

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kista merupakan rongga patologis yang dilapisi oleh epitel. Etiopatogenesis kista pada dasarnya berasal dari sisa-sisa proses kompleks jaringan embrionik yang bertanggung jawab atas perkembangan rahang dan gigi. Semua kista berasal dari sisa-sisa epitel disertai proliferasi yang kuat dan kemampuan *remodeling* tulang. (Bonanthaya et al., 2021) Lesi kistik berperan penting dalam kerusakan rahang. Kista yang terjadi di daerah mulut dan maksilofasial mempunyai angka morbiditas yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan penyakit mulut dan maksilofasial lainnya. (Lim et al., 2022) Kista lebih sering terjadi di rahang daripada di tulang lainnya karena adanya jaringan epitel sisa odontogenik yang berkembang. Prevalensi kista odontogenik lebih tinggi (90%) daripada kista non-odontogenik pada rahang. Kista rahang merupakan lesi yang umum, terutama diwakili oleh kista radikular (yang merupakan 60% dari semua kista odontogenik), kista dentigerous (25%), dan kista keratosit odontogenik (OKC) (10–20%). (Strokov et al., 2024; Pechalova dan Bakardjiev, 2016)

Kista rahang merupakan penyakit umum yang dapat menyebabkan pembesaran, kerusakan, dan infeksi pada tulang maksilofasial, yang berdampak signifikan pada kualitas hidup pasien. Penelitian telah melaporkan bahwa dalam praktik patologi mulut dan maksilofasial, kista rahang terdapat pada 14%- 17,5% spesimen. (Huang et al., 2021) Kista rahang sebagian besar berupa lesi radiolusen berbentuk oval yang berbatas tegas dengan berbagai karakteristik dalam ukuran dan asalnya. (Ku et al., 2022) Kista rahang diklasifikasikan sebagai kista odontogenik, baik yang bersifat inflamasi atau perkembangan atau non-odontogenik. (Jabar, 2023)

Pilihan penanganan kista rahang bergantung pada ukuran dan lokasi lesi. Kista ini dapat dirawat dengan terapi endodontik, pencabutan, prosedur pembedahan seperti enukleasi, dan marsupialisasi. (Kulkarni et al., 2023) Enukleasi merupakan pilihan penanganan yang tepat, dengan komplikasi pascaoperasi yang relatif jarang terjadi seperti infeksi dan penyembuhan tulang yang tidak sempurna. Enukleasi merupakan pengangkatan total kista dari jaringan tulang rahang. Prosedur ini efektif dalam menghilangkan kista namun dapat meninggalkan defek tulang yang cukup besar, sehingga proses penyembuhan pasca enukleasi menjadi aspek penting dalam evaluasi klinis. (Ku et al., 2022).

Penyembuhan tulang setelah enukleasi kista dapat terjadi secara spontan tanpa intervensi tambahan. Penyembuhan tulang spontan biasanya menghasilkan pengisian tulang yang memuaskan. (Chiapasco et al., 2000) Proses penyembuhan tulang setelah enukleasi merupakan operasi reparatif yang langka dan rumit yang menghasilkan ruang kosong dengan jaringan tulang baru yang akan mengisi defek. Temuan yang paling umum adalah hilangnya volume tulang, dan radiografi menunjukkan sebagai tanda penyembuhan utama. (Borowska et al., 2019) melaporkan dalam studi klinis acak bahwa penyembuhan tulang yang signifikan terdapat pada setidaknya 6 bulan setelah enukleasi tanpa cangkok tulang, dan penyembuhan tidak dipengaruhi oleh jenis kista. (Rubio dan Mombu,



2015)

Evaluasi terhadap proses penyembuhan ini umumnya dilakukan melalui pencitraan radiograf seperti panoramik. Panoramik merupakan metode yang mudah dan terjangkau yang siap digunakan dalam evaluasi kista rahang dalam tatalaksana klinis bedah mulut. Radiograf panoramik sering digunakan untuk memantau perubahan tulang pascaoperasi karena sifatnya yang non-invasif dan dapat mencakup area luas dalam satu citra. Namun, interpretasi visual dari radiograf panoramik hanya bersifat subjektif dan deskriptif, sehingga kurang sensitif dalam menangkap dinamika struktur tulang yang kompleks. Selain itu, interpretasi visual juga sulit mendeteksi perubahan halus pada jaringan tulang dan mungkin melibatkan penilaian subjektif. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih kuantitatif dan objektif. Salah satu metode yang berkembang pesat adalah analisis fraktal tulang, yang memungkinkan pengukuran kompleksitas struktur tulang melalui parameter fraktal dimensi (FD) dan *lacunarity*. (Kosar, Saruhan dan Dereci, 2019)

Analisis fraktal tulang merupakan teknik matematika yang berguna untuk menggambarkan dan menganalisis pola struktural rumit tulang trabekular menggunakan dua ukuran statistik yang dikenal sebagai FD dan *lacunarity*. FD mengkarakterisasi kompleksitas atau kerapatan struktural secara numerik dengan angka yang meningkat, yang menunjukkan peningkatan kompleksitas struktur tulang. *Lacunarity* menggambarkan distribusi kekosongan atau celah dalam struktur tulang. Objek geometris yang memiliki *lacunarity* rendah bersifat homogen karena semua ukuran celahnya sama, sedangkan objek dengan *lacunarity* tinggi bersifat heterogen. Kombinasi kedua analisis ini dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang proses penyembuhan tulang setelah enukleasi (Basavarajappa, Ramachandra dan Kumar, 2021)

Aspek yang paling inovatif dari FD dan *lacunarity* adalah kemampuannya untuk menilai proses penyembuhan tulang secara kuantitatif. Metode ini memberikan data yang lebih dapat diandalkan kepada dokter dengan mengukur perubahan mikroarsitektur tulang secara tepat. (Tekin et al., 2025) Penelitian yang mengintegrasikan nilai FD dan *lacunarity* untuk menilai penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi hingga saat ini belum pernah dilakukan. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk menganalisis nilai FD dan *lacunarity* penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi kista pada rahang. Melalui analisis yang komprehensif, penelitian ini berupaya untuk menggambarkan dan menganalisis pola struktural rumit tulang trabekular sebelum dan setelah enukleasi kista pada rahang, untuk mengetahui sejauh mana regenerasi tulang berlangsung secara kuantitatif. Nilai FD yang meningkat dari waktu ke waktu dapat mencerminkan proses remineralisasi atau reorganisasi mikrostruktur tulang, sedangkan perubahan *lacunarity* dapat menunjukkan homogenitas proses penyembuhan tulang. Informasi ini pada akhirnya akan digunakan untuk memprediksi prognosis penyembuhan tulang dan hasilnya akan secara lebih akurat.



1.2 Teori

1.2.1 Kista Rahang

A. Definisi

Kista rahang merupakan salah satu tumor jinak yang paling sering terjadi di daerah mulut dan maksilofasial. (Li et al., 2024) Kista rahang adalah lesi patologis berbentuk kantung atau rongga berisi cairan, semi-cairan, atau bahan lunak yang berkembang di dalam tulang rahang, biasanya dilapisi epitel. Kista ini dapat bersifat inflamasi atau non-inflamasi. Lesi ini tumbuh perlahan namun dapat menyebabkan kerusakan struktural. (Neville BW et al., 2016), (Jabar, 2023) Kista ini dapat berasal dari jaringan odontogenik atau non-odontogenik dan sering kali tidak menunjukkan gejala hingga membesar. Kista rahang sering diklasifikasikan sebagai lesi osteolitik karena kemampuannya menyebabkan destruksi tulang rahang secara perlahan akibat tekanan yang ditimbulkannya. (Shear dan Speight, 2007)

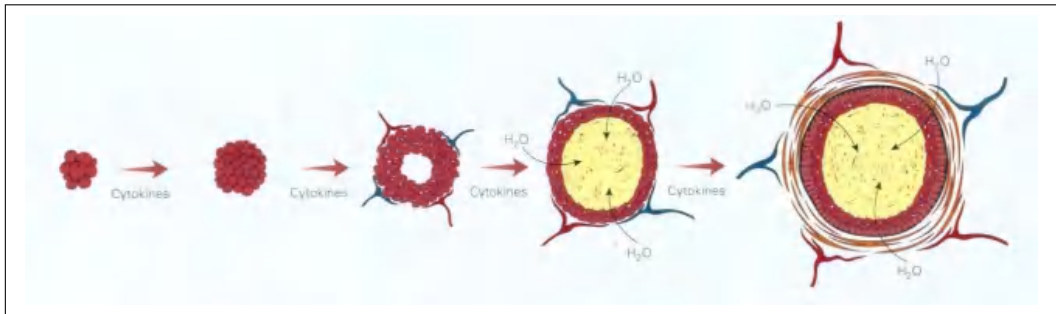
Lesi kistik rahang dapat berasal dari epitel atau non-epitel, odontogenik atau non-odontogenik, perkembangan, atau inflamasi. Distribusi kista rahang menurut diagnosis pada populasi umum adalah: kista radikular 56%, kista dentigerous 17%, kista duktus nasopalatina 13%, OKC 11%, kista globulomaxillary 2,3%, kista tulang traumatik 1,0%, dan kista erupsi 0,7%. (Manor et al., 2012). Kista rahang lebih umum terjadi dibandingkan kista tulang lain pada tubuh. Prevalensi kista odontogenik lebih tinggi (90%) daripada kista non-odontogenik pada rahang. Jenis yang paling umum adalah kista periapikal (65%), kista dentigerous (24%), dan OKC (5–8%). (Bonanthaya et al., 2021)

Etiologi kista rahang pada dasarnya berasal dari sisa-sisa proses kompleks jaringan embrionik yang bertanggung jawab atas perkembangan rahang dan gigi. Semua kista berasal dari sisa-sisa epitel beserta dorongan proliferasif yang kuat dan kemampuan untuk *remodeling* tulang. Kista odontogenik berasal dari sisa-sisa epitel odontogenik stomodeum, dan kista inflamasi berasal dari proses infeksi. Kista yang terletak pada tulang rahang kemungkinan epitelnya berasal dari epitel odontogenik, misalnya dari sisa *dental lamina* atau organ email. (Bonanthaya et al., 2021)

Patogenesis kista rahang dibagi menjadi tiga tahap utama yang diawali dengan inisiasi kista (*cyst initiation*), yaitu ketika rangsangan yang belum diketahui secara pasti memicu proliferasi cepat sel-sel epitel sisa melalui sintesis sitokin; faktor penyebabnya meliputi genetik, penurunan imunitas, mediator inflamasi, dan hipoksia lokal. Tahapan selanjutnya yaitu pembentukan kista (*cyst formation*), terjadi ketika massa sel epitel yang terbentuk mengalami kekurangan nutrisi di bagian tengah, menyebabkan nekrosis dan pembentukan rongga (kavitas). Diakhiri dengan tahapan pembesaran kista/ ekspansi (*cyst enlargement or expansion*) yakni pertumbuhan kista yang lambat dan progresif karena peningkatan tekanan internal dan aktivitas seluler yang menyebabkan kista terus



perkembangan suatu kista terjadi karena adanya stimulasi sitokin (*epithelial rests*) pertumbuhan gigi. Selanjutnya, sel-sel *rest* akan si. Bagian tengah massa kista mengalami kerusakan dan yang bersifat hipertonis yang menyebabkan transudasi cairan ekspansi kista (Gambar 1). Akibat perkembangan kista maka tulang mengalami resorpsi akibat ekspansi kista. (Danudiningrat, 2006)



Gambar 1. Perkembangan kista (Danudiningrat, 2006)

Kista rahang jarang menimbulkan gejala apa pun kecuali jika berakhir dengan infeksi. Tanda-tandanya terutama bergantung pada ukuran dan lokasi kista. Sebagian besar kista ditemukan sebagai temuan kebetulan pada radiograf gigi. Kista sering kali tidak bergejala kecuali jika terjadi pembesaran infeksi sekunder yang sudah berlangsung lama. Diagnosis kista rahang ditetapkan dari berbagai gambaran klinis dan radiologis, meskipun diagnosis akhir didasarkan pada pemeriksaan histopatologi lesi. Pada sinar-X, kista tampak sebagai area radiolusen dengan batas radiopak. Kista biasanya unilokular, tetapi bisa juga multilokular. Kadang-kadang aspirasi digunakan untuk membantu diagnosis lesi kistik. (Jabar, 2023) Kista rahang sebagian besar berupa lesi radiolusen berbentuk oval yang berbatas tegas dengan berbagai karakteristik dalam ukuran dan asalnya. (Ku et al., 2022).

B. Klasifikasi Kista Rahang

Kista rahang dapat dikategorikan sebagai lesi kistik tunggal (hanya satu kompartemen) atau lesi kistik multipel (multikompartemen). (Li et al., 2024) Secara historis, kista rahang dikategorikan menjadi tiga jenis: kista odontogenik yang berasal dari peradangan, kista perkembangan odontogenik, dan kista non-odontogenik. *World Health Organization* (WHO) baru-baru ini meluncurkan edisi ke-5 Klasifikasi Tumor Kepala dan Leher pada bulan Maret 2022, yang menandai pembaruan signifikan sejak edisi ke-4 pada tahun 2017 terkait klasifikasi kista pada rahang (Tabel 1). (Strokov et al., 2024) Di antara sekian banyak klasifikasi, Shear (2007) telah menyarankan klasifikasi kista yang komprehensif dengan pemahaman yang baik tentang lesi kistik di daerah mulut, wajah, dan leher. Menurut Shear (2007) kista di daerah orofasial dikategorikan ke dalam tiga kelompok utama yaitu kista rahang, kista yang berhubungan dengan antrum maksilaris dan kista jaringan lunak pada mulut, wajah dan leher. Menurut Neville (2016) Kista odontogenik dibagi menjadi:



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Δ Asal perkembangan (*developmental*)

• Ectopic

• Ectopic

• Ectopic odontogenic cyst

• Ectopic (alveolar) cyst of the newborn

• Ectopic pada dewasa

• Ectopic periodontal cyst

8. Kista odontogenik kalsifikasi
9. Kista odontogenik glandular
- B. Asal inflamasi (*inflammatory*)
 1. Kista periapikal (*radicular*)
 2. Kista residual
 3. *Buccal bifurcation cyst*

Tabel 1. Klasifikasi Tumor Kepala dan Leher Edisi ke-4 dan ke-5 oleh *World Health Organization (WHO)*: Kista Rahang

<i>4th edition of classification of head and neck tumors (WHO, 2017)</i>	<i>5th edition of classification of head and neck tumors (WHO, 2022)</i>
Kista Odontogenik yang berasal dari inflamasi	Kista Rahang
Kista radikular	Kista radikular
Kista inflamasi kolateral	Kista inflamasi kolateral
Kista perkembangan odontogenik dan non-odontogenik	Kista <i>surgical ciliated</i>
Kista dentigerous	Kista duktus nasopalatinus
OKC	Kista dentigerous
Kista periodontal lateral dan kista <i>odontogenic botryoid</i>	Kista odontogenik ortokeratinisasi
Kista gingiva	Kista periodontal lateral dan kista <i>odontogenic botryoid</i>
Kista glandular odontogenik	Kista odontogenik <i>calcifying</i>
Kista odontogenik ortokeratinisasi	Kista odontogenik glandular
Kista duktus palatinus	OKC

1.2.2 Enukleasi

Enukleasi merupakan suatu proses dimana dilakukan pengangkatan kista seluruhnya secara utuh tanpa terjadi perpecahan. Enukleasi biasanya dilakukan secara intraoral walaupun terkadang dapat juga diindikasikan ekstraoral pada submandibular. Enukleasi kista harus dilakukan dengan hati-hati, karena kista diangkat dalam satu potongan tanpa fragmentasi, yang akan mengurangi resiko rekurensi. Namun pada praktiknya, pemeliharaan keutuhan kista tidak selalu dapat terjaga, hancurnya potongan kista dapat terjadi. (Balaji, 2018) Enukleasi didefinisikan sebagai pengangkatan lapisan kista secara menyeluruh dengan penyembuhan primer. Ini adalah perawatan pilihan untuk sebagian besar kista rahang. Rongga kecil yang tersisa setelah enukleasi dapat



terisi spontan oleh mekanisme penyembuhan tulang yang normal. (Balaji, 2016)
 Enukleasi adalah sebagai berikut : (Balaji, 2018)
 1. Rongga kecil
 2. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 3. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 4. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 5. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 6. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 7. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 8. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 9. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 10. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 11. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 12. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 13. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 14. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 15. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 16. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 17. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 18. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 19. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 20. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 21. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 22. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 23. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 24. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 25. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 26. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 27. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 28. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 29. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 30. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 31. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 32. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 33. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 34. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 35. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 36. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 37. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 38. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 39. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 40. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 41. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 42. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 43. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 44. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 45. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 46. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 47. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 48. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 49. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 50. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 51. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 52. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 53. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 54. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 55. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 56. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 57. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 58. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 59. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 60. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 61. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 62. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 63. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 64. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 65. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 66. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 67. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 68. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 69. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 70. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 71. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 72. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 73. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 74. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 75. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 76. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 77. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 78. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 79. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 80. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 81. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 82. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 83. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 84. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 85. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 86. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 87. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 88. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 89. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 90. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 91. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 92. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 93. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 94. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 95. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 96. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 97. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 98. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 99. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital
 100. Rongga kecil maupun besar yang tidak membahayakan struktur vital

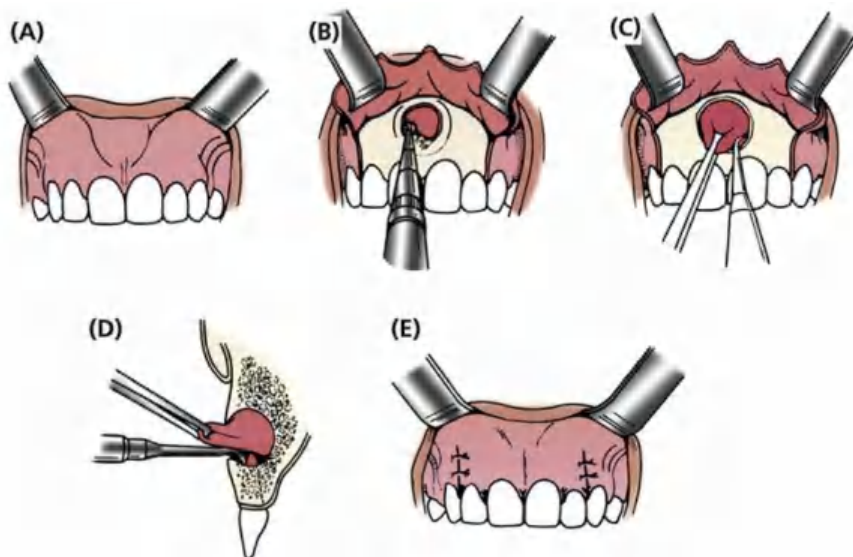
Berikut merupakan keuntungan dari metode enukleasi : (Balaji, 2018)

1. Pemeriksaan patologi dari seluruh kista dapat dilakukan
2. Penyembuhan yang cepat terjadi karena adanya penutupan luka

Kerugian dari enukleasi adalah : (Balaji, 2018)

1. Pada penderita usia muda, gigi yang belum erupsi yang terkait dengan kista ikut terangkat.
2. Dapat terjadi fraktur rahang pada pengangkatan kista berukuran besar.
3. Prosedur pengangkatan membahayakan struktur vital yang berdekatan

Adapun teknik enukleasi terdiri dari beberapa tahapan yaitu insisi dan pembuatan *flap mucoperiosteal*, pembuangan tulang, pengangkatan kista dan penjahitan daerah pembedahan (Gambar 2). (Balaji, 2018)



Gambar 2. (A) Preoperatif (B) Flap periosteal diangkat dan pembuangan tulang (C,D) Pengangkatan kista dengan kuret (E) Penutupan luka dengan penjahitan (Balaji, 2018)

1.2.3 Penyembuhan Tulang (*Bone Healing*)

Bone healing adalah proses biologis yang kompleks dan terkoordinasi di mana tubuh memperbaiki dan meregenerasi jaringan tulang yang rusak atau hilang akibat trauma, pembedahan (seperti enukleasi kista), atau penyakit. (Giannoudis et al., 2013) Proses penyembuhan tulang (*bone healing*) setelah enukleasi kista rahang melibatkan beberapa tahapan biologis yang kompleks dan berurutan. *Bone healing* dimulai dengan inflamasi pada 0 – 3 hari dimana setelah enukleasi, terjadi perdarahan yang membentuk bekuan darah. Bekuan ini kaya akan trombosit, serta PDGF, TGF- β , dan VEGF yang memicu respons inflamasi awal. Sel bermigrasi ke lokasi luka untuk membersihkan debris seluler dan memulai proses regenerasi. Pada tahap proliferasi (4- 14 hari) fibroblast dan sel endotel mulai berproliferasi. Sel mesenkim berdiferensiasi menjadi osteoblas di tepi lesi untuk memulai proses osteogenesis intramembranosa. Pembentukan kapiler baru



(angiogenesis) juga terjadi untuk mendukung metabolisme jaringan baru. Tahap maturasi awal (2 – 6 minggu) terjadi deposisi osteoid oleh osteoblas, yang kemudian mengalami mineralisasi menjadi *woven bone* (tulang anyaman). *Woven bone* bersifat imatur dan lemah secara mekanis, namun penting untuk menyambungkan defek awal. Pada tahap *remodelling* (6 minggu – beberapa bulan/tahun) *Woven bone* digantikan oleh *lamellar bone* (tulang matang) melalui aktivitas osteoklas dan osteoblas. Struktur trabekula yang lebih terorganisir dan stabil terbentuk untuk mendukung beban fungsional. (Wedagama DM, 2018), (Rahajoe et al., 2025), (Rubio dan Mombu, 2015)

Terdapat dua pendekatan *bone healing* setelah operasi yaitu *spontaneous bone healing* dan *bone healing with bonegraft*. *Spontaneous bone healing* terjadi secara alami didasarkan pada pembentukan dan pemulihan dari bekuan yang terbentuk tanpa penambahan bahan graft. (Rubio dan Mombu, 2015) Proses ini bergantung pada kemampuan regeneratif tubuh, terutama tulang sekitarnya yang menyediakan sel osteoprogenitor, scaffold alami, dan sinyal osteoinduktif. (Rubio dan Mombu, 2015) Penelitian Vitale et.al menunjukkan bahwa defek tulang kecil hingga sedang setelah enukleasi, terutama pada pasien muda, seringkali mampu sembuh sempurna secara spontan. Faktor penting yang mendukung termasuk integritas periosteum dan vaskularisasi lokal. (Vitale et al., 2021)

Pada kasus dengan lesi periapikal yang lebih besar, penyembuhan tulang lengkap mungkin tidak tercapai. Oleh karena itu seringkali penting untuk melakukan cangkok tulang guna meningkatkan pembentukan tulang pada defek bedah dan mempercepat proses penyembuhan tulang. (Siva Kumar et al., 2016) *Bone graft* adalah pendekatan dimana bahan cangkok tulang ditanamkan ke area defek untuk mendukung atau merangsang regenerasi tulang. Penggunaan *bone graft* memberikan *scaffold* osteokonduktif dan dalam beberapa kasus, juga aktivitas osteoinduktif, mempercepat dan menstimulasi regenerasi tulang. *Bone graft* juga sangat bermanfaat pada defek tulang besar yang tidak memungkinkan penyembuhan spontan yang memadai. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan *bone graft* dapat mempercepat pembentukan tulang baru dan mengurangi waktu pemulihan. (La Rosa et al., 2024)

1.2.4 Radiograf Panoramik

Salah satu modalitas yang paling sering digunakan untuk mendiagnosis kondisi medis bedah mulut dan maksilofasial adalah panoramik. Radiograf panoramik juga dikenal dengan *orthopanthomogram*, yaitu sebuah teknik dimana gambaran seluruh jaringan gigi ditemukan dalam satu film. Radiograf panoramik merupakan salah satu teknik radiograf ekstraoral yang sering digunakan dalam kedokteran gigi dengan menggunakan teknik pengambilan citra tomografi struktur fasial yang meliputi gigi, dan struktur pendukung lainnya. (Yusuf et al., 2023) Panoramik yang mudah dan terjangkau yang siap digunakan dalam evaluasi tatalaksana klinis bedah mulut. Namun, ini merupakan radiograf menunjukkan struktur anatomi dalam dimensi 2D dengan beberapa artefak seperti bayangan dan artefak superposisi (Kosar, Saruhan dan



dua dimensi. Alat ini memberikan gambaran umum kesehatan mulut pasien, memudahkan komunikasi dengan pasien dan praktisi, kualitas gambar yang lebih baik, biaya ekonomi yang rendah, bahaya radiasi yang lebih rendah, dan menghemat waktu karena tidak ada pemrosesan kimia. (Dhawan et al., 2020) Radiograf panoramik sering digunakan dalam kedokteran gigi karena biayanya yang murah, dapat memperlihatkan perubahan tulang, memungkinkan analisis tulang trabekular, dan memerlukan paparan radiasi yang rendah. (Barcelos et al., 2024). Radiograf panoramik, yang memperlihatkan rahang secara bilateral, merupakan teknik pencitraan pertama dan paling umum digunakan saat memeriksa rahang. Meskipun panoramik memiliki kekurangan karena merupakan metode pencitraan 2 dimensi, metode ini sangat diperlukan dalam kedokteran gigi dengan kelebihan seperti memerlukan dosis radiasi yang lebih rendah, akses mudah, dan interpretasi dibandingkan dengan sistem pencitraan 3 dimensi. (Citir, Karslioglu dan Uzun, 2023)

Radiograf panoramik memiliki kelebihan, antara lain: semua jaringan pada area yang luas dapat tergambarkan pada film, mencakup tulang wajah dan gigi, pasien menerima dosis radiasi yang rendah, dapat digunakan pada pasien yang tidak dapat membuka mulut, untuk membuat gambaran panoramik tidak membutuhkan waktu yang lama, biasanya 3-4 menit (termasuk waktu yang diperlukan untuk posisi pasien dan paparan), gambaran mudah dipahami pasien dan media pembelajaran. Radiograf panoramik tidak hanya memiliki kelebihan, ada juga beberapa kekurangan dari radiograf panoramik, yaitu: gambaran tomografi hanya menampilkan struktur atau abnormalitas yang bukan di bidang tumpu tidak bisa jelas, bayangan jaringan lunak dan udara dapat mengaburkan struktur jaringan keras, bayangan artefak bisa mengaburkan struktur di bidang tumpu, pergerakan tomografi bersama dengan jarak antara bidang tumpu dan film menghasilkan distorsi dan magnifikasi pada gambaran, penggunaan film dan *intensifying screen* secara tidak langsung dapat menurunkan kualitas gambar, teknik pemeriksaan tidak cocok untuk anak-anak dibawah lima tahun atau pasien non kooperatif karena lamanya waktu paparan, beberapa pasien tidak nyaman dengan bentuk bidang tumpu dan beberapa struktur akan keluar dari fokus. (Himammi dan Hartomo, 2021)

Pada saat pengambilan gambar radiograf panoramik, diperlukan beberapa posisi dan teknik yang perlu dilakukan agar mendapatkan gambar yang baik. Operator perlu memasang kaset yang berisi film atau plat fosfor pada perangkat, *collimation* dipasang sesuai dengan ukuran bidang yang dibutuhkan dan besarnya penyinaran perlu disesuaikan (biasanya 70-90kV dan 4-12 mA). Selanjutnya pasien diposisikan pada unit dengan posisi tegak dan diinstruksikan untuk menggigit *bite-peg* dengan insisif rahang atas dan rahang bawah dan posisi dagu terletak pada *chin support*. *Light beam marker* digunakan agar bidang sagital vertikal, bidang *frankfort horizontal*, dan sinar *caninus*



isif lateral maksila dan kaninus. Pasien perlu menutup bibir dan angit-langit mulut serta tidak bergerak ketika sedang dilakukan 5-18 detik). Posisi kepala pasien pada saat pengambilan gambar perlu diperhatikan dan dipertahankan sehingga gigi dapat berada osisi kepala yang terlalu maju ke depan, jauh ke belakang dan pengaruhi hasil gambar (Gambar 3). (Ruth dan Sosiawan, 2021), 2013)



Gambar 3. Posisi pasien pada perangkat radiograf panoramik (Whaites dan Drage, 2013)

1.2.5 Analisis Fraktal Tulang (*The Osseous Fractal Analysis*)

Analisis fraktal tulang merupakan teknik matematika yang berguna untuk menggambarkan dan menganalisis pola struktural rumit tulang trabekular menggunakan dua ukuran statistik yang dikenal sebagai FD dan *lacunarity*. Analisis fraktal adalah metode untuk menggambarkan bentuk kompleks dan pola struktural dan dinyatakan secara numerik. Analisis tekstur tulang memberikan informasi tentang struktur tulang dengan cara non-invasif. Pemrosesan gambar morfologi matematika adalah salah satu metode yang telah terbukti berguna untuk analisis tekstur tulang. (Basavarajappa, Ramachandra dan Kumar, 2021)

FD mengkarakterisasi kompleksitas struktural secara numerik dengan angka yang meningkat, yang menunjukkan peningkatan kompleksitas. FD tulang trabekular telah dikaitkan dengan kekuatan tulang. Ini telah digunakan untuk mengevaluasi interkoneksi kompleks tulang alveolar kancellus pada gambar gigi yang memungkinkan identifikasi subjek dengan atau tanpa osteoporosis. Jika terdapat nilai FD yang serupa tetapi dengan tampilan visual yang berbeda, *lacunarity*, metode lain untuk mengklasifikasikan lebih lanjut, dapat digunakan. *Lacunarity* menggambarkan distribusi spasial *lacunae* atau celah dan merupakan ukuran bagaimana fraktal mengisi ruang tersebut. Tulang trabekular menunjukkan karakteristik fraktal, seperti kesamaan diri dan kurangnya skala yang terdefinisi dengan baik karena strukturnya yang bercabang. Oleh karena itu, aplikasi geometri fraktal dapat digunakan untuk mendefinisikan struktur kompleks tulang trabekular (Basavarajappa, Ramachandra dan Kumar, 2021)



Analisis fraktal tulang, gambar digital telah berhasil digunakan untuk menganalisis perubahan patologis dan fisiologis dalam arsitektur tulang. Salah satu aplikasi saat ini untuk evaluasi tulang menggunakan radiograf panoramik adalah analisis fraktal, yaitu metode matematika yang menggambarkan dan menganalisis pola struktural berdasarkan fraktal. Ekspresi numerik dari kompleksitas adalah FD, yang dapat dihitung dengan algoritma penghitungan fraktal. Selain fitur fraktal lain yang mencirikan tekstur struktur, yang diperoleh

melalui pengukuran distribusi spasial dan susunan celah pada gambar. (Barcelos et al., 2024)

FD adalah ukuran kompleksitas struktur mikro tulang yang digunakan untuk mengevaluasi perubahan tulang yang disebabkan oleh berbagai penyakit dan kondisi sistemik. Meskipun demikian, telah dilaporkan bahwa nilai FD yang dihitung mungkin tidak sepenuhnya mewakili struktur fraktal yang diperiksa, karena set fraktal yang berbeda mungkin memiliki nilai FD numerik yang sama. Oleh karena itu, penggunaan *lacunarity* sebagai pelengkap FD telah direkomendasikan untuk evaluasi tulang karena kemampuannya untuk membedakan distribusi spasial set fraktal dengan FD yang sama. Kombinasi FD dan *lacunarity* dapat digunakan untuk menilai penyembuhan awal tulang selama osseointegrasi (Dundar, Aslan dan Mutlu, 2024)

FD dan *lacunarity* yang dinilai berdasarkan radiograf dan teknik pencitraan lainnya, dianggap sebagai alat penelitian penting dalam investigasi tulang. Parameter ini berhubungan dengan ketidakteraturan tulang (yang berarti pola tidak teratur dengan kesamaan diri pada skala yang berbeda) dan “gap” (dari kata Latin *lacuna*, yang mengacu pada variabilitas celah atau lubang). Beberapa penelitian telah menggunakan FD dan *lacunarity* untuk menilai perbedaan antara kelompok individu dengan penyakit dan kondisi yang berbeda. Secara singkat, FD mengukur bagaimana tulang mengisi ruang metrik, dan *lacunarity* mengukur distribusi celah di tulang. (Santos et al., 2023) Baik FD maupun *lacunarity* adalah ukuran statistik yang mengukur hubungan antara piksel yang berdekatan, dan dengan demikian secara inheren lebih mampu mengkarakterisasi pola trabekulasi. (Yasar dan Akgünlü, 2005)

Perhitungan FD telah menjadi metode yang populer untuk mengkarakterisasi tekstur gambar. Karena manfaat radiograf digital, penggunaannya dalam kedokteran gigi semakin meningkat, yang selanjutnya memudahkan penerapan analisis fraktal, karena gambar tersedia dalam format digital. FD telah dideskripsikan sebagai pengukuran ketidakteraturan. Dalam radiologi gigi, perhitungan FD dapat digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur struktur tulang trabekular untuk mendeteksi perubahan tulang yang terkait dengan periodontitis apikal, penyakit periodontal, operasi tulang, dan penyakit sistemik. Namun, karena fraktal dengan dimensi yang identik dapat memiliki penampilan yang sangat berbeda, istilah *lacunarity* diperkenalkan untuk menggambarkan karakteristik fraktal dengan dimensi sama dengan tekstur yang berbeda. *Lacunarity* dianggap sebagai pengukuran heterogenitas tekstur yang bergantung pada skala. (Onem, Baksı dan Sogur, 2012)

Pada tulang trabekular, hasil FD yang dihitung dengan metode penghitungan kotak diasumsikan berada di antara 1 dan 2. Nilai yang mendekati 2 menunjukkan mikrostruktur tulang yang sangat kompleks, sedangkan nilai yang mendekati 1 menunjukkan mikrostruktur tulang yang lebih sederhana yang menekankan porositas



la, 2025), (Kaya and Avci, 2024) Untuk nilai *lacunarity* yang rendah a teksturnya homogen, sedangkan *lacunarity* yang tinggi teksturnya heterogen. Nilai *lacunarity* yang tinggi berarti piksel-a rentang yang lebih lebar dan dikelilingi oleh banyak celah yang ada awalnya diperkenalkan untuk menggambarkan karakteristik dimensi yang sama tetapi memiliki tampilan yang berbeda. Dengan ampu mengatasi kelemahan FD yang banyak digunakan. (Muchtar, 2016)

1.2.6 Hubungan Nilai Fraktal Dimensi dan *Lacunarity* dengan Penyembuhan Tulang setelah Enukleasi Kista

Analisis fraktal tulang merupakan teknik matematika yang berguna untuk menggambarkan dan menganalisis pola struktural rumit tulang trabekular menggunakan dua ukuran statistik yang dikenal sebagai FD dan *lacunarity*. (Basavarajappa, Ramachandra dan Kumar, 2021) Analisis fraktal telah digunakan dalam berbagai literatur untuk mengevaluasi perubahan trabekular pada bidang kedokteran gigi. Dengan metode ini, kepadatan mineral tulang dievaluasi, dan metode ini menjadi metode standar. Analisis fraktal dikaitkan dengan kompleksitas struktur tulang dan proses pembentukan tulang baru. Dalam konteks penyembuhan tulang setelah enukleasi kista, analisis fraktal berguna untuk mengevaluasi progres regenerasi jaringan tulang (Tekin et al., 2025)

FD adalah parameter kuantitatif yang mencerminkan kompleksitas struktur trabekular tulang pada citra radiografik. FD yang tinggi menunjukkan struktur tulang yang lebih kompleks dan padat, yang identik dengan tulang sehat. Sebaliknya, penurunan nilai FD menunjukkan kehilangan trabekular atau regenerasi tulang yang belum optimal. (Kato et al., 2020) Studi Lim et.al menunjukkan terdapat peningkatan nilai FD yang signifikan setelah enukleasi kista dalam beberapa bulan yang menunjukkan adanya korelasi antara nilai FD dan perubahan tulang. (Lim et al., 2011) Pada studi lain oleh Geraets and Stelt, terdapat korelasi positif antara peningkatan FD dan skor histologis penyembuhan tulang. (Geraets dan Stelt, 2000)

Ozturk et al., (2022) meneliti ROI yang diambil dari pusat kista dalam penelitian mereka pada anak-anak dan melaporkan bahwa FD meningkat secara kuantitatif dari waktu ke waktu dan bahwa peningkatan nilai FD terkait dengan kompleksitas struktur tulang dan pembentukan tulang baru. Hasil ini juga menunjukkan bahwa metode FD dapat diterapkan pada kista. Dalam penelitian ini, peningkatan nilai FD yang signifikan pada bulan ke-3 dan ke-6 memberikan indikasi kuantitatif perubahan struktur tulang.

Lacunarity adalah parameter pelengkap FD yang mengukur heterogenitas distribusi tekstur atau celah dalam jaringan tulang. Nilai *lacunarity* yang tinggi menunjukkan distribusi trabekular yang tidak merata atau adanya rongga besar yang belum tergantikan oleh tulang baru. (Barcelos et al., 2024) Dalam konteks radiograf tulang, *lacunarity* digunakan untuk menilai struktur trabekular. Perubahan nilai *lacunarity* setelah prosedur enukleasi kista dapat menunjukkan tingkat maturasi dan reorganisasi tulang dalam area yang sebelumnya mengalami destruksi. (Geraets dan Stelt, 2000)

Studi menunjukkan bahwa selama penyembuhan, nilai *lacunarity* mengalami perubahan yang dapat dikorelasikan dengan peningkatan densitas tulang dan pemulihan struktur trabekular. Nilai *lacunarity* yang menurun seiring waktu mencerminkan homogenisasi pola trabekula akibat penyembuhan. (Nascimento, Pontual dan Freitas, 2022) Studi lain oleh Kato et al., nilai *lacunarity* lebih tinggi pada area yang belum lengkap. Hal ini membuat *lacunarity* berguna untuk mendeteksi tabil atau masih aktif dalam proses *remodeling*. (Kato et al., 2020)



1.2.7 Hubungan Usia dan Jenis Kelamin dengan Penyembuhan Tulang setelah Enukleasi Kista

Penyembuhan tulang (*bone healing*) setelah enukleasi kista merupakan proses yang dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk usia dan jenis kelamin pasien. Variasi biologis antar individu menyebabkan perbedaan dalam laju dan kualitas penyembuhan tulang setelah operasi. (Chiapasco et al., 2000) Usia merupakan faktor penting yang memengaruhi osteogenesis. Pada individu muda, aktivitas osteoblast lebih tinggi, yang mempercepat pembentukan matriks tulang baru. Sebaliknya, proses penyembuhan cenderung lebih lambat pada pasien lansia karena berkurangnya regenerasi seluler. (Shapiro, 2008) Seiring bertambahnya usia, kepadatan dan kualitas tulang menurun akibat peningkatan aktivitas osteoklas dan penurunan respon terhadap faktor pertumbuhan. Hal ini menyebabkan area pasca-enukleasi lebih lama mengalami pengisian tulang baru. (Willingham et al., 2010)

Usia merupakan salah satu determinan utama dalam proses penyembuhan tulang. Semakin tua usia seseorang, semakin berkurang kapasitas osteogenik sumsum tulang serta regenerasi vaskularisasi di area luka. (Lu et al., 2008) Pada pasien anak dan remaja, proses penyembuhan tulang cenderung lebih cepat karena aktivitas sel osteoblast lebih tinggi, serta suplai darah yang lebih baik di area tulang. Pada pasien usia lanjut, proses *healing* mengalami perlambatan karena penurunan aktivitas osteoprogenitor, serta peningkatan proses inflamasi kronis yang mengganggu regenerasi tulang. (Gerstenfeld et al., 2003)

Jenis kelamin berperan dalam penyembuhan tulang melalui pengaruh hormon seksual. Estrogen dan testosteron memengaruhi aktivitas osteoblas dan osteoklas. Estrogen, misalnya, memiliki efek protektif terhadap tulang dan mempercepat *healing*. Pria umumnya memiliki massa tulang lebih tinggi, tetapi wanita mengalami fluktuasi hormonal yang lebih besar. Secara umum, pria memiliki kepadatan tulang (*bone mineral density/BMD*) yang lebih tinggi, yang memengaruhi kecepatan dan efektivitas penyembuhan tulang. Setelah menopause, wanita mengalami penurunan estrogen yang mempercepat resorpsi tulang, yang dapat memperlambat penyembuhan pasca-enukleasi. Penelitian radiografik menunjukkan bahwa nilai densitas tulang pasca-enukleasi meningkat lebih cepat pada pria dibandingkan wanita *pasca-menopause*. Namun, pada wanita muda, penyembuhan tulang serupa dengan pria pada kelompok usia yang sama. (Riggs, Khosla dan Melton, 2002)

Penelitian oleh Ku et al. menggunakan analisis volumetrik untuk menilai penyembuhan tulang setelah enukleasi kista rahang. Studi ini menemukan usia dan jenis kelamin mempengaruhi rasio penyembuhan tulang, dengan pasien wanita dan yang berusia di bawah 30 tahun memiliki rasio penyembuhan yang lebih tinggi (Ku et al., 2022)



et al. menggunakan evaluasi 3D untuk menilai penyembuhan tulang enukleasi kista. Studi ini menemukan bahwa jenis kelamin ulasi tulang baru, dengan wanita menunjukkan akumulasi tulang dibandingkan pria ($p < 0,001$). (Yang et al., 2025)

1.3 Rumusan masalah

1. Apakah terdapat perbedaan nilai FD dan *lacunarity* penyembuhan tulang spontan pada area tulang normal, *pre-operative* dan *post-operative* 6 bulan *pasca* enukleasi kista yang diamati melalui radiograf panoramik?

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis nilai FD dan *lacunarity* penyembuhan tulang spontan pada area tulang normal, *pre-operative* dan *post-operative* 6 bulan *pasca* enukleasi kista secara radiografis.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Mengukur nilai FD di area tulang normal, sebelum dan sesudah enukleasi kista menggunakan radiograf panoramik.
2. Mengukur nilai *lacunarity* di area tulang normal, sebelum dan sesudah enukleasi kista menggunakan radiograf panoramik.
3. Menilai perbedaan nilai FD dan *lacunarity* pada area tulang normal, sebelum dan setelah enukleasi kista
4. Menganalisis hubungan antara nilai FD dan *lacunarity* dengan penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi kista pada radiograf panoramik
5. Mengidentifikasi pengaruh faktor-faktor seperti usia, jenis kelamin, lokasi kista, dan jenis kista yang mempengaruhi penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi kista.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Praktis

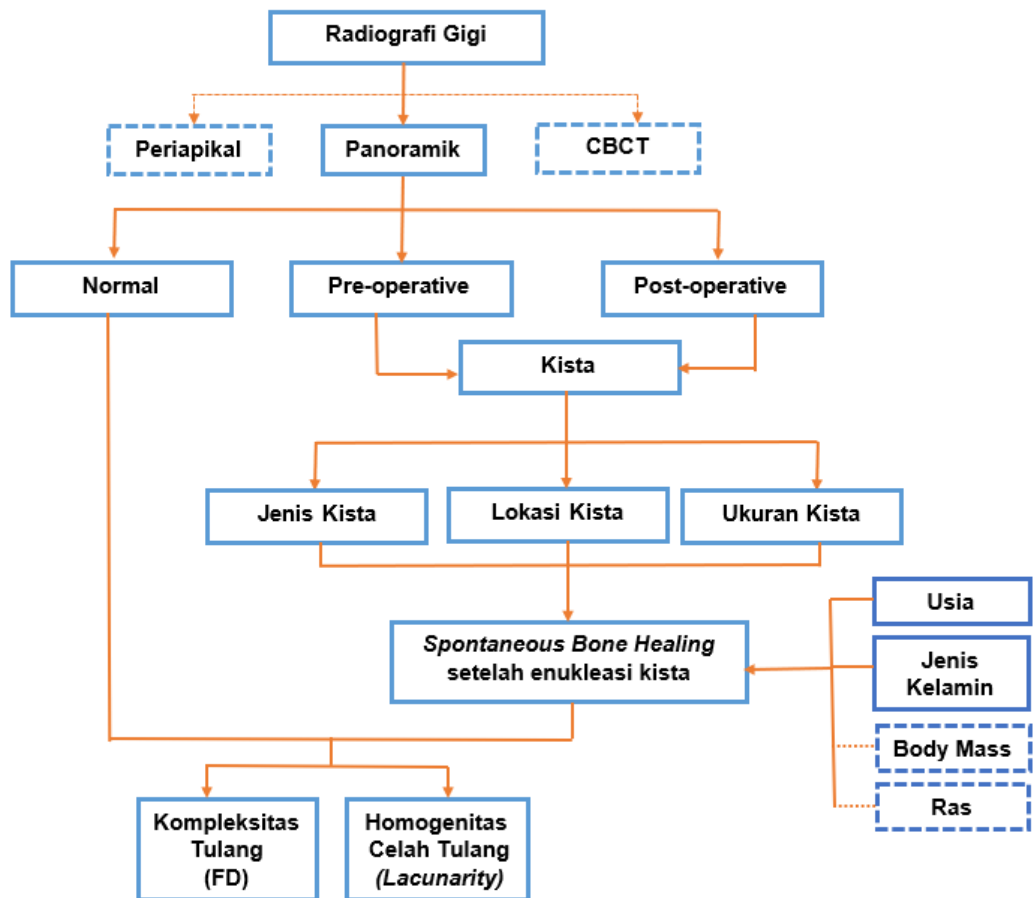
1. Untuk mengetahui perbedaan nilai FD dan *lacunarity* penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi kista pada radiograf panoramik
2. Memberikan informasi yang berguna bagi dokter gigi dalam memperkirakan penyembuhan tulang secara objektif setelah enukleasi kista berdasarkan nilai FD dan *lacunarity*.
3. Mempermudah memprediksi prognosis penyembuhan tulang dan keberhasilan perawatan secara lebih akurat setelah enukleasi kista.

1.5.2 Manfaat Teoritis

1. Menambah wawasan ilmiah di bidang radiologi dan kedokteran gigi, khususnya pemanfaatan nilai FD dan *lacunarity* pada radiograf panoramik dalam menilai penyembuhan tulang setelah enukleasi kista.
2. Memberikan dasar bagi penelitian lanjutan tentang penggunaan analisis FD dan *lacunarity* sebagai indikator penyembuhan tulang secara objektif yang relevan sis dan prediksi *post-operative* bedah mulut.



1.6 Kerangka Teori



Gambar 4. Kerangka Teori

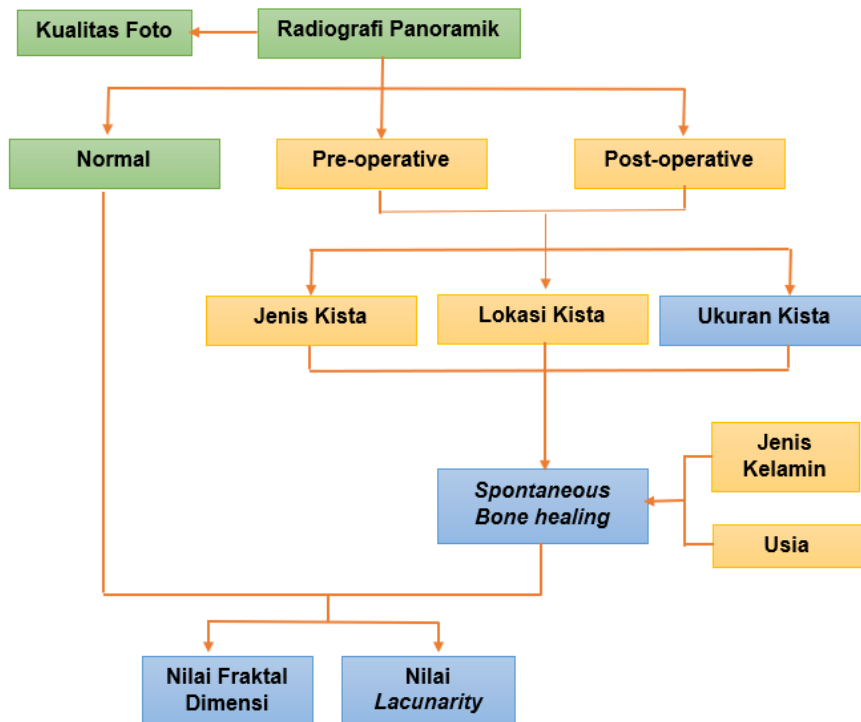
Keterangan:

Diteliti

Tidak diteliti



1.7 Kerangka Konsep



Gambar 5. Kerangka Konsep

Keterangan

	Variabel independen
	Variabel dependen
	Variabel kontrol

1.8 Hipotesis Penelitian

H0 : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai FD dan *lacunarity* yang spontan pada area tulang normal, *pre-operative* dan *post-pasca* enukleasi kista yang diamati melalui radiograf panoramik.

perbedaan yang signifikan antara nilai FD dan *lacunarity* yang spontan pada area tulang normal, *pre-operative* dan *post-pasca* enukleasi kista yang diamati melalui radiograf panoramik.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian observasional analitik dengan pendekatan studi retrospektif.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Pendidikan (RSGMP) Unhas Makassar pada bulan Oktober 2025.

2.3 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini adalah foto radiograf panoramik dari instalasi Radiologi Gigi RSGMP Unhas Makassar mulai bulan Januari 2022 hingga Oktober 2025. Teknik pengambilan sampel adalah *purposive sampling*. Kriteria sampel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Kriteria inklusi :

1. Memiliki foto radiograf panoramik *pre-operative* dan *post-operative* (6 bulan setelah enukleasi kista) dengan diagnosis kista.
2. Menggunakan panoramik digital yang sama.
3. Kualitas radiograf baik (detail jelas, kontras baik, artefak minimal, akurasi dan dimensi sesuai).
4. Tidak terdapat kelainan sistemik yang dapat mempengaruhi penyembuhan tulang

Kriteria Eksklusi:

1. Pasien yang mendapat perawatan tambahan pada area defek tulang misalnya *bone graft*.
2. Tidak terdapat foto diagnosis awal sebelum enukleasi kista atau foto *control* 6 bulan *pasca* enukleasi kista.

Pengambilan sampel dilakukan dengan *purposive sampling* dimana seluruh sampel yang memenuhi kriteria inklusi dan tidak termasuk dalam kriteria eksklusi diambil datanya dan diikutsertakan dalam penelitian.

2.4 Variabel Penelitian

- Variabel dependen : Nilai FD, nilai *lacunarity*, *Reduksi Rate* ukuran kista
- Variabel independen : Usia, jenis kelamin, lokasi kista, jenis kista
- Variabel kontrol : Kualitas radiograf, tulang trabekular sehat (normal)



2.5 Definisi Operasional Variabel

Variabel	Defenisi Operasional	Indikator	Alat Pengukuran	Skala
Nilai FD	Nilai numerik yang diperoleh dari analisis <i>box counting</i> pada citra radiograf panoramik yang menggambarkan kompleksitas struktur trabekular.	Nilai FD (1-2)	<i>Box-counting Software ImageJ</i>	Rasio
Nilai <i>lacunarity</i>	Nilai numerik yang diperoleh dari <i>plugin Fractal</i> pada citra radiograf panoramik yang menggambarkan heterogenitas dan kekosongan struktur <i>trabecular</i> tulang	Nilai <i>lacunarity</i>	<i>Plugin Fractal Software ImageJ</i>	Rasio
Penyembuhan tulang spontan/ <i>Spontaneous Bone Healing</i>	Nilai persentasi yang diperoleh dari reduksi diameter terpanjang area radiolusensi antara radiograf awal dan radiograf 6 bulan <i>pasca</i> enukleasi tanpa intervensi <i>bone graft</i> yang menggambarkan penyembuhan tulang.	Score berdasarkan Nakamura et al., 2002 dilihat dari persentase reduksi radiolusensi: - > 80 % = Penyembuhan baik - 50-80 % = Penyembuhan sedang - < 50 = Penyembuhan buruk	<i>Straight Line Tool Software ImageJ</i> yang telah dikonversi dalam mm	Ordinal
Kista	Lesi yang terdeteksi secara radiograf panoramik sebagai area radiolusen yang ibatasi tepi klerotik yang telah dikorfiriasi engan hasil <i>needle aspiration</i> an/ HPA yang dilihat pada ekam medik.	-Gambaran radiograf panoramik - Rekam Medik pasien (Hasil <i>Fine Needle Aspiration</i> (FNA) dan HPA)	Radiograf panoramik dan Rekam Medik Pasien	Nominal



Enukleasi kista	Prosedur pembedahan untuk mengangkat seluruh kista yang dilakukan oleh dokter/residen spesialis bedah mulut.	Status <i>pasca</i> -bedah pada rekam medik	Catatan <i>operative</i> bedah (Rekam medik)	Nominal
Kualitas radiograf	Tingkat kejelasan dan ketajaman citra panoramik dalam menampilkan struktur rahang atas dan rahang bawah dengan artefak minimal dan akurasi dimensi sesuai.	Dikategorikan menjadi: 1. Dapat diinterpretasikan 2. Tidak dapat diinterpretasikan	Evaluasi oleh pengamat berdasarkan kontras, resolusi, dan artefak serta disetujui oleh dosen pengampuh	Ordinal
Usia/ Umur	Usia subjek yang tercatat pada rekam medik dalam tahun.	Kelompok usia dibagi berdasarkan dekade kehidupan : - Dekade pertama : < 10 tahun - Dekade kedua : 10-19 tahun - Dekade ketiga : 20-29 tahun - Dekade keempat : 30- 39 tahun - Dekade kelima : 40- 49 tahun - Dekade keenam : 50-59 tahun - Dekade ketujuh : 60-69 tahun	Rekam Medik	Ordinal
Jenis kelamin	Jenis kelamin subjek ditentukan berdasarkan informasi demografis yang tercantum dalam rekam medis.	Jenis kelamin dikategorikan sebagai pria atau wanita.	Rekam Medik	Nominal
	Lokasi anatomis rahang tempat kista berada, dilihat dari klinis dan radiograf panoramik	Dikategorikan menjadi: a.Rahang atas (maksila) b.Rahang bawah (mandibula)	Citra klinis dan radiograf panoramik	Nominal



Jenis kista	Kategori kista yang ditentukan berdasarkan <i>Neville et.al, 2016</i>	Dikategorikan menjadi: 1. <i>Developmental</i> • <i>Dentigerous cyst</i> • <i>Odontogenic keratocyst (OKC)</i> • <i>Orthokeratinized odontogenic cyst</i> • <i>Lateral periodontal cyst</i> • <i>Nasopalatinus duct</i> 2. <i>Inflammatory</i> • <i>Periapical (radicular) cyst</i> • <i>Residual periapical (radicular) cyst</i> • <i>Buccal bifurcation cyst</i>	Diagnosis dokter (rekam medik) sebelum dilakukan enukleasi	Nominal
-------------	---	--	--	---------

2.6 Alat dan Bahan

1. Laptop
2. Radiograf panoramik digital *Vatech PAX-I 3D Green Machine*
3. *Software ImageJ 1.54g (Wayne Rasband and Contributors National Institutes of Health, USA) for Windows*
5. Formulir pengumpulan data
6. Alat tulis

2.7 Prosedur Penelitian

a) Pengambilan Data Radiograf Panoramik

1. Pengambilan data radiograf panoramik di Instalasi Radiologi Kedokteran Gigi RSGMP Unhas, kemudian sampel dipilih berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian.
2. Hasil radiograf diambil menggunakan spesifikasi mesin radiograf panoramik yang sama yaitu *Vatech PAX-I 3D Green Machine* (10mA, 73kVp).
3. Hasil gambaran radiograf diekstrak dengan JPEG format.

Adapun kriteria radiograf periapikal dengan kualitas baik, yaitu sebagai berikut:

1. Seluruh obyek yang tercakup pada radiograf termasuk tepi bawah mandibula, kondilus kiri dan kanan serta tepi bawah orbita
2. Ketajaman baik
3. Distorsi vertikal dan horizontal minimal
4. Tidak ada *ghost image* yang dapat mengganggu interpretasi
5. Radiolusen dengan apikal gigi anterior rahang atas.



b) Analisis Nilai Fraktal Dimensi

Analisis nilai FD pada radiograf panoramik yang telah memenuhi kriteria. Adapun cara pemrosesan gambar dan mengukur nilai FD menurut metode yang dikembangkan oleh *White dan Rudolph* (1999) yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan area spesifik atau *Region of Interest* (ROI)
ROI ditentukan dengan menggunakan *software Image J*, ukuran ROI sebesar 60 x 60 *pixel* ditempatkan pada sisi tepi kista baik pada radiograf *pre-operative* dan *post-operative*. ROI area tulang normal ditempatkan pada sisi kontralateral dengan menggunakan *reference point* tulang yang sehat.
2. ROI dipotong, diduplikasi, dan disimpan dalam format 8-bit.
3. Terapkan filter *Gaussian blur* ($\sigma = 35$ piksel) untuk menghindari variasi kecerahan tergantung pada jaringan lunak bagian atas dan ketebalan tulang yang berbeda dalam gambar
4. Melakukan *subtract* gambar dengan menggunakan gambar asli.
5. Menambahkan 128 skala abu-abu ke setiap lokasi piksel untuk memisahkan sumsum tulang dari struktur trabekular.
6. Binarisasi gambar agar tulang trabekula dan ruang-ruang antar trabekula dapat dibedakan dengan jelas dalam gambar. Hasil binarisasi akan menghasilkan gambar biner dengan struktur trabekula berwarna putih dan ruang kosong berwarna hitam, sehingga trabekula terlihat lebih kontras.
7. Hilangkan *noise* gambar dengan cara *erode*, yaitu menghilangkan piksel-piksel kecil di tepi objek, sehingga membantu mengurangi *noise* atau artefak yang tidak diinginkan
8. Memperluas area objek, menutup celah kecil, dan memperbaiki kontinuitas objek dengan cara *dilate* berguna jika gambar memiliki garis yang putus-putus atau struktur yang tidak terhubung sehingga garis luar struktur dibuat lebih terlihat.
9. Invers gambar agar garis luar trabekular terlihat dengan mengubah area putih menjadi hitam, dan area hitam menjadi putih
10. Skeletonisasi gambar untuk menentukan garis besar struktur trabekular secara skeletal. Objek (trabekular) berwarna hitam dan latar belakang berwarna putih.
11. Untuk menghitung ukuran fraktal, gambar dibagi menjadi kotak dengan lebar ukuran yang sama yaitu 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 32, dan 64 piksel dengan menggunakan fungsi Penghitung Kotak Fraktal. Jumlah bingkai yang berisi trabekula dan jumlah total bingkai dalam gambar dihitung untuk ukuran piksel yang berbeda. Nilai-nilai ini diplot pada skala logaritmik, dan kemiringan garis yang paling sesuai dengan titik-titik pada grafik menggambarkan nilai FD
12. Catat hasil pengukuran FD untuk setiap ROI yang dianalisis.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

pengukuran yang sama pada area tulang yang sehat pada sisi
al kista. Agar mendapatkan area tulang yang simetris gunakan garis

lacunarity

lacunarity pada radiograf panoramik yang telah memenuhi kriteria. Adapun pemrosesan gambar dan mengukur nilai *lacunarity* menurut panduan *Image J* (2004) yaitu sebagai berikut.

1. Buka gambar ROI 60x60 *pixel* yang telah diubah dalam format 8-bit yang digunakan menghitung fraktal dimensi sebelumnya.
2. Pisahkan objek (*foreground*, tulang) dari latar belakang menggunakan *threshold*. Ini akan menghasilkan gambar dengan kontras tajam antara struktur yang ingin dianalisis dan latar.
3. Ubah hasil *threshold* menjadi benar-benar dua warna saja (hitam dan putih) Format *binary* ini diperlukan untuk algoritma *box-counting* dan *lacunarity*.
4. *Invert* gambar untuk menjadikan objek berwarna hitam, dan *background* putih. *FracLac* hanya mengenali objek hitam diatas latar putih dan membaca area hitam sebagai bagian struktur yang dianalisis.
5. Jalankan *plugin fracLac* pada menu.
6. Kemudian Pilih *Slac (Sliding Box Lacunarity)*.
7. Lakukan pengaturan pada *option* dengan mencentang *lacunarity* pada *graphic option* untuk memastikan *fracLac* menghitung dan menampilkan nilai *lacunarity*.
8. Selanjutnya lakukan analisis nilai *lacunarity* dengan mengklik tombol *Scan*. *FracLac* akan menjalankan analisis dan menampilkan hasil *lacunarity* dalam bentuk *.txt* atau *.csv*.
9. Catat hasil pengukuran *lacunarity* untuk setiap ROI yang dianalisis.
10. Lakukan pengukuran yang sama pada area tulang yang sehat pada sisi kontralateral kista. Agar mendapatkan area tulang yang simetris gunakan garis bantu.

d) Analisis RR Penyembuhan Tulang Spontan (*Spontaneous Bone Healing*)

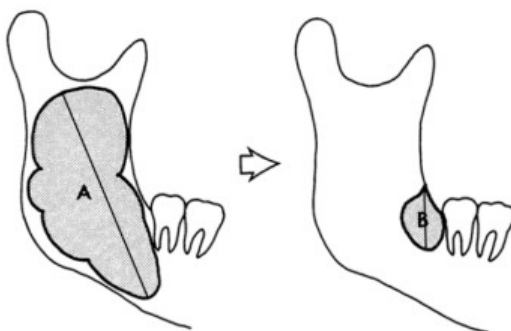
Pengukuran penyembuhan tulang menurut Nakamura *et al.*, 2002 dihitung berdasarkan reduksi rate (RR) atau persentase reduksi ukuran kista. Pengukuran dalam milimeter dari diameter terpanjang rongga kista pada radiograf *pre-operative* dan 6 bulan *post-operative* diukur menggunakan *Straight Line Tool Software ImageJ* yang telah dikonversi dalam mm. Penyembuhan tulang dihitung sebagai berikut:

$$RR (\%) = \frac{A (mm) - B(mm)}{A (mm)} \times 100 \%$$

A = Diameter terpanjang area radiolusensi rongga kista pada radiograf awal (*pre-operative*)

B = Diameter terpanjang area radiolusensi rongga kista pada radiograf 6 bulan *post-operative*





Gambar 6. Pengukuran RR kista *pre-operative* (A) dan *post-operative* (B) enukleasi kista (Nakamura *et al.*, 2002)

Selanjutnya menurut Nakamura *et al.*, 2002 kategori penyembuhan tulang dikelompokkan berdasarkan persentasi RR yaitu:

1. $> 80\%$ = Penyembuhan baik
2. $50-80\%$ = Penyembuhan sedang
3. $< 50\%$ = Penyembuhan buruk

2.8 Analisis Data

• Analisis Deskriptif

Menggunakan uji statistik deskriptif yang bertujuan untuk mengetahui distribusi frekuensi usia, jenis kelamin, lokasi kista dan ukuran kista serta nilai rata-rata dan standar deviasi nilai FD dan *lacunarity* di sekitar area kista rahang.

• Uji Normalitas dan Homogenitas

Shapiro-Wilk untuk mengetahui distribusi normal data.

• Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas diperlukan untuk memastikan konsistensi hasil secara *intra-observer* menggunakan uji *Interclass Correlation Coefficient* (ICC) untuk nilai FD dan *lacunarity*. Uji *Cohens's Kappa* untuk data nominal penyembuhan tulang berdasarkan RR ukuran kista.

• Uji Beda Antar Kelompok

Untuk menilai perbedaan nilai FD dan *lacunarity* pada area tulang normal, sebelum dan setelah enukleasi (>2 kelompok berpasangan) bila data normal digunakan uji *Repeated Measures ANOVA* (dengan koreksi *Greenhouse-Geisser* bila asumsi *sphericity* tidak terpenuhi dan menggunakan uji *Friedman test* bila data tidak normal. Jika data signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjut *Post Hoc*.

• Uji Korelasi



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Nilai FD dan *lacunarity* adalah rasio, dan penyembuhan tulang rangka untuk melihat hubungan FD dan *lacunarity* terhadap penyembuhan tulang spontan setelah enukleasi kista gunakan uji *Spearman* jika sampel ≥ 30 , jika jumlah sampel < 30 maka menggunakan uji *Mann-Whitney U*.

Usia adalah ordinal dan penyembuhan tulang adalah ordinal, untuk melihat hubungan usia terhadap penyembuhan tulang spontan gunakan uji *Spearman* jika jumlah sampel ≥ 30 , jika jumlah sampel < 30

maka menggunakan uji *Kendal Tau*.

- c. Karena skala jenis kelamin adalah nominal dan penyembuhan tulang ordinal maka untuk melihat hubungan jenis kelamin terhadap penyembuhan tulang spontan menggunakan uji *Chi-Square*.
- d. Karena skala lokasi kista adalah nominal dan penyembuhan tulang ordinal maka untuk melihat hubungan lokasi kista terhadap penyembuhan tulang spontan menggunakan uji menggunakan uji *Chi-Square*.
- e. Karena skala jenis kista adalah nominal dan penyembuhan tulang ordinal maka untuk melihat hubungan jenis kista terhadap penyembuhan tulang spontan menggunakan uji menggunakan uji *Chi-Square*.
- f. Karena skala ukuran kista adalah rasio dan penyembuhan tulang adalah ordinal, maka untuk melihat hubungan ukuran kista terhadap penyembuhan tulang spontan menggunakan uji korelasi *Spearman* jika jumlah sampel ≥ 30 , jika jumlah sampel < 30 maka menggunakan uji *Kendal Tau*.

Jenis Data : Data primer

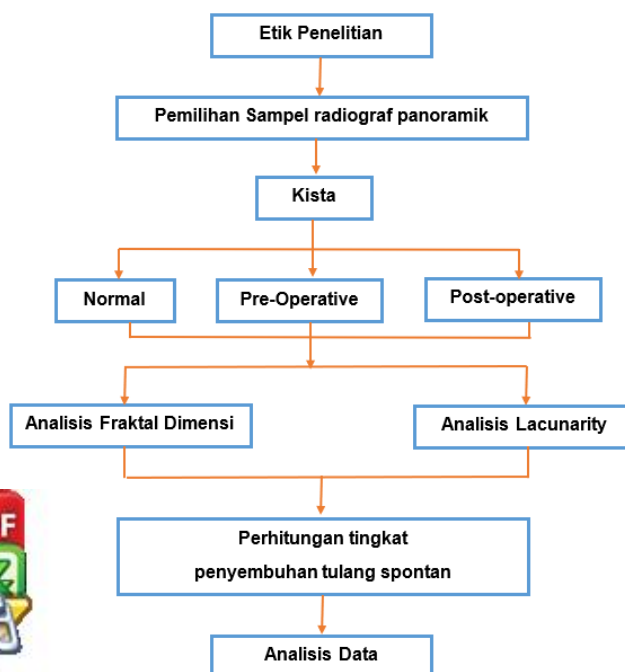
Pengolahan data : *BM SPSS statistics V.27*

Penyajian data : Dalam bentuk tabel dan diagram.

2.9 Etik Penelitian

Melalui komite etik penelitian Rumah Sakit Gigi Mulut Pendidikan Universitas Hasanuddin (RSGMP Unhas)

2.10 Alur Penelitian



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 7. Alur Penelitian