4. Kandungan dan Manfaat Daun Pepaya

Daun pepaya diketahui mengandung berbagai macam vitamin antar lain vitamin A, vitamin B1 , vitamin C dan vitamin E . Vitamin A memiliki kegunaan bagi kesehatan manusia, khususnya bagi kesehatan mata hingga bagi kekebalan tubuh. Vitamin B1 berguna sebagai koenzim, dimana senyawa koenzim ini yang akan membantu enzim untuk memacu reaksi kimia seperti membantu mengubah nutrisi menjadi energi. Vitamin C berguna untuk antioksidan dan juga menjaga fungsi kekebalan tubuh (Adiarni, dkk., 2023). Vitamin E berfungsi sebagai antioksidan dimana membantu melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan

akibat radikal bebas yang dapat merusak sel dan membran sel (Saras, 2023).

Analisis fitokimia daun pepaya mendapatkan hasil bahwa daun pepaya mengandung senyawa metabolit pada daun pepaya antara lain alkaloid, flavonoid, tanin, steroid, dan fenol. Zat aktif tersebut mempunyai cara yang berbeda dalam menghambat bakteri (Armianti, 2019). Senyawa alkaloid merupakan salah satu metabolit sekunder yang banyak ditemukan di alam dan mempunyai aktivitas fisiologis. Alkaloid memiliki kemampuan sebagai antibakteri dengan mekanisme mengganggu komponen penyusun peptidoglikan pada sel bakteri, sehingga lapisan dinding sel tidak terbentuk secara utuh dan menyebabkan kematian sel tersebut (Chairani, 2018). Senyawa flavonoid merupakan senyawa lain yang bersifat antimikroba. Cara kerja dari flavonoid adalah mengganggu permeabilitas membran sitoplasma bakteri. Senyawa ini berinteraksi dengan protein membran dan fosfolipid, yang menyebabkan kerusakan fisik pada dinding sel. Akibatnya, terjadi kebocoran materi intraseluler seperti ion kalium dan protein, yang berujung pada lisis sel (Choudhary dkk., 2025). Flavonoid mampu menghambat rantai transpor elektron dan aktivitas enzim ATP sintase pada membran bakteri. Gangguan pada jalur respirasi ini menyebabkan bakteri kekurangan energi (ATP) untuk menjalankan fungsi vitalnya, termasuk pergerakan (motilitas) dan penyerapan nutrisi (Shamsudin dkk., 2022).

Tanin menyatakan mekanisme kerja senyawa golongan tanin dalam menghambat atau membunuh bakteri yaitu melalui perusakan membran sel bakteri karena toksisitas tanin dan pembentukan ikatan kompleks ion logam dari tanin yang berperan dalam toksisitas tanin. Bakteri yang tumbuh dalam kondisi aerob memerlukan zat besi untuk berbagai fungsi termasuk reduksi dari prekursor ribonukleotida DNA. Adanya ikatan antara tanin dan zat besi akan menyebabkan terganggunya berbagai fungsi bakteri (Rahman, 2017).

Mekanisme steroid sebagai agen antibakteri berkaitan erat dengan afinitasnya terhadap membran lipid. Senyawa steroid dapat berinteraksi secara langsung dengan membran fosfolipid sel yang bersifat permeabel terhadap senyawa lipofilik. Interaksi ini menyebabkan gangguan pada organisasi *lipid bilayer*, yang memicu kebocoran liposom dan penurunan integritas membran. Akibatnya, terjadi perubahan morfologi membran sel yang drastis, menyebabkan sel menjadi rapuh, kehilangan stabilitas osmotik, dan akhirnya mengalami lisis (Putri dkk., 2024). Selain itu, sensitivitas bakteri terhadap komponen steroid menyebabkan ketidakseimbangan aliran ion keluar-masuk sel yang mempercepat kematian bakteri (Handayani dkk., 2023). Senyawa golongan fenol memiliki kemampuan merusak membran sel bakteri melalui mekanisme inaktivasi enzim esensial dan denaturasi protein seluler, yang menyebabkan penurunan permeabilitas serta kerusakan struktural pada dinding sel. Gangguan pada permeabilitas membran sitoplasma ini menghambat transportasi ion-ion organik yang krusial bagi metabolisme

bakteri, sehingga menghentikan pertumbuhan hingga menyebabkan kematian sel (Prasetyo dkk., 2023). Dalam konsentrasi tinggi, senyawa fenol mampu menembus lapisan pelindung bakteri secara keseluruhan, mengganggu stabilitas dinding sel, dan mempresipitasi protein intraseluler secara permanen (Handayani dkk., 2024).

2.7. Zona Hambat

Zona hambat merupakan salah satu parameter yang umum digunakan dalam pengujian aktivitas antibakteri, terutama melalui metode difusi seperti *disk diffusion* atau *well diffusion*. Zona hambat ditandai dengan adanya daerah jernih di sekitar sumur atau cakram pada media agar yang telah diinokulasi dengan bakteri uji, yang menunjukkan daerah di mana pertumbuhan bakteri terhambat oleh senyawa antimikroba yang diuji. Pengukuran zona hambat dilakukan dengan menggunakan mistar atau jangka sorong dan dinyatakan dalam satuan milimeter atau sentimeter (Putri dkk., 2016).

Tabel 2.1 Kategori diameter zona hambat
(Surjowardojo, 2015).

Diameter (mm)	Kekuatan Daya Hambat
≤ 5	Lemah
6-10	Sedang
11-20	Kuat
≥ 21	Sangat Kuat