

**Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara
Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi
berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis**

TESIS



OLEH :

ANDRE KUSOEMO

J015191001

PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS PROGRAM STUDI

PROSTODONSIA

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
Memperoleh gelar Profesi Spesialis – 1 dalam bidang ilmu Prostodonsia
Pada Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis
Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

OLEH

ANDRE KUSOEMO
NIM. J015191001

Pembimbing :

1. drg. Irfan Dammar, Sp.Pro.(K)
2. drg. Muhammad Iqbal, Sp.Pro.

**Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara
Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi
berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis**

oleh

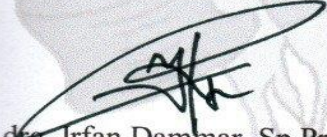
**ANDRE KUSOEMO
NIM. J015191001**

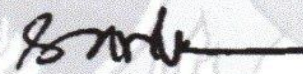
Setelah membaca tesis ini dengan seksama, menurut pertimbangan kami,
Tesis ini telah memenuhi persyaratan ilmiah

Makassar, Mei 2022

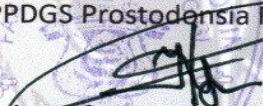
Pembimbing I,

Pembimbing II,


drg. Irfan Dammar, Sp.Prof(K)
Nip. 19770630 200904 1 003


drg. Muhammad Iqbal, Sp.Prof
Nip. 19801021 200912 1 002

Mengetahui
Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Prostodensia FKG UNHAS


drg. Irfan Dammar, Sp.Prof(K)
Nip. 19770630 200904 1 003

PENGESAHAN UJIAN TESIS

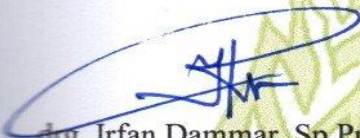
**Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara
Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi
berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis**

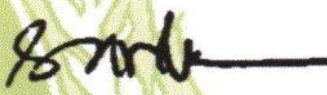
Diajukan oleh
ANDRE KUSOEMO
NIM. J015191001

Telah disetujui :
Makassar, Mei 2022

Pembimbing I,

Pembimbing II,



drg. Irfan Dammar, Sp.Prof(K)
Nip. 19770630 200904 1 003


drg. Muhammad Iqbal, Sp.Prof
Nip. 19801021 200912 1 002

Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Prestidonsia FKG.UNHAS

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin


drg. Irfan Dammar, Sp.Prof(K)
Nip. 19770630 200904 1 003


Prof. drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp.BM(K)
Nip. 19730702 200112 1 001

TESIS

**Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara
Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi
berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis**

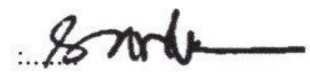
Oleh :

**ANDRE KUSOEMO
NIM. J015191001**

**Telah Disetujui
Makassar, Mei 2022**

1. Penguji I : drg. Irfan Dammar, Sp. Pros (K)
2. Penguji II : drg. Muhammad Iqbal, Sp. Pros
3. Penguji III : Prof. Dr. drg. Edy Machmud, Sp. Pros (K)
4. Penguji IV : drg. Eri Hendra Jubhari, Sp. Pros (K)
5. Penguji V : drg. Acing Habibie Mude, Ph.D, Sp. Pros

.....


.....

.....

.....

.....

Mengetahui
Ketua Program Studi (KPS)
PRDGS Prosthodontia FKG UNHAS


drg. Irfan Dammar, Sp. Pros (K)
Nip. 19770630 200904 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andre Kusoemo

NIM : J 015 19 1 001

Program Studi : Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis akhir yang saya buat ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan karya tulis ini merupakan hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Mei 2022



Andre Kusoemo

KATA PENGANTAR

Puji Dan Syukur Penulis Panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Esa Karena Hanya Berkat Dan Rahmat-Nya Sehingga Penulis Dapat Menyelesaikan Tesis Yang Berjudul Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis

Penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Spesialis Prostodonsia 1 di Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin. Selain itu tesis ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan peneliti lainnya untuk menambah pengetahuan dalam bidang ilmu kedokteran gigi maupun masyarakat umum lainnya.

Pada penulisan tesis ini, banyak sekali hambatan yang didapatkan, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga akhirnya, penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A** selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. **Prof.drg. Muhammad Ruslin, M.Kes, Ph.D, Sp.BM (K)** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin periode 2019 – 2023
3. **drg. Irfan Dammar, Sp.Pros(K)** selaku Ketua Program Studi (KPS) Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya dengan penuh keikhlasan serta memberikan dukungan moril kepada penulis dalam menyelesaikan Pendidikan Spesialis di bidang Prostodonsia.

4. **Prof. Dr. drg. Edy Machmud, Sp. Pros (K)** Selaku Penasehat akademik yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi demi kelancaran penyelesaian pendidikan pada program pendidikan Dokter Gigi Spesialis Prosthodontia.
5. **drg. Irfan Damar, Sp.Pros (K) dan drg. Muh. Iqbal, Sp. Pros,** selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dengan penuh keikhlasan untuk membantu dan membimbing serta memberikan dukungan moril kepada penulis dalam menyelesaikan karya tulis akhir ini.
6. **Prof. Dr. drg. Bahruddin Thalib, M.Kes, Sp.Pros (K), Prof. Dr. drg. Edy Machmud, Sp. Pros (K), Prof. drg. Moh. Dharmautama, Ph.D, Sp.Pros (K), drg. Irfan Damar, Sp.Pros (K), drg. Eri Hendra Jubhari, M.Kes, Sp.Pros (K), drg. Muh. Iqbal, Sp.Pros, drg. Vinsensia Launardo, drg. Acing Habibie Mude, Ph.D, Sp.Pros dan drg. Rahmat, Sp.Pros,** selaku dosen PPDGS Prostodontia FKG Unhas yang telah memberikan saran, kritik, masukan, support, arahan dan bimbingan sehingga karya ilmiah ini dapat menjadi lebih baik.
7. Orang tua tersayang, terbaik, terhebat dan tercinta dalam hidupku, Ayahanda **Eddy Kusoemo** dan ibu **Linda Surjawati Budianto** yang telah mendidik, membina, membimbing dan mengarahkan kami. Serta atas segala doa, dukungan dalam bentuk moril dan materil yang tidak dapat tergantikan dengan apapun.
8. Saudara tersayang, **Denny Kusoemo, S.T., M.T.** yang senantiasa selalu mendoakan dan mendukung penulis.
9. Senior sekaligus mentor, **drg. Davis Tunru, Sp. Perio** dan **drg. Julia Tunru, M.HA** yang telah memberi kesempatan serta dukungan yang tidak ada batasnya dalam penelitian ini dan dalam menempuh pendidikan PPDGS Prostodontia.

10. Teman-teman Angkatan XI PPDGS Prosto **drg. Rezki Wahyuni , drg. Adriani Dachri, drg.Darmiaty, drg.Yusalvi Rifai, drg.Ian Afifah Sudarman, dan drg.Pra Purnama** yang selalu mendukung dan membantu selama Pendidikan PPDGS.
11. Senior-senior angkatan **IX dan X** PPDGS Prosto, atas dukungan dan bantuannya dan tanpa lelah yang selalu harus di hubungi selama menempuh pendidikan PPDGS.
12. Junior angkatan PPDGS Prosto, angkatan **XII, XIII, XIV dan XV** yang telah banyak memberi bantuan dan mendukung penulis selama menempuh pendidikan bersama.
13. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam segala hal kepada penulis sampai dengan saat ini penulis menyelesaikan penyusunan tesis ini. Penulis memohon maaf jika tidak bisa menyebutkan satu-persatu.

Kiranya Berkah dari Tuhan Yang Maha Esa selalu melimpah kepada orang-orang yang telah disebutkan di atas, dan semoga thesis ini bermanfaat bagi banyak orang.

Amin.

Makassar, Mei 2022

Andre Kusoemo

ABSTRAK

Nama : Andre Kusoemo
Program Studi : PPDGS Prostodonsia
Judul : Perbandingan Celah Marginal, Aksial dan Oklusal Antara Pencetakan Digital dan Pencetakan Konvensional pada Restorasi berbasis Zirconia: Sebuah Tinjauan Sistematis dan Meta Analisis

Tujuan : Untuk menganalisis celah marginal, aksial dan oklusal dari restorasi berbasis zirconia dengan menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional.

Metode : Jenis penelitian yang digunakan adalah deskriptif dengan menggunakan metode “*Systematic Review*”. merujuk pada metode *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses* (PRISMA). Strategi yang digunakan untuk mencari artikel menggunakan *PICO question/ PICO framework* yang terdiri dari *Population* yaitu restorasi berbasis zirconia , *Intervention* yaitu pencetakan digital, *Comparison* yaitu pencetakan konvensional, dan *Outcome* yaitu celah marginal, celah aksial dan celah oklusal. Kemudian pengolahan data dilanjutkan meta analisis

Hasil : Jumlah artikel di review dengan teks lengkap dan memenuhi kriteria inklusi berdasarkan PICO didapatkan 10 artikel yang direview dalam tinjauan sistematis ini dimulai dari tahun 2011 hingga tahun 2020. Artikel terbanyak dari benua Eropa sejumlah 6 artikel, Kemudian Asia sejumlah 3 artikel dan benua amerika selatan sejumlah 1 artikel. Total sampel untuk artikel secara keseluruhan yang direview dalam tinjauan sistematis ini adalah 816 sampel. Pada tinjauan sistematis ini yang telah direview ada 10 artikel kemudian dilanjutkan dengan meta analisis. Hasil pengolahan data meta analisis menyatakan celah aksial dan oklusal pada pencetakan digital signifikan pada subyek pasien dan celah marginal dan oklusal pada pencetakan digital signifikan pada subyek model.

Kesimpulan : Akurasi pencetakan digital dan pencetakan konvensional memiliki hasil yang sama baik pada subyek pasien dan model

Kata Kunci : Pencetakan digital, pencetakan konvensional, zirconia, *gap*.

DAFTAR ISI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1	LATAR BELAKANG	1
1.2	RUMUSAN MASALAH	5
1.3	TUJUAN PENULISAN	
1.3.1	TUJUAN UMUM.....	5
1.3.2	TUJUAN KHUSUS.....	5
1.4	MANFAAT PENULISAN	
1.4.1	MANFAAT TEORITIS.....	6
1.4.2	MANFAAT PRAKTIS.....	6

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1	PENCETAKAN KONVENSIONAL.....	7
2.2	JENIS BAHAN CETAK.....	7
2.3	BAHAN CETAK ELASTOMER.....	7
2.3.1	STABILITAS DIMENSI BAHAN CETAK ELASTOMER.....	8
2.4	PENCETAKAN DIGITAL.....	10
2.4.1	TEKNOLOGI PENCETAKAN DIGITAL (<i>SCANNER</i>).....	10
2.4.2	<i>LIGHT PROJECTION AND CAPTURE</i>	11
2.4.3	TEKNOLOGI JARAK KE OBJEK.....	12
2.4.4	CARA KERJA INTRAORAL SCANNER.....	15
2.4.4.1	CEREC® (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics).....	15
2.4.4.2	ITERO.....	16
2.4.4.3	LAVA™ CHAIRSIDE ORAL SCANNER (C.O.S.).....	18
2.4.4.4	TRIOS BY 3SHAPE.....	20
2.4.5	KEUNGGULAN SCANNER.....	21
2.4.6	KEKURANGAN SCANNER	23
2.5	ZIRCONIA.....	24
2.4.1	SEJARAH ZIRCONIA	24
2.4.2	KOMPOSISI ZIRCONIA.....	25
2.4.3	BIOKOMPATIBILITAS ZIRCONIA	27
2.4.4	TIPE-TIPE ZIRCONIA.....	27
2.4.5	APLIKASI ZIRCONIA.....	30

BAB III

KERANGKAT TEORI DAN KERANGKA KONSEP

3.1	KERANGKA TEORI.....	34
3.2	KERANGKA KONSEP.....	35

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1	JENIS PENELITIAN.....	36
4.2	PROTOKOL DAN REGISTRASI.....	36

4.3	KRITERIA KELAYAKAN.....	36
4.3.1	KRITERIA INKLUSI.....	37
4.3.2.	KRITERIA EKSKLUSI.....	38
4.4	SUMBER INFORMASI.....	38
4.5	SELEKSI STUDI.....	39
4.6	PROSES PENGUMPULAN DATA	41
4.7	ITEM DATA	41
4.8	RESIKO BIAS DALAM STUDI INDIVIDU.....	42
4.9	METODE ANALISIS.....	43
BAB V		
	HASIL.....	45
BAB VI		
	PEMBAHASAN.....	52
BAB VII		
	SIMPULAN & SARAN.....	62
	DAFTAR PUSTAKA.....	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cetakan yang akurat sangat penting untuk membuat protesa gigi yang terpasang dengan baik.^{1,2} Meskipun demikian, satu atau lebih kesalahan yang dapat diamati dan didapatkan di 89% dari hasil pencetakan.³ Inovasi telah dicapai dengan teknologi pencitraan desain 3 dimensi dengan bantuan komputer dan sistem manufaktur dengan bantuan komputer (CAD / CAM). Namun, teknik pencetakan konvensional masih memainkan peran utama dalam aplikasi klinis dan masih banyak digunakan dalam praktek kedokteran gigi.

Kualitas cetakan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain parameter klinis, bahan cetak, dan teknik pencetakan.⁵ Berbagai bahan saat ini digunakan dalam proses pencetakan di bidang kedokteran gigi. Akurasi dimensi bahan-bahan ini bergantung pada beberapa faktor, seperti formulasi kimia, *setting time*, waktu, pelepasan produk sampingan, dan hidrofilitas selama proses desinfeksi dan pengecoran.^{4,6,8} Bahan cetak elastomer sintetis, termasuk polisulfida, silikon adisi, silikon kondensasi, dan polieter menjadi bahan cetak yang populer. Popularitas ini karena sifat elastis yang sangat baik, ketahanan terhadap robekan yang memadai, akurasi optimal, dan stabilitas dimensi yang cukup ideal.¹

Cetakan yang dibuat dengan bahan elastomer (*poliether* dan *polyvinyl siloxane*), juga dikenal sebagai cetakan konvensional, merupakan prosedur yang umum digunakan dalam praktik gigi umum. Bahan tersebut menunjukkan tingkat presisi yang memadai.^{5,6}

Ada beberapa alasan yang menjadi penghambat dalam pencetakan konvensional, antara lain pengetahuan dan tingkat keterampilan dari operator. Cetakan yang berkualitas rendah merupakan hambatan signifikan untuk proses pembuatan restorasi. Bahan cetak polivinil siloksan memiliki satu kelemahan utama: Mereka memiliki interaksi yang signifikan dengan

lateks (karet dam dan sarung tangan lateks). Apabila bahan cetak PVS menyentuh bahan lateks maka akan terjadi hambatan polimerisasi bahan cetak. Hal ini dapat terjadi jika dokter gigi atau asisten mencampur bahan *putty* saat memakai sarung tangan lateks atau bahkan jika sarung tangan lateks dipakai sebelum pencampuran. Hambatan polimerisasi juga dapat terjadi jika bahan cetak bersentuhan dengan *rubbe dam*. Sifat hidrofobik, harga bahan cetak, mahal serta adanya pelepasan hidrogen sampingan merupakan kekurangan bahan cetak polivinil siloksan, sedangkan pada bahan cetak polieter menghasilkan konsistensi hasil cetakan yang keras sehingga rawan terjadi pecahnya model kerja ketika dikeluarkan dari sendok cetak. *Internal fitting* dan daerah marginal memberikan pengaruh yang besar terhadap daya tahan restorasi secara tidak langsung.⁸ Jadi secara umum, semakin baik akurasi cetakan, maka semakin rapat batas antara restorasi dan *abutment internal fitting* serta marginal restorasi yang lebih baik.⁹

Celah marginal yang dapat diterima secara klinis dari restorasi cekat sulit diidentifikasi secara tepat melalui literatur. Spesifikasi American Dental Association (ADA) No.8 menunjukkan bahwa ketebalan luting cement untuk mahkota gigi tidak boleh melebihi 25 μm jika menggunakan luting agent tipe I atau 40 μm saat menggunakan luting agent tipe II. Penelitian Fransson dan Mclean menyatakan bahwa celah marginal yang dapat diterima secara klinis setelah sementasi harus kurang dari 150 μm . Selain itu, penelitian Mclean memeriksa kecocokan marginal dari 1000 restorasi cekat selama periode 5 tahun dan menunjukkan bahwa celah marginal kurang dari 80 μm sulit dideteksi dalam kondisi klinis.¹⁰

Penelitian yang menyatakan bahwa bahan cetak *irreversible hydrocolloid* menunjukkan keakuratan paling rendah dari bahan cetakan konvensional, sedangkan material PVS adalah yang paling akurat.^{11,12} Dengan teknologi elektronik, teknologi digital, dan teknologi manufaktur yang diterapkan di bidang kedokteran gigi, digitalisasi dalam diagnosis dan perawatan telah

menjadi tren utama dalam bidang prostodontik. Desain dengan bantuan komputer dan manufaktur dengan bantuan komputer (CAD / CAM) telah digunakan dalam proses fabrikasi restorasi, terutama mahkota keramik dan protesa gigi cekat (FPD).¹³ Perkembangan terkini dalam bidang pencetakan digital dalam kedokteran gigi secara intraoral mengalami kemajuan besar. Beberapa sistem pemindaian intraoral dalam dua dekade terakhir berkembang dengan pesat. Semakin banyak prostesis cekat yang sekarang diproduksi dengan cetakan digital intraoral, yang telah menjadi bagian penting dari digitalisasi bidang prostodontik.¹⁴

Pencetakan digital adalah metode non-invasif, yang melibatkan penggunaan pemindai intraoral dengan dimensi relatif kecil, yang tidak menimbulkan ketidaknyamanan bagi pasien. Pemindai merekam serangkaian foto dari rongga mulut pasien, yang ditransfer ke komputer di mana foto akan diproses dan model virtual akan diperoleh. Pencetakan digital mampu mengisi kekurangan dari pencetakan konvensional. Pada pencetakan digital, informasi disimpan di komputer *workstation*, tidak berubah keakuratannya seiring waktu, dan data akan tersimpan di komputer (tidak perlu khawatir akan hilang).¹⁴

Selain itu, proses pengambilan cetakan membutuhkan waktu yang lebih singkat. Pencetakan digital menawarkan kenyamanan yang lebih besar bagi pasien karena berbagai keunggulan. Pemindai intraoral yang berukuran relatif kecil menghilangkan ketidaknyamanan pencetakan konvensional dimana sendok cetak yang berisi bahan cetak tebal dapat menghasilkan refleks vagal pada banyak pasien. Pencetakan digital juga lebih mudah dibersihkan dibanding pencetakan konvensional.¹⁵

Pencetakan digital secara *intra-oral* telah mendorong kedokteran gigi ke era digital secara penuh, mengubah rutinitas baik untuk dokter gigi maupun teknisi gigi.^{16,17} Melakukan pemindaian secara intraoral dapat meningkatkan efisiensi untuk beberapa aspek seperti sendok

cetak dan bahan cetak yang harus dilepaskan dari mulut pasien, didesinfeksi, lalu dikirim ke laboratorium, menjadi tidak lagi diperlukan. File elektronik dapat dikirim dan disimpan secara digital sehingga menghemat waktu, biaya, dan manajemen ruang. Distorsi serta variasi volumetrik yang terkait dengan material cetak dan bahan cor model dapat diminimalkan.¹⁸

Mineral zirkonia telah ditemukan beberapa dekade yang lalu tetapi masih disebut sebagai *jargon*, *jacinth*, dan *hyacinth*. Zirkonia logam (Zr) berasal dari kata Arab zargon (berwarna keemasan), yang pada gilirannya berasal dari dua kata Persia: zar (emas) dan pistol (warna). Tahun 1789, Zirkonia logam dioksida ditemukan oleh ahli kimia Jerman Martin Heinrich Klaproth dan selanjutnya tahun 1824 dilakukan isolasi oleh ahli kimia Swedia bernama Jons Jakob Berzelius.¹⁹

Saat ini, zirkonia digunakan secara luas untuk keperluan industri. Penelitian dan pengembangan zirkonia sebagai biomaterial dimulai pada akhir tahun enam puluhan abad yang lalu ketika Helmer dan Driskell menerbitkan makalah pertama mengenai aplikasi biomedis zirkonia yang berbeda.¹⁸ Garvie dan Nicholson berfokus pada yttrium-oksida zirkonia yang distabilkan sebagian (YPSZ), juga dikenal sebagai *yttriumtetragonal zirconia polycrystals* (Y-TZP) yang keduanya menunjukkan biokompatibilitas tinggi^{20, 21,22} dan daya tahan terhadap fraktur yang lebih baik.^{21,23} Secara umum, biomaterial zirkonia modern dan produk yang digunakan sebagai bahan bedah (implan) harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan sesuai dengan standar ISO 13556. Zirconia mempunyai aplikasi yang berbeda-beda pada dunia pengobatan kontemporer. Berdasar uraian latar belakang di atas penulis ingin mengkaji beberapa artikel ilmiah yang membahas mengenai perbandingan celah marginal, aksial dan oklusal pada restorasi zirconia yang dibuat menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tinjauan sistematik dan meta analisis ini:

1. Berapa besar dan bagaimana celah marginal, aksial dan oklusal terjadi pada restorasi berbasis zirconia dengan menggunakan pencetakan digital?
2. Berapa besar dan bagaimana celah marginal, aksial dan oklusal terjadi pada restorasi berbasis zirconia dengan menggunakan pencetakan konvensional?
3. Bagaimana perbandingan celah marginal, aksial dan oklusal dengan menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional?

1.3 Tujuan Penulisan

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis celah marginal, aksial dan oklusal dari restorasi berbasis zirconia dengan menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional dengan mengkaji beberapa artikel ilmiah berdasarkan kriteria kelayakan yang telah ditetapkan untuk membuat tinjauan sistematik dan meta analisis.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Untuk mengetahui celah marginal, aksial, oklusal restorasi berbasis zirconia yang terjadi, baik menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional
2. Untuk mengetahui celah marginal, aksial, oklusal restorasi mana yang lebih kecil dari restorasi berbasis zirconia dengan menggunakan pencetakan digital dan pencetakan konvensional.

3. Untuk mengetahui tingkat akurasi pencetakan digital dan pencetakan konvensional dalam pembuatan restorasi berbasis zirconia.

1.4 Manfaat Penulisan

1.4.1 Manfaat Teoritis

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan dalam bidang kedokteran gigi modern.
2. Mengembangkan teori untuk kepentingan dalam ilmu prostodonsia.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat berkontribusi dalam praktik kedokteran gigi bidang prostodonsia dalam menjaga kesehatan rongga mulut pasien.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencetakan Konvensional

Bahan cetak adalah bahan yang digunakan untuk membuat replika negatif dari struktur rongga mulut yang terdiri dari jaringan keras (gigi) dan jaringan lunak (gingival dan mukosa membran) seperti membuat model diagnostik, pembuatan mahkota, gigi tiruan penuh, gigi tiruan sebagian dan piranti orthodontik.²³ Untuk menghasilkan cetakan yang akurat, bahan cetak yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria, seperti bahan harus memiliki konsistensi yang sesuai untuk dapat beradaptasi dengan jaringan mulut dan tetap berada dalam sendok cetak, dapat mengeras dalam waktu tertentu, tidak berubah bentuk atau sobek ketika dikeluarkan dari mulut, serta dimensi bahan harus tetap stabil saat diisi gips.²⁴

2.2 Jenis Bahan Cetak

Bahan cetak dapat diklasifikasikan menurut komposisinya, reaksi pengerasan, dan sifat pengerasannya, tetapi sistem yang umum digunakan didasarkan pada sifat setelah bahan mengeras. Saat ini, jenis bahan cetak yang paling populer untuk prostodontik lepasan, cekat, dan implan adalah hidrokoloid ireversibel, polieter, dan PVS.²⁵

2.3 Bahan Cetak Elastomer

Bahan cetak elastomer merupakan salah satu bahan cetak yang banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk mendapatkan model reproduksi negatif dari gigi dan jaringan rongga mulut, yang selanjutnya akan dicor dengan bahan cor untuk mendapatkan model reproduksi positif. Bahan cetak elastomer merupakan bahan cetak dengan komposisi dasar pasta dan dalam proses pengerasannya diperlukan katalis. Bahan cetak elastomer yang banyak beredar

dipasaran ada tiga macam, yaitu : polisulfida, silikon dan polieter. Ketiga macam bahan cetak ini tersedia dalam berbagai konsistensi yaitu *low*, *medium*, dan *high* untuk bahan cetak polisulfida dan polieter, sedangkan untuk bahan cetak silikon ketersediaan dalam empat macam konsistensi yaitu *light*, *regular*, *heavy* dan *putty*. Reaksi antara pasta dan katalis berbeda-beda antara ketiga jenis bahan cetak elastomer. Viskositas untuk bahan cetak elastomer akan meningkat untuk tipe bahan cetak yang sama dari konsistensi yang *low* sampai *high* sejalan dengan waktu setelah proses pengadukan.²⁶

Terdapat dua jenis bahan cetak silikon yang tersedia di pasaran. Jenis pertama adalah bahan cetak silikon tipe kondensasi dan jenis yang lain adalah bahan cetak silikon tipe addisi (*vinyl polysiloxane*). Kedua bahan cetak silikon ini berbahan dasar *polydimethyl siloxane polimer*, tetapi memiliki mekanisme akhir yang berbeda.^{32,33}

2.3.1 Stabilitas Dimensi Bahan Cetak Elastomer

Terdapat lima sumber utama perubahan dimensi dari bahan cetak elastomer, yaitu pengerutan pada saat polimerisasi (*polymerisation shrinkage*), kehilangan hasil sampingan reaksi (*by-product*) berupa air atau alkohol selama proses polimerisasi, kontraksi oleh perubahan panas (*thermal constraction*) dari temperatur mulut ke ruangan, proses imbibisi bila terkena air, desinfektan atau kelembaban lingkungan yang tinggi lebih dari satu periode waktu tertentu dan proses kembali ke bentuk semula (*recovery*) yang tidak sempurna dari deformasi karena sifat viskoelastik. Pengaruh perendaman hasil cetakan dalam desinfektan pada stabilitas dimensi bahan ini masih terus diteliti. Perubahan dimensi menjadi faktor yang penting dalam proses pencetakan karena perubahan dimensi apapun yang terjadi menyebabkan hasil cetakan tidak akurat.²⁶

Polyvinyl siloxane menunjukkan perubahan dimensi terkecil ketika *setting* dari semua bahan cetak elastomer. Stabilitas dimensi jangka panjang bahan cetak *polyvinyl siloxane* banyak dilaporkan dalam berbagai literatur dan penelitian. Hal ini karena bahan ini tidak rentan terhadap perubahan kelembaban. Bahan cetak elastomer *polyvinyl siloxane* memiliki perubahan dimensional stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan cetak silikon tipe kondensasi. Bahan cetak tipe addisi ini bahkan dapat diisi dengan jangka waktu 24 jam sampai 1 minggu, tanpa adanya perubahan dimensi yang berarti. Hal ini terjadi karena produk samping (*by product*) yang dimiliki oleh bahan cetak tipe addisi berupa gas hidrogen.²⁶

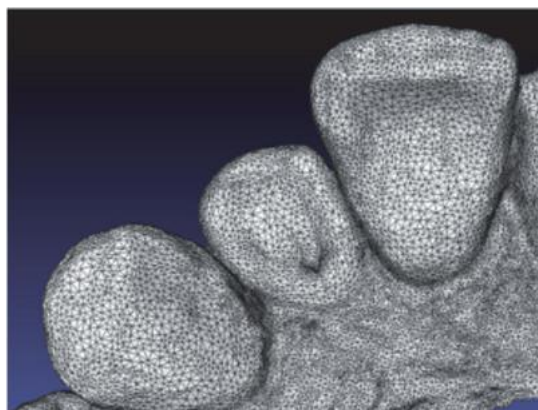
Bahan cetak elastomer *polyvinyl siloxane* pada dasarnya merupakan merupakan bahan cetak *hydrophobic*. Tetapi, bahan cetak ini memiliki rantai hidrokarbon yang apolar sehingga tingkat hidrofilitas dapat dicapai setelah jangka waktu tertentu dengan menggunakan surfaktan. Surfaktan mengandung bagian hidrofobik, yang menjamin keseimbangan dan bagian hidrofilik yang bertanggung jawab untuk meningkatkan kelembaban.²⁶

Pada reaksi kimianya, *polyvinyl siloxane* bereaksi secara addisi, dimana terjadi pertukaran antara ion *hydrogen* dari *vinyl* dan *polysiloxane* dan *platinum salt*. Terbentuknya *cross-linking* atau ikatan ganda yang sempurna menyebabkan reaksi addisi. Sebagai suatu reaksi addisi, dimana bahan ini tidak menyebabkan *by product* atau produk sampingan dan menjadikannya bahan dengan akurasi dan stabilitas dimensional yang paling baik. Namun salah satu kelemahan dari bahan ini adalah dimana kemungkinan bahan *silane* yang dapat bereaksi dengan air yang ada disekitarnya, yang dapat menghilangkan ion hydrogen dalam ikatan Si-H. Adanya air, dapat mengurangi keefektifitasan dari ikatan ganda tersebut, bahan ini akan memproduksi gelembung gelembung yang mungkin dapat merusak permukaan.³⁴

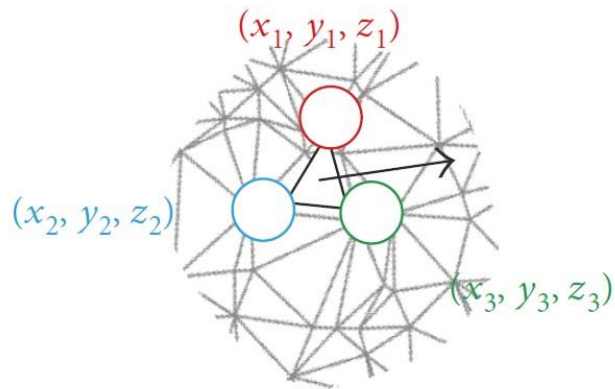
2.4 Pencetakan Digital

2.4.1 Teknologi Pencetakan Digital (*Scanner*)

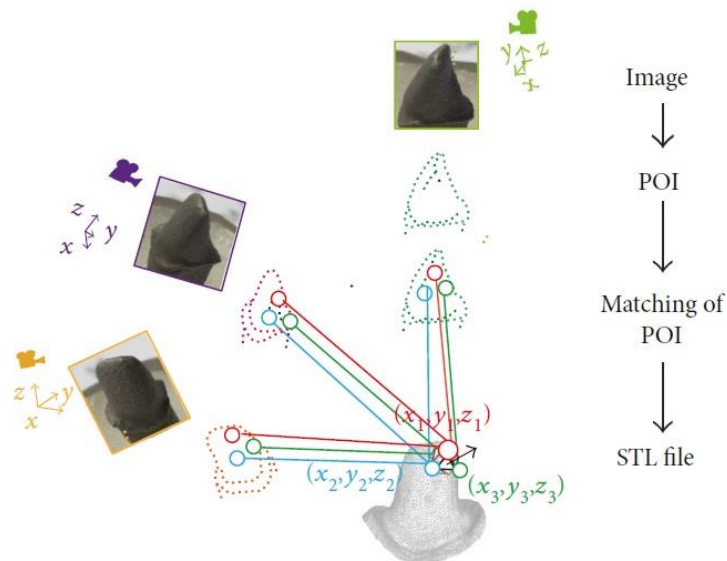
Intra Oral Scanner (IOS) adalah perangkat medis yang terdiri dari kamera genggam (perangkat keras), komputer, dan perangkat lunak. Tujuan IOS adalah merekam dengan presisi geometri tiga dimensi suatu objek. Format digital yang paling banyak digunakan adalah STL terbuka (*Standard Tessellation Language*) (Gambar 1). Format ini sudah digunakan di banyak bidang industri dan menjelaskan rangkaian permukaan triangulasi di mana setiap segitiga ditentukan oleh tiga titik dan permukaan normal (Gambar 2). Namun, format file lain telah dikembangkan untuk merekam warna, transparansi, atau tekstur jaringan gigi (seperti *Format File Polygon*, file PLY). Terlepas dari jenis teknologi pencitraan yang digunakan oleh IOS, semua kamera memerlukan proyeksi cahaya yang kemudian direkam sebagai gambar atau video individual dan disusun oleh perangkat lunak setelah mengenali POI (*Point of Interest*). Dua koordinat pertama (x dan y) dari setiap titik dievaluasi pada gambar, dan koordinat ketiga (z) kemudian dihitung bergantung pada jarak ke objek teknologi masing-masing kamera, seperti dijelaskan di bawah ini (Gambar 3).



Gambar 1: Contoh file STL³⁴



Gambar 2 : Setiap segitiga file STL terdiri dari tiga titik dengan koordinat kartesius (x, y, dan z) dan permukaan normal³⁴



Gambar 3 : Representasi skematis dari teknologi rekonstruksi: setiap gambar adalah dianalisis dan POI (*Point Of Interest*) dipilih oleh perangkat lunak. Setelah perhitungan persamaan antara gambar yang berbeda, pencocokan POI ditentukan dan segitiga dengan koordinat dihasilkan oleh matriks proyeksi³⁵

2.4.2 Light Projection and Capture.

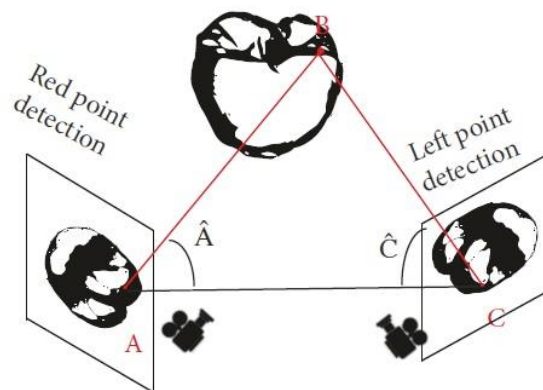
Dalam bidang rekonstruksi 3D, terdapat perbedaan yang jelas antara teknik pasif dan aktif. Teknik pasif hanya menggunakan pencahayaan sekitar untuk menerangi jaringan intraoral dan bergantung pada tekstur tertentu dari suatu objek. Teknik aktif menggunakan cahaya berstruktur putih, merah, atau biru yang diproyeksikan dari kamera ke objek yang kurang bergantung pada tekstur dan warna jaringan yang sebenarnya untuk tujuan rekonstruksi.^{35,36}

Dalam teknik aktif, titik bercahaya diproyeksikan ke suatu objek dan jarak ke objek dihitung dengan metode triangulasi. Alternatif lain nya adalah proyeksi pola cahaya, seperti proyeksi garis atau *mesh*.³⁷ Rekonstruksi permukaan dapat dicapai dengan kompilasi gambar, video yang dapat mengambil beberapa gambar per detik dalam aliran data yang terus menerus atau analisis per gelombang.^{38,39}

2.4.3 Teknologi Jarak ke Objek

a) *Triangulation*

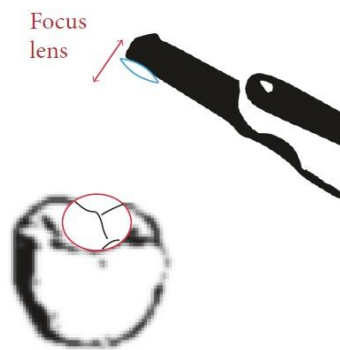
Triangulasi didasarkan pada prinsip bahwa posisi sebuah titik segitiga (benda) dapat dihitung dengan mengetahui posisi dan sudut dari dua sudut pandang (Gambar 4). Kedua sudut pandang ini dapat dihasilkan oleh dua detektor, satu detektor menggunakan prisma, atau ditangkap pada dua titik berbeda pada waktu yang sama.³⁵



Gambar 4: Ilustrasi triangulation dalam menentukan jarak objek³⁵

b) *Confocal*

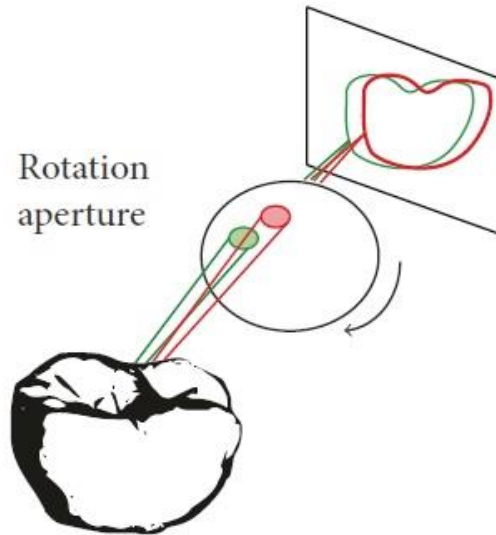
Pencitraan *confocal* adalah teknik yang didasarkan pada perolehan gambar terfokus dan defokus dari kedalaman yang dipilih (Gambar 5). Teknologi ini dapat mendeteksi ketajaman bidang gambar untuk menyimpulkan jarak ke objek yang dikorelasikan dengan panjang fokus lensa. Sebuah gigi kemudian dapat direkonstruksi dengan gambar berturut-turut yang diambil pada fokus dan nilai aperture yang berbeda dan dari berbagai sudut di sekitar objek.³⁹ Area ketajaman berhubungan langsung dengan kemahiran operator dalam menggunakan alat.⁴⁰ Teknik ini juga membutuhkan elemen optik besar yang dapat menyebabkan kesulitan dalam aplikasi klinis.



Gambar 5 : Jarak dari obyek ditentukan berdasarkan pada jarak fokal³⁵

c) *AWS (Active Wavefront Sampling)*

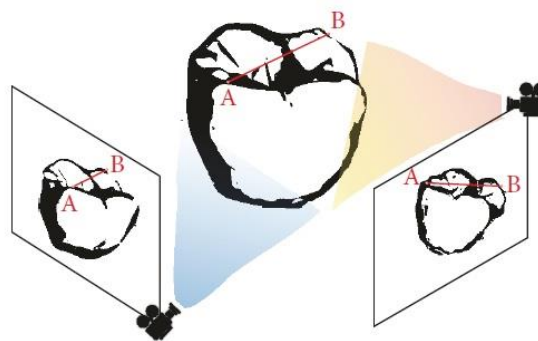
AWS adalah teknik pencitraan permukaan, yang membutuhkan kamera dan modul aperture *off-axis*. Modul bergerak pada jalur melingkar di sekitar sumbu optik dan menghasilkan putaran POI (Gambar 6). Informasi jarak dan kedalaman kemudian dikumpulkan dan dihitung dari pola yang dihasilkan oleh setiap titik.³⁵



Gambar 6 : AWS membutuhkan sebuah kamera dan *off-axis* yang bergerak pada jalur sirkular disekitar aksis optik dan memproduksi rotasi dari *interest point*³⁵

d) Stereofotogrametri.

Stereofotogrametri memperkirakan semua koordinat (x, y, dan z) hanya melalui analisis algoritmik (Gambar 7). Karena pendekatan ini bergantung pada proyeksi cahaya pasif dan perangkat lunak daripada proyeksi aktif dan perangkat keras, kamera ini relatif kecil, penanganannya lebih mudah, dan produksinya lebih murah.



Gambar 7 : Stereophotogrammetry adalah teknologi yang membuat data dengan menggunakan analisa algoritma dari berbagai gambar³⁵

e) **Teknologi Rekonstruksi.**

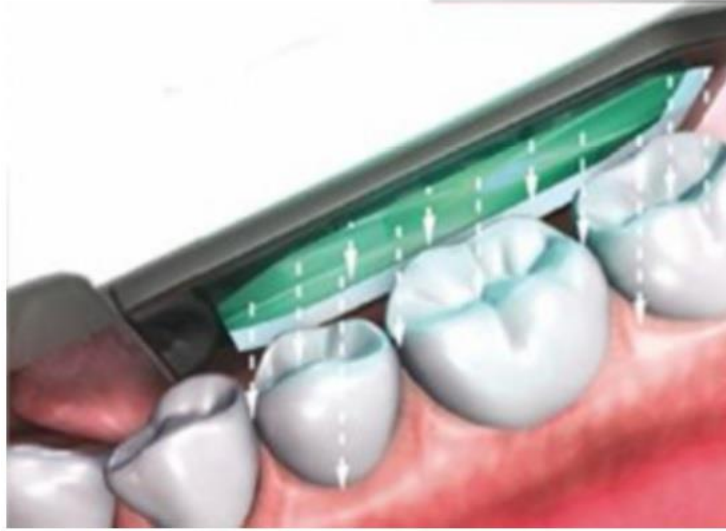
Salah satu tantangan utama dalam menghasilkan model 3D adalah pencocokan POI yang diambil dalam berbagai sudut. Jarak antara gambar yang berbeda dapat dihitung menggunakan akselerometer yang terintegrasi di kamera, tetapi penghitungan persamaan lebih sering digunakan untuk menentukan sudut pandang gambar. Menggunakan algoritma, perhitungan persamaan mendefinisikan POI yang bertepatan pada gambar yang berbeda.⁴¹ POI ini dapat ditemukan dengan mendeteksi area transisi, seperti lengkungan yang berbatas kuat, batas fisik, atau perbedaan intensitas warna abu-abu.⁴² Matriks transformasi kemudian dihitung untuk mengevaluasi kesamaan antara semua gambar seperti rotasi dan lain-lain. Titik-titik ekstrim juga dapat dihilangkan secara statistik untuk mengurangi *noise*. Setiap koordinat (x, y, dan z) diekstraksi dari matriks proyeksi, dan sebuah file kemudian dibentuk.

2.4.4 Cara Kerja Intra Oral Scanner

2.4.4.1 CEREC® (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics)

CEREC® (an acronym for Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics) diperkenalkan oleh *Sirona Dental System GMBH* (DE) pada 1987 dan menjalani serangkaian peningkatan teknologi, hingga menjadi versi CEREC AC® powered by BlueCam® yang diluncurkan pada tahun 2009.

Sistem CEREC® dapat didefinisikan sebagai sebuah alat ukur yang beroperasi berdasarkan prinsip dasar dari mikroskopi konfokal dan didasari atas teknik triangulasi aktif. (3, 5 and 6). Sebuah kamera memproyeksikan pola dari sinar biru menuju sebuah obyek menggunakan grid proyeksi.

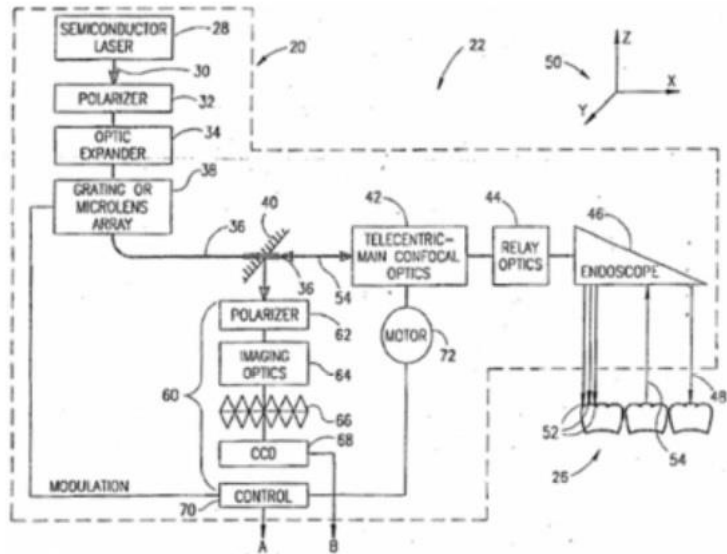


Gambar 8 : Ilustrasi pencetakan secara digital⁴³

Cahaya akan menuju struktur obyek scan dan intensitas dari pantulan cahaya diukur pada berbagai posisi dari bidang fokal untuk menentukan *spot-specific positions* (SSP). Berdasarkan data yang dihimpun dari pantulan cahaya terhadap obyek, didapatkan data yang mewakili topologi tiga dimensi struktur gigi.

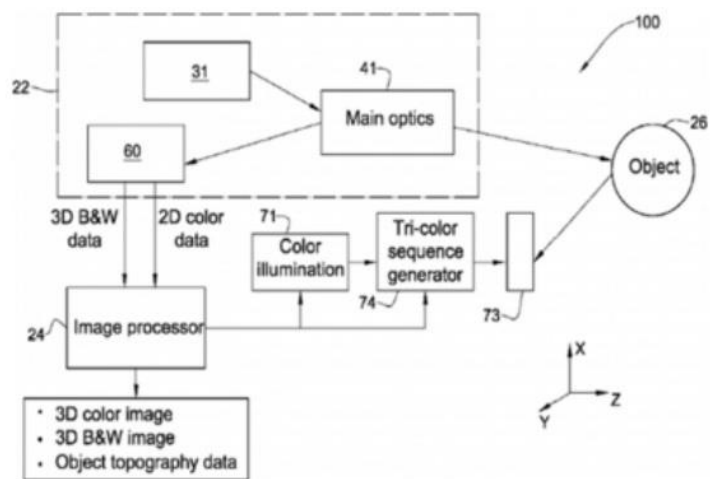
2.4.4.2 ITERO

iTero menangkap semua struktur dan bahan yang ditemukan di mulut tanpa perlu menerapkan lapisan reflektif pada gigi pasien (10). SSP selalu merupakan posisi relatif karena posisi absolut tergantung pada posisi sensor.⁴³



Gambar 9 : Mekanisme ITERO⁴²

Meskipun kemampuan kamera iTero untuk memindai tanpa memerlukan bubuk yang melapisi gigi mungkin menguntungkan, hal ini memerlukan penyertaan komponen pengenalan warna ke dalam unit itu sendiri sehingga menghasilkan desain alat dengan kepala pemindai yang lebih besar daripada sistem lainnya.⁴³

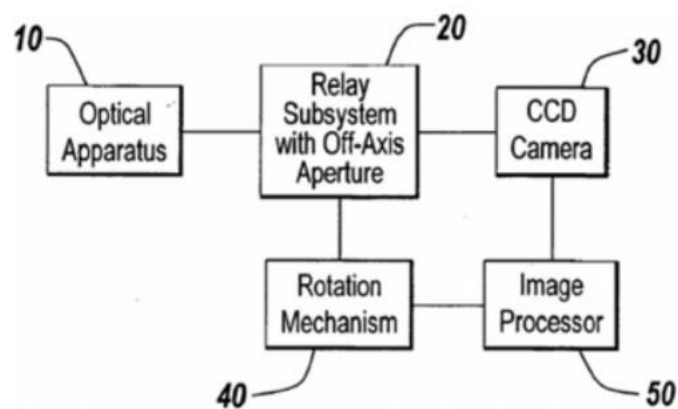


Gambar 10 : Mekanisme Warna ITERO⁴³

Proses pencitraan (Gambar 9) didasarkan pada menerangi permukaan target dengan tiga sinar dengan warna berbeda (satu dari cahaya merah, hijau atau biru) yang dapat digabungkan untuk menghasilkan cahaya putih kemudian menangkap gambar monokromatik dari bagian target gigi dan menggabungkan gambar monokromatik untuk membuat gambar penuh warna.⁴³

2.4.4.3 LAVA™ CHAIRSIDE ORAL SCANNER (C.O.S.)

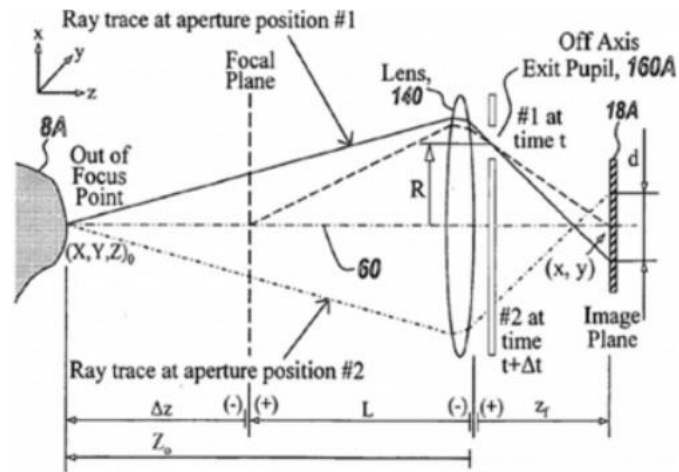
Lava™ Chairside Oral Scanner (C.O.S.) dibuat di Brontes Technologies di Lexington, Massachusetts, dan diakuisisi oleh 3M ESPE (St. Paul, MN) pada Oktober 2006. Produk ini diluncurkan secara resmi pada Februari 2008. Lava C.O.S. sistem (Gambar 10) terdiri dari kereta bergerak yang berisi CPU, tampilan layar sentuh, dan piranti pemindai.⁴³



Gambar 11: Mekanisme LAVA COS⁴³

Sistem ini mencakup lensa 140, elemen aperture berputar 160° dan bidang gambar 18A. *Aperture* tunggal menghindari tumpang tindih gambar dari wilayah objek yang berbeda sehingga meningkatkan resolusi spasial. *Aperture* yang berputar memungkinkan pengambilan gambar pada beberapa posisi apertur dan ini dapat diartikan memiliki beberapa kamera dengan sudut pandang berbeda, yang umumnya meningkatkan sensitivitas pengukuran. Pergerakan *aperture*

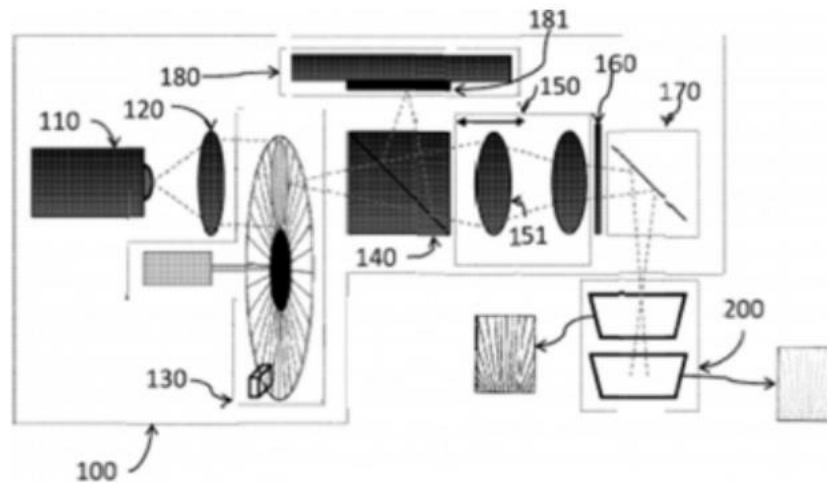
memungkinkan untuk merekam pada elemen CCD satu gambar terbuka di lokasi *aperture* yang berbeda.⁴³



Gambar 12 : Mekanisme Rotation Apparature dari LAVA COS⁴³

Setelah preparasi gigi dan retraksi gingiva, seluruh lengkung rahang dikeringkan dan ditaburi sedikit dengan bubuk untuk menemukan titik referensi daerah pemindaian. Selama pemindaian, cahaya biru yang intermiten memancar dari kepala alat dan model gigi hasil pemindaian akan muncul pada layar.. Dokter gigi dapat memutar dan memperbesar tampilan di layar, dan juga dapat beralih dari gambar 3D ke tampilan 2D (dokter gigi dapat melihat gambar ini sambil mengenakan kacamata 3D).⁴³

2.4.4 TRIOS BY 3SHAPE



Gambar 13 : Mekanisme TRIOS⁴³

Pada bulan Desember 2010, 3Shape mengumumkan peluncuran solusi pemindaian intraoral baru yang ramah pasien dan berkinerja tinggi bernama TRIOS. 3Shape telah mengembangkan solusi pemindai yang akurat, cepat, dan berisi banyak fitur terobosan sehingga perusahaan mematenkan sejumlah fungsi utama pada TRIOS. 3Shape telah mempresentasikan TRIOS di *International Dental Show (IDS) 2011* di Cologne, Jerman pada bulan Maret. Sistem TRIOS bekerja sesuai dengan prinsip *confocal*, dengan waktu pemindaian yang cepat. Sistem mewujudkan variasi bidang fokus dari pola pada rentang posisi bidang fokus sambil mempertahankan hubungan spasial tetap dari pemindai dan objek.⁴³

2.4.5 Keunggulan *Scanner*

- **Efisiensi waktu**

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pencetakan secara digital lebih efisien dalam hal waktu, karena memungkinkan berkurangnya waktu kerja bila dibandingkan dengan pencetakan konvensional. Terlepas dari kemajuan teknologi baru-baru ini pada *intra oral scanner*, dengan perangkat terbaru yang diperkenalkan di pasaran yang memungkinkan pemindaian menyeluruh dalam waktu kurang dari 3 menit, (scan *fullarch* mungkin memakan waktu 3–5 menit, mirip dengan yang diperlukan untuk pencetakan konvensional). Faktanya, dengan pencetakan digital, tidak perlu menuangkan bahan material cor untuk mendapatkan model plaster fisik. Model virtual 3D (file dengan format. STL) pasien dapat dikirim melalui email langsung ke laboratorium gigi tanpa perlu mengirimkan model melalui kurir atau surat biasa. Hal ini memungkinkan penghematan sejumlah besar waktu dan uang.⁴⁴

- **Prosedur yang lebih sederhana bagi dokter dan perawat**

Manfaat lain yang diberikan oleh penggunaan pencetakan digital adalah pengalaman klinis. Penggunaan IOS dapat memberikan keuntungan pengalaman klinis yang lebih baik, menyederhanakan pembuatan cetakan dalam kasus yang kompleks, misalnya dengan adanya beberapa implan atau preparasi yang agresif yang dapat membuat pencetakan konvensional sulit dan rawan terjadinya distorsi. Selain itu, jika dokter tidak puas dengan beberapa detail data digital yang terekam, dokter dan perawat dapat menghapusnya dan menangkap kembali jejak tersebut tanpa harus mengulangi seluruh prosedur yang panjang. Hal ini dapat menghemat waktu perawatan.⁴⁴

- **Tidak menggunakan bahan cor**

Proses memindai memungkinkan untuk melewati langkah yang tidak dapat dihindari (pencetakan secara fisik dan pengecoran model gypsum) sehingga lebih hemat waktu. Tidak menggunakan bahan cetakan konvensional berarti penghematan langsung bagi dokter, dengan pengurangan biaya untuk bahan habis pakai.⁴⁴

- **Komunikasi yang lebih baik dengan teknisi gigi**

Dengan IOS, klinisi dan teknisi gigi dapat menilai kualitas pencetakan secara *real-time*. Segera setelah pemindaian dilakukan, dokter gigi dapat mengirimkannya langsung ke laboratorium via internet dan teknisi dapat langsung memeriksanya. Jika teknisi gigi tidak yakin dengan kualitas pemindaian secara digital yang dilakukan, maka dapat segera diminta agar dokter membuat cetakan digital yang lain tanpa membuang waktu dan tanpa harus menelepon pasien untuk membuat pertemuan kedua. Aspek ini menyederhanakan dan memperkuat komunikasi antara dokter gigi dan teknisi gigi.⁴⁴

- **Komunikasi yang lebih baik dengan pasien**

Pencetakan secara digital adalah alat yang ampuh untuk komunikasi dan pemasaran untuk pasien. Dengan pencetakan secara digital, pasien merasa lebih terlibat dalam perawatan mereka dan dimungkinkan untuk membangun komunikasi yang lebih efektif dengan mereka; Keterlibatan emosional ini dapat berdampak positif pada perawatan secara keseluruhan, misalnya dapat meningkatkan kepatuhan pasien terhadap kebersihan mulut. Selain itu, pasien tertarik dengan teknologi dan mempromosikan kepada kenalan dan teman, meningkatkan pertimbangan mereka terhadap tempat perawatan yang dilengkapi dengan teknologi modern ini. Secara tidak langsung, IOS telah menjadi alat periklanan dan pemasaran yang sangat kuat.⁴⁴

2.4.6 Kekurangan *scanner*

- **Kesulitan mendeteksi *deep margin line* dari gigi yang disiapkan**

Salah satu masalah yang paling sering dihadapi dengan IOS dan dengan pemindaian digital adalah kesulitan dalam mendeteksi garis marginal yang dalam pada gigi yang dipreparasi atau dalam kasus-kasus terjadinya perdarahan. Dalam beberapa kasus dan terutama di area estetik di mana penting bagi klinisi atau dokter gigi untuk menempatkan margin prostetik secara subgingival, lebih sulit bagi cahaya untuk mendeteksi dengan benar seluruh akhiran preparasi. Masalah serupa juga dapat terjadi jika terjadi perdarahan, karena darah dapat mengaburkan garis margin prostetik. Meskipun demikian, dengan perhatian dan kecepatan yang tepat (sulkus gingiva cenderung menutup segera setelah benang retraksi dicabut) dan strategi yang tepat untuk mendapatkan garis akhiran preparasi (pemasangan benang retraksi tunggal atau ganda), memungkinkan bagi dokter untuk melakukan proses pemindaian yang baik.⁴⁴

- **Membeli alat dan mengelola biaya**

Selama beberapa tahun terakhir, produsen telah merilis banyak model IOS baru di pasar dan pertumbuhan pasokan harus dibarengi dengan penurunan harga alat. Terlepas dari itu, biaya pembelian IOS generasi terbaru dan *high-end* harus disesuaikan proyeksi tahunan berapa lama alat akan efektif digunakan, dengan mengintegrasikan perangkat ke dalam alur kerja klinis di berbagai disiplin ilmu gigi (prostodontik, ortodontik, operasi implan). Satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan adalah biaya pengelolaan tambahan yang berkaitan dengan peningkatan perangkat lunak atau *software update*. Perusahaan manufaktur yang berbeda memiliki kebijakan yang berbeda dalam hal ini, dan penting bagi dokter untuk mengetahui sepenuhnya biaya dan biaya manajemen tahunan, sebelum membeli IOS. Terakhir, dalam kasus sistem 'tertutup', atau dengan IOS yang hanya menghasilkan format file khusus, biaya tahunan atau bulanan mungkin

diperlukan untuk 'membuka' file dan membuatnya dapat digunakan oleh perangkat lunak CAD atau laboratorium dimana pun.⁴⁴

2.4 Zirconia

2.4.1 Sejarah Zirconia

Nama "Zirkonium" berasal dari kata Arab "Zargon" yang berarti "berwarna emas" yang pada gilirannya berasal dari dua kata Persia yaitu Zar (emas) dan Gun (warna). Zirkonia dioksida (ZrO_2) secara tidak sengaja ditemukan oleh seorang ahli kimia Jerman bernama Martin Heinrich Klaproth pada tahun 1789 ketika dia bekerja dengan prosedur tertentu yaitu pemanasan beberapa jenis permata.⁴⁵

Saat ini, zirkonia digunakan secara luas untuk tujuan industri; sebagian besar aplikasi ini tercantum dalam Tabel 1. Penelitian dan pengembangan zirkonia sebagai biomaterial dimulai pada akhir tahun enam puluhan ketika Helmer dan Driskell menerbitkan makalah pertama mengenai aplikasi biomedis zirconia. Sejak itu kemudian, penelitian berdasarkan pekerjaan Garvie dan Nicholson yang telah berfokus pada yttrium oxide yang distabilkan sebagian (YPSZ), juga dikenal sebagai polikristal zirconia yttriumtetragonal (Y-TZP), dimana keduanya menunjukkan biokompatibilitas tinggi dan peningkatan ketahanan terhadap fraktur.⁴⁵

Tabel 1 : Aplikasi Zirconia pada bidang medis⁴⁵

No	Aplikasi medis	Aplikasi pada kedokteran gigi
1	Alat-alat bedah	Komposit
2	Penanganan Cairan Darah	Attachment ekstrakoronar
3	Instrumentasi	Mahkota
4	Implant bedah	Venners
5	Ortopedi	Pasak
6		Koping primer teleskopik
7		Braket orto
8		Abutmen implant
9		Implant

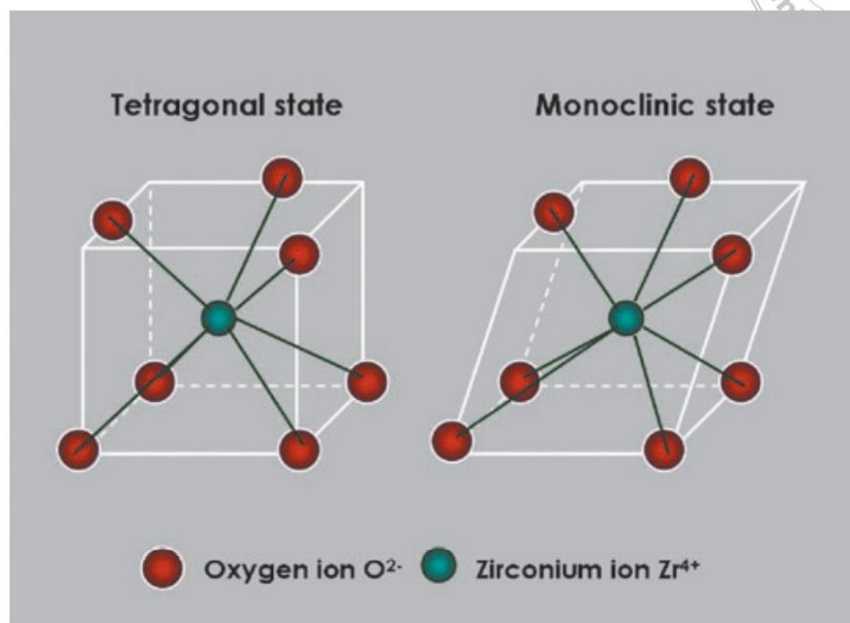
2.4.2 Komposisi Zirconia

Zirkonia (simbol Zr) adalah unsur logam transisi dengan nomor atom 40, berat atom 91,22 , massa jenis 6,49 g / cm³, titik leleh 2.128° K (1855° C atau 3371° F) dan titik didih 4.682° K (4409° C atau 7968° F) dan berkilau dengan ketahanan korosi yang baik. Zirkonium murni ada dalam bentuk kristal sebagai logam berwarna putih dan keras dan ada yang berbentuk amorf berupa bubuk hitam kebiruan. Zirkonium menempati peringkat ke-18 dalam jumlah kelimpahan di antara unsur-unsur di kerak bumi, namun, unsur ini tidak terjadi di alam dalam keadaan murni tetapi hanya dalam konjugasi dengan oksida silikat (ZrO₂ x SiO₂) atau sebagai oksida bebas (ZrO₂).⁴⁶

Sifat mekaniknya sangat mirip dengan logam dan warnanya mirip dengan warna gigi.⁴⁶ Garvie pada tahun 1975 mengusulkan sebuah teori untuk merasionalisasi sifat mekanik zirconia.⁴⁷ Kristal zirconia dapat dibentuk dalam tiga pola berbeda: monoclinic (M), cubic (C),

and tetragonal (T). Dengan mencampurkan ZrO_2 dengan oksida logam lain, seperti MgO , CaO , atau Y_2O_3 , stabilitas molekuler yang baik dapat diperoleh.⁴⁵ Zirkonia yang distabilkan oleh Yttrium, juga dikenal sebagai tetragonal zirconia polycrystal (TZP), saat ini merupakan kombinasi yang paling banyak dipelajari dan diteliti.⁴⁸

Zirkonia adalah bahan polimorfik yang ada dalam tiga fase, tergantung pada suhu yang diterapkan pada bubuk. Fase pertama adalah monoklinik (stabil pada suhu kamar hingga $1.170\text{ }^\circ\text{C}$); dengan panas tambahan, fase tetragonal terjadi (stabil pada $1.170\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $2.370\text{ }^\circ\text{C}$); dan dengan pemanasan lebih lanjut, fase kubik diperoleh (stabil lebih dari $2.370\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $2.716\text{ }^\circ\text{C}$). Pada suhu kamar, zirkonia hadir dalam fase yang paling stabil, monoklinik, tetapi ketika fase monoklinik berubah menjadi fase tetragonal, itu disertai dengan penyusutan volume sekitar 4% hingga 5%. Fase tetragonal dikonversi ke fase kubik pada $2.370\text{ }^\circ\text{C}$, dengan perubahan yang minimal pada volumenya.^{49,50}



Gambar 14 : Fase tetragonal dan monoklinik dari *zirconium oxide*⁴⁷

2.4.3 Biokompatibilitas Zirconia

Dari studi in-vitro maupun in-vivo, bubuk Y-TZP kemurnian tinggi memiliki biokompatibilitas yang baik. Tidak ada laporan terkait reaksi lokal maupun sistemik yang terjadi akibat penggunaan restorasi zirconia. Tes in-vitro menunjukkan bahwa restorasi zirconia memiliki sitoksisitas yang mirip dengan alumina (keduanya lebih rendah dari TiO₂). Tidak ada efek sitotoksik, onkogenik, atau mutagenik pada fibroblas atau sel darah yang diamati⁴⁹ dan tidak ada efek penyimpangan kromosom yang diinduksi oleh keramik Y-TZP ditemukan.⁵²

2.4.4 Tipe-tipe Zirconia

Berbagai macam tipe keramik zirconia yang tersedia untuk aplikasi pada kedokteran gigi :

a) Yttrium tetragonal zirconia polycrystals (3Y-TZP)

Sejak akhir tahun delapan puluhan, zirconia biasanya mengandung 3mol% yttria (Y₂O₃) sebagai *stabilizer* (3Y-TZP).⁵¹ 3Y-TZP telah digunakan untuk memproduksi bagian kepala tulang femoral dalam proses penggantian pinggul total, tetapi penggunaannya dalam operasi ortopedi telah berkurang lebih dari 90%. 3Y-TZP tersedia di kedokteran gigi untuk fabrikasi mahkota gigi dan gigi tiruan tetap sebagian. 3Y-TZP memiliki sifat mekanis yang unggul karena kekuatan lenturnya mencapai 900-1200 MPa.^{54,55}

Tabel 2 : Sifat-sifat *Yttrium Zirconia*⁵⁰

Property	Y-TZP	ISO 13356 requirements	ASTM F1873 requirements
Chemical composition (wt %)			
ZrO ₂ +HfO ₂ +Y ₂ O ₃	> 99.0	> 99.0	≥ 99.0
Y ₂ O ₃	4.5–5.4	4.5–5.4	4.5–5.4
Al ₂ O ₃	< 0.5	< 0.5	≤ 0.5
Other total oxides	< 0.5	< 0.5	≤ 0.5
Physical properties			
Bulk density (g/cm ³)	6.05	≥ 6.00	≥ 6.00
Grain size (μm)	0.2	≤ 0.6	≤ 0.6
Monoclinic phase (%)	1	-	≤ 5
Porosity	< 0.1%	< 0.1%	< 0.1%
Mechanical properties			
Flexural strength (4 point) (MPa)	1,666.0	≥ 800	> 800
Elastic modulus (GPa)	201	-	≥ 200
Vickers hardness (HV)	1,270.0	-	> 1,200.0
Fracture toughness (Kgf/mm ^{2/3})	16.8	-	-
Fracture toughness K _{IC} (MPa m ⁻¹)	7–10	-	-
Compressive strength (MPa)	4,900.0	-	-
Impact strength (MPa)	1370	-	-
Thermal properties			
Thermal expansion coefficient (x10 ⁻⁶ /°C)	11x10 ⁻⁶ K ⁻¹	-	-
Thermal conductivity (W/m°K)	2	-	-
Specific heat J/kg°K)	500	-	-

b) Glass-infiltrated zirconia-toughened alumina (ZTA)

Alternatif lain untuk memanfaatkan kemampuan zirkonia adalah dengan menggabungkannya dengan matriks alumina sehingga menghasilkan *Zirconia-Toughened Alumina* (ZTA).⁵⁵ Salah satu jenis aplikasi pada kedokteran gigi yang tersedia secara komersial, yaitu *In-Ceram Zirconia* (Vident™, Brea, CA).⁵⁶ Proses sintering awal berlangsung pada 1100° C selama 2 jam, diikuti dengan infiltrasi kaca komposit keramik berpori. Salah satu keuntungan utama dari tipe ini adalah jumlah penyusutan selama produksi yang lebih sedikit. Namun, jumlah porositas lebih besar dari 3Y-TZP dan sekitar 8 hingga 11%.⁵⁷ Ini menjelaskan sifat mekanis yang lebih rendah dari *In-Ceram Zirconia* jika dibandingkan dengan keramik 3Y-

TZP. Di sisi lain jenis ini biasanya menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik dan lebih tahan terhadap degradasi suhu rendah daripada Y-TZP dalam kondisi yang sama.⁵⁸

c) Magnesia partially stabilized zirconia (Mg-PSZ)

Meskipun sejumlah besar penelitian telah difokuskan pada Mg-PSZ untuk kemungkinan aplikasi biomedis, bahan ini belum berhasil diaplikasikan. Hal ini terutama disebabkan oleh banyak penyebab seperti adanya porositas, ukuran butiran yang besar (30-60 nm) yang dapat menyebabkan keausan pada struktur yang berlawanan, stabilitasnya yang rendah dan sifat mekanik keseluruhan yang rendah.⁶²

d) Zirconia-containing lithium silicate ceramics (Zls)

Keramik jenis ini baru-baru ini diperkenalkan sebagai bahan yang dapat dikerjakan dengan mesin untuk digunakan dengan teknik (CAD-CAM), dengan sifat mekanis yang diklaim sebanding dengan keramik litium disilikat. Teknologi untuk bahan baru ini bergantung pada penambahan 10% berat zirkonium oksida ke komposisi kaca litium silikat. Kristal zirkonia bertindak sebagai agen nukleasi tetapi tetap dalam larutan matriks kaca. Struktur mikro ganda yang terdiri dari kristal litium metasilikat (Li_2SiO_3) dan litium disilikat ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) yang sangat halus diperoleh, dengan matriks kaca yang mengandung *zirconium oxide* dalam larutan.⁶³

2.4.5 Aplikasi Zirkonia

Luasan dari pemakaian klinis dari zirkonia :

- **Veneer bilaminar**

Tingkat opasitas inti zirkonia yang melekat memungkinkan aplikasi restorasi veneer berkekuatan tinggi dengan kemampuan *covering* yang lebih baik untuk gigi-gigi yang berubah warna.⁵⁹

- **Mahkota zirkonia**

Preparasi gigi untuk mahkota zirkonia sebanding dengan perawatan untuk restorasi campuran logam-keramik. Abutment harus dipersiapkan secara memadai untuk memberikan ruang yang cukup baik untuk substruktur serta material dan distribusi tekanan fungsional. Preparasi pada gigi anterior harus memiliki pengurangan insisal minimal 1,5 mm dan margin aksial 1,0 mm dengan kemiringan 4° - 6°; pengurangan aksial di area estetika dapat diperpanjang hingga 1,5 mm. Gigi posterior harus dipreparasi dengan reduksi oklusal 1,5 mm dan reduksi aksial 1,0 mm pada regio marginal dengan kemiringan sekitar 4° - 6°. Preparasi gigi dapat dilakukan dengan berbagai akhiran, meskipun akhiran chamfer dan bahu bulat lebih disarankan. Setelah preparasi, inti zirkonia seragam setebal 0,5 mm harus dibuat untuk mahkota posterior tunggal. Khususnya di daerah anterior, persyaratan kekuatan dan estetika memungkinkan pembuatan koping dengan tebal 0,3 mm, namun pengurangan ketebalan koping dari 0,5 mm menjadi 0,3 mm dapat secara negatif mempengaruhi *fracture loading capacity* (penurunan 35%) pada restorasi mahkota tunggal zirkonia.⁵⁹

- **Gigi palsu sebagian cekat**

Sifat mekanik zirkonia yang luar biasa seperti kekuatan lentur tinggi dan ketahanan terhadap patah memungkinkan fabrikasi gigi tiruan cekat sebagian keramik di lokasi anterior dan posterior. Untuk prognosis jangka panjang yang baik untuk gigi tiruan cekat sebagian zirkonia, konektor harus dirancang dan dibuat dengan benar. Area permukaan penghubung gigi tiruan cekat sebagian harus minimal 6,25 mm². Untuk alasan ini, gigi tiruan cekat sebagian keramik hanya boleh digunakan jika jarak antara papilla interproksimal dan pinggiran tepi sebesar 4 mm. Dalam perbandingan antara gigi tiruan sebagian cekat dengan zirkonia antara 3, 4 dan 5 unit dan permukaan penghubung minimal, masing-masing menghasilkan 2,7 mm², 4,0 mm² dan 4,9 mm². Ketinggian abutment sangat penting untuk mendapatkan kerangka ZrO₂ dengan bentuk dan dimensi yang benar untuk memastikan ketahanan mekanis dari restorasi. Restorasi lengkung penuh rahang disarankan maksimal 5 unit- gigi tiruan cekat sebagian. Tegangan tarik maksimum terkonsentrasi pada permukaan konektor gingiva dan lapisan porselen dapat mengurangi resiko kegagalan.⁶⁰

- **Pasak zirconia**

Keuntungan utama pasak zirkonia terletak pada sifat translusen dan warna gigi, sehingga membuat bahan zirconia dapat digunakan untuk mahkota di daerah anterior. Pasak zirkonia juga diindikasikan untuk gigi dengan kerusakan koronal yang parah, karena menawarkan kekuatan yang lebih baik daripada material komposit. Prinsip preparasi ruang pasak untuk pasak berjenis zirkonia mirip dengan pasak jenis lainnya. Perawatan ekstra harus diberikan untuk mempertahankan struktur gigi selama perawatan saluran akar. Pemeliharaan efek *ferrule* yang sesuai (tinggi minimal 2mm) dan pinggiran dentin saluran akar (lebar minimal 1 mm) sangat

penting untuk mencapai ketahanan restorasi yang baik. Pasak zirkonia dapat ditempatkan bersama dengan komposit *hybrid* atau komposit *built-up*. Kerugian utama dari pasak zirkonia adalah bahwa kekakuannya yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak kejadian fraktur akar daripada fraktur pasak. Selain itu, hampir tidak mungkin untuk mencabut gigi yang telah direstorasi dengan pasak zirkonia karena sangat sulit untuk mencabutnya dari saluran akar.⁶¹

- **Implan zirconia**

Y-TZP sebagai bahan implan gigi *endosseous* menghadirkan biokompatibilitas yang diperbaharui, sifat mekanis yang lebih baik, radiopasitas tinggi, dan penanganan yang mudah selama persiapan abutment. Keramik zirkonia dapat ditoleransi dengan baik oleh tulang dan jaringan lunak. Implan Y-TZP dapat berhasil melakukan osseointegrasi dalam kondisi pembebanan yang mirip dengan implan titanium. Namun demikian, data penelitian klinis dan laboratorium masih langka tentang rekomendasi yang aman untuk aplikasi klinis implan Y-TZP secara luas.⁵⁹

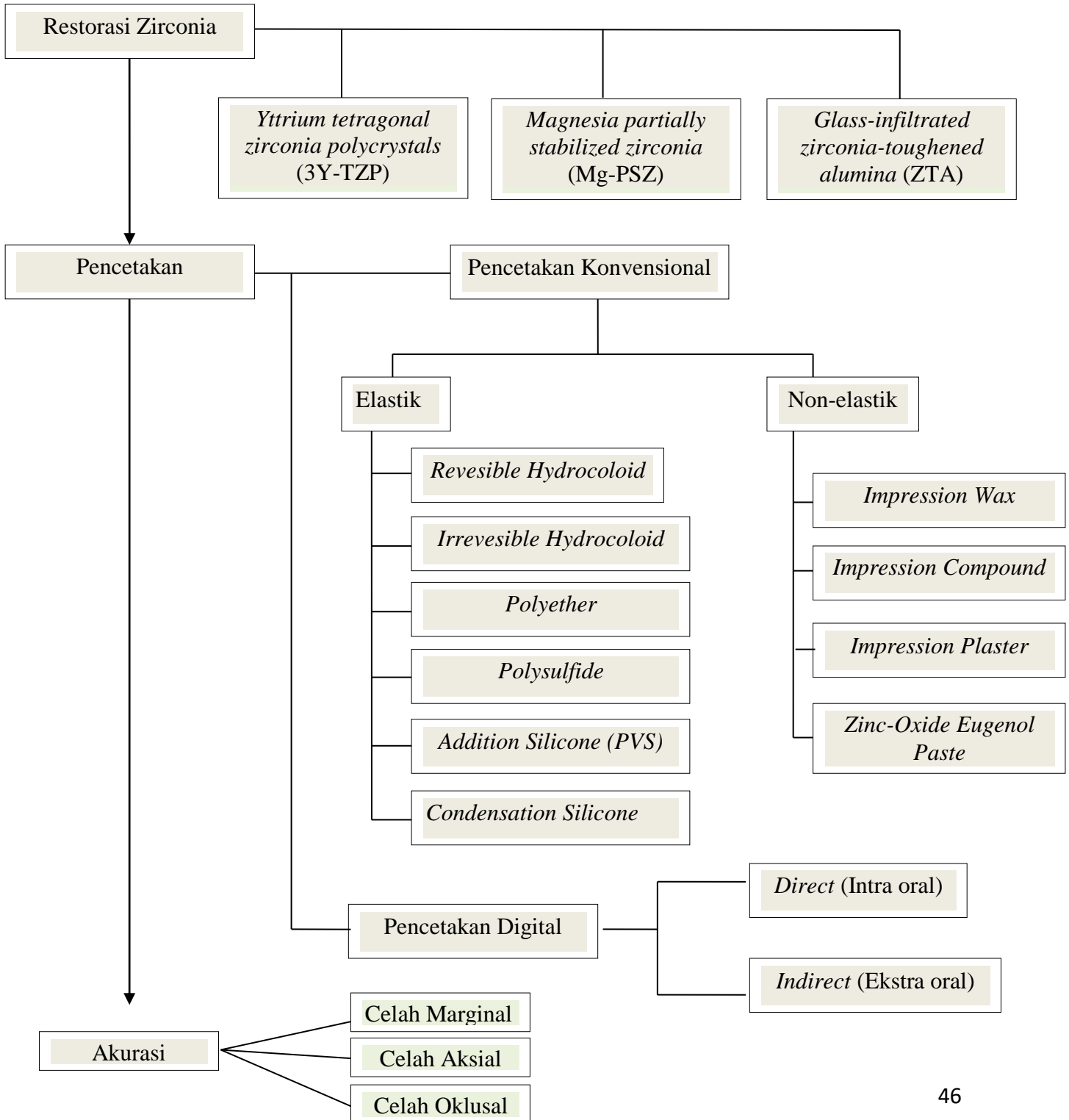
- **Abutment zirconia**

Penyangga logam konvensional (titanium), terutama melalui mahkota yang seluruhnya terbuat dari keramik dengan sifat semi translusen yang kemudian melalui jaringan mukosa peri-implan tipis, sehingga menghasilkan tampilan keabu-abuan pada keseluruhan restorasi. Masalah estetika ini atau kemungkinan eksposur dari penyangga logam yang mendasari dapat diakomodasi dengan aplikasi klinis dari *abutment* zirkonia. *Abutment* Y-TZP tersedia dalam bentuk prefabrikasi dan *custom-made*. Akhiran chamfer yang lebih menonjol atau preparasi bahu

dengan *inner line angle* membulat adalah akhirian preparasi yang paling direkomendasikan untuk abutment zirconia⁵⁹

BAB III
KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP

3.1 Kerangka Teori



3.2 Kerangka Konsep

