



Perkembangan Teknologi Digital dalam Kedokteran Gigi Forensik

Andi Nur Sakina Tri Meilana¹, Elza Ibrahim Auerkari^{1*}, Antonius Winoto Suhartono¹

¹Program Studi Odontologi Forensik, Departemen Biologi Oral, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia, Kampus Salemba, Salemba Raya IV, Kota Jakarta Pusat, 10430, Indonesia

*Corresponding author e-mail: elza.ibrahim@ui.ac.id

Article History:

Received: 18-07-2023

Accepted: 31-01-2025

Published: 28-02-2025



Copyright: This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstrak

Di era modern ini, teknologi terus berkembang pesat dan telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Kemajuan terkini telah mempopulerkan berbagai teknologi digital dalam kegunaannya di bidang forensik kedokteran gigi khususnya dalam tujuan identifikasi individu. Berbagai metode identifikasi digital telah mulai dibahas terkait perannya dalam menggantikan metode forensik konvensional dari segi akuisisi, analisis, efisiensi, dan akurasi. Review ini bertujuan untuk membahas perkembangan teknologi digital di lingkup forensik kedokteran gigi serta berbagai metode melalui teknologi digital yang dapat digunakan dalam menyelesaikan berbagai kasus forensik. Penulisan review ini dilakukan melalui kajian literatur pada berbagai database berupa PubMed, SciELO, MEDLINE, dan Scholar dalam rentang waktu 10 tahun terakhir. Berbagai perkembangan digital dalam forensik kedokteran gigi yang telah dipublikasikan meliputi radiografi dan fotografi digital; rekonstruksi fragmen dengan *3D Printing*; *Intra Oral 3D Scanner*; fotografi UV dalam identifikasi bahan kedokteran gigi; metode *superimposed*; identifikasi protesa digital; *viridentopsy & teledentistry*; serta berbagai pengembangan perangkat lunak dan database. Dari berbagai metode tersebut, hampir semua metode menghasilkan akurasi yang baik, metode yang lebih sederhana tanpa adanya tindakan destruktif pada suatu bukti forensik, serta hemat waktu dibanding metode konvensional. Meski demikian, belum terdapat metode yang telah diterapkan secara universal di seluruh dunia. Sebagian besar hal ini disebabkan oleh keterbatasan dalam mengakses alat dan biaya yang tidak tergolong murah. Dimasa yang akan datang, teknologi digital akan memainkan peran krusial dalam forensik terlebih jika teknologi tersebut dapat diakses dengan mudah.

Kata kunci:

Forensik Kedokteran Gigi; Odontologi Forensik; Teknologi Digital; Identifikasi Individu; Pencitraan Tiga Dimensi

Abstract

In this modern era, technology continues to grow rapidly and has become part of our everyday life. Recent advances have popularized various digital technologies for their use in forensic dentistry, especially to assist individuals. Various digital recovery methods have been included including replacing conventional forensic methods in terms of acquisition, analysis, efficiency, and accuracy. This review aims to discuss the development of digital technology within the scope of forensic dentistry as well as various methods through digital technology that can be used in solving various forensic cases. The writing of this review was carried out through a literature review on various databases in the form of PubMed, SciELO, MEDLINE, and Scholar within the last 10 years. Various digital developments in forensic dentistry that have been published include radiography and digital photography; reconstructing fragments with *3D Printing*; *Intra Oral 3D Scanners*; UV photography in aid of dental materials; *superimposed* methods; assisted

digital prostheses; videntopsy and teledentistry; as well as various device developments software and database. Of these various methods, almost all methods produce good accuracy, simpler methods without any destructive action on forensic evidence, and save time compared to conventional methods. However, no method has been universally applied worldwide. This is due to limitations in accessing tools and costs that are not relatively cheap. In the future, digital technology will play a crucial role in forensics especially if it can be accessed easily.

Keywords:

Forensic Dentistry; Forensic Odontology; Digital Technology; Individual Identification

1. PENDAHULUAN

Forensik Kedokteran Gigi / Odontologi Forensik merupakan salah satu cabang ilmu forensik yang sangat berperan besar dalam proses identifikasi terlebih pada kasus individu yang sulit dikenali. Bidang ini melibatkan struktur oral dan para oral seperti gigi, mandibula, maksila, dan jaringan lunak lainnya sebagai bagian dari bukti penting yang akan diperiksa dan dievaluasi kemudian dipresentasikan untuk kepentingan hukum dan keadilan [1], [2].

Di Indonesia, baik itu bencana alam ataupun non-alam terus dilaporkan terjadi. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam rentang waktu 2010-2020 bencana terus meningkat tiap tahunnya. Jumlah bencana terbanyak terjadi ditahun 2020 yaitu 5.003 kejadian dengan korban meninggal dilaporkan sebanyak 259.344 jiwa [3]. Kejadian ini merupakan suatu contoh krisis kemanusiaan sehingga proses identifikasi harus dilakukan seoptimal mungkin. Namun, untuk memperoleh kesimpulan identitas yang tepat dalam suatu proses identifikasi bukanlah hal yang mudah. Hal ini dikarenakan berbagai kondisi pada kasus forensik yang cukup ekstrim seperti tubuh telah menjadi fragmen, hangus terbakar, dan telah terjadi dekomposisi dapat mempersulit proses identifikasi.

Pada dasarnya, identifikasi dalam odontologi forensik dilakukan berdasarkan

pada perbandingan visual catatan *ante-mortem* yang merupakan data seseorang saat masih hidup dan *post-mortem* yang merupakan data temuan saat seseorang telah meninggal. Metode ini dinilai rentan memperoleh hasil yang bias karena tidak memiliki standar kesamaan antara keduanya. Selain itu, metode perbandingan ini juga bersifat subyektif antar yang melakukan analisis, serta memakan waktu yang cukup banyak. Beberapa tahun ini, teknologi digital telah terus dikembangkan dan menjadi penting dalam ilmu forensik serta penerapannya dalam proses identifikasi pun telah cukup banyak disarankan [4]. Tidak hanya dalam lingkup forensik, kemajuan teknologi digital terkini juga sebelumnya telah banyak digunakan dibidang kesehatan lain seperti halnya dalam mendiagnosa dan rencana perawatan suatu praktik kedokteran tertentu [4], [5].

Berbagai studi dan kasus forensik telah melaporkan manfaat penggunaan teknologi digital dalam keberhasilan identifikasi individu. Schuller *et al.* (2007) melaporkan dalam tulisannya, bahwa sebesar 54,16% korban bencana massal tsunami Asia Tenggara 2004 silam berhasil teridentifikasi melalui gigi. Berbagai metode odontologi forensik yang dilakukan ialah pengambilan fotografi digital, radiografi digital berupa *periapical x-ray*, *bitewing x-ray*, *occlusal view*, *dsb.* Selanjutnya, ribuan data *ante mortem* dan *post portem* yang telah

dikumpulkan, dimasukkan ke dalam *database The Computer System DVI System International (Plassdata)* untuk secara otomatis melakukan berbagai pencarian kecocokan antara data dari individu satu dan lainnya [6]. Selain itu, teknologi digital juga turut mengambil peran dalam proses identifikasi kasus massal lainnya seperti tsunami Jepang 2011, dan Bom Bali, Indonesia 2002 lalu [7], [8].

Tidak hanya itu, teknologi digital juga mengambil peran sebagai sebuah *tools* yang dapat menyajikan bukti akurat di pengadilan suatu kasus kriminal. Errickson *et al.* (2021), melakukan survey pada berbagai laporan kasus forensik di Inggris dan Wales terkait penggunaan teknologi *3D printing* sebagai bukti forensik. *3D printing* merupakan sebuah metode pembuatan benda padat 3 dimensi dari sebuah desain digital. Dari hasil survey yang dilakukan, 35% kasus cedera tengkorak fatal; 18% kasus cedera tengkorak tidak fatal; 29% kasus pematangan; dan 6 % kasus massal melakukan teknik *3D printing* untuk memperoleh suatu bukti forensik yang adekuat. Permintaan *3D printing* ini berasal dari berbagai ahli forensik dan odontologi forensik, polisi, spesialis anatomi dan patologi terkait alat bukti oleh saksi ahli [9].

Forensik digital dinilai telah menggantikan forensik konvensional dari segi akuisisi, analisis, efisiensi dan juga akurasi. Terlebih metode digital ini merupakan metode non-destruktif sehingga lebih digemari kalangan forensik. Hal ini tentunya mengatasi permintaan yang meningkat terkait bagaimana untuk mendapatkan alat identifikasi yang lebih cepat dengan akurasi yang terpercaya [2], [5]. Berbagai metode dan informasi digital juga memungkinkan untuk melakukan komunikasi dan pertukaran informasi antar dokter gigi dari jarak jauh bahkan proses

identifikasi dapat dilakukan dari jarak jauh seperti pada kasus ketika suatu negara ataupun daerah tidak memiliki sumber daya dokter odontologi forensik yang tersedia [2], [10].

Dalam beberapa tahun terakhir, baik itu sebuah alat berbasis teknologi ataupun perangkat lunak digital telah muncul sebagai bagian yang tak terpisahkan dari odontologi forensik. Meski demikian, review yang membahas hal ini masih sangat terbatas. Karena perkembangan dan kemajuan digital dan teknologi dari hari kehari begitu pesat, maka kami menilai review ini merupakan hal yang penting untuk dibahas. Dalam review ini akan dibahas berbagai metode teknologi digital yang dapat digunakan dalam suatu kasus forensik, serta melihat bagaimana potensi penerapan digital forensik dimasa yang akan datang.

2. METODE PENELITIAN

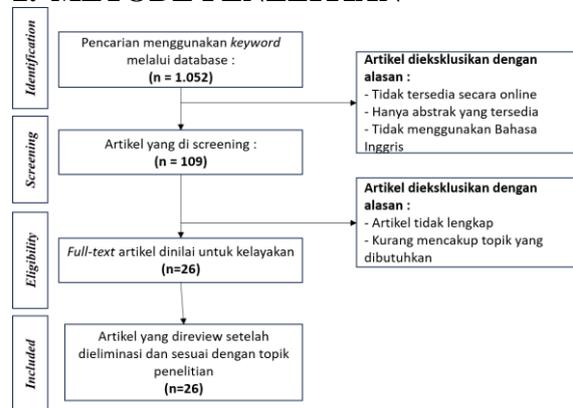


Diagram 1. *Prisma Flow Chart* pemilihan artikel.

Review ini dilakukan dengan metode kajian literatur (*literatur review*). Penelusuran berbagai artikel ilmiah dilakukan berbasis online pada berbagai database yaitu PubMed, *Science Direct*, dan *Google Scholar* selama 10 tahun terakhir. Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran ini adalah “*Forensic Dentistry*” dan/atau “*Forensic Odontology*” dan “*Digital Technology*” dan “*Individual Identification*”. Jumlah jurnal yang digunakan sebagai acuan dalam penyusunan

review jurnal ini ialah sebanyak 26 jurnal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Radiografi Digital dan Fotografi Digital

Radiografi digital telah cukup luas digunakan dalam praktik kedokteran gigi dan dalam lingkup forensik. Kualitas gambar yang baik tentunya dapat mempercepat proses identifikasi. Hasil radiografi digital dapat ditransfer dengan mudah dengan detail gambar yang tetap baik [2]. Berbagai karakteristik individu, seperti restorasi gigi, morfologi akar, pola trabekular, kondisi patologis, serta ukuran struktur anatomi tertentu dapat dianalisis sekaligus dalam radiografi. Berbagai jenis radiografi digital seperti *Panoramic*, *Periapical X-Ray*, *Postero Anterio Cephalometry (PA cephalometry)* *Computed Tomography (CT)*, dan *Cone Beam CT (CBCT)* merupakan beberapa jenis radiografi digital intra dan ekstra oral berupa 2 dimensi dan 3 dimensi yang berguna dalam berbagai praktik odontologi forensik. Berbagai kelebihan dan kekurangan pada tiap radiograf ini telah dibahas dalam studi-studi terdahulu [11], [12].

Fotografi digital yaitu sebuah alat dan metode dalam bidang forensik yang membantu dalam penyelidikan, pemeliharaan arsip, serta sebagai bukti yang dapat disajikan dipengadilan. Pada dasarnya metode ini dapat mengamankan suatu bukti forensik dan selalu digunakan [13]. Digital kamera menangkap gambar yang didigitalkan oleh sensor dalam kamera kemudian diubah menjadi gambar terkomputerisasi. Gambar tersebut dapat diedit, dikirim, ataupun dicetak. Duplikasi dan pengambilan gambar ulangpun sangat memungkinkan untuk dilakukan. Ketika distorsi diduga terjadi, sebuah solusi dapat dilakukan. Sebagai contoh, dalam

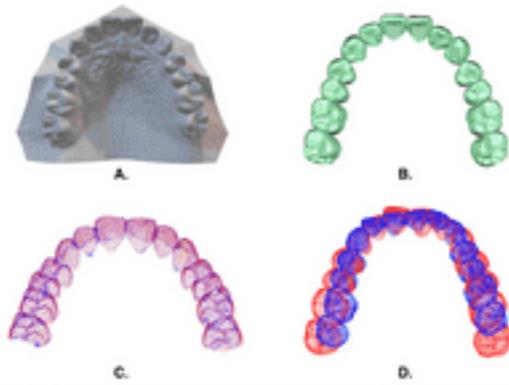
menganalisa suatu bekas gigitan, sebuah skala pengukuran yang dirancang oleh *American Board of Forensic Odontology (ABFO #2)* dapat digunakan untuk menentukan distorsi kemudian dikoreksi melalui sebuah perangkat lunak seperti *Adobe Photosop* [2]. Dalam pengambilan gambar pun, sebuah protokol perlu diikuti agar suatu gambar dapat digunakan, dan harus dilakukan oleh individu yang telah terlatih.

Jenis dan teknik dalam fotografi terbagi menjadi dua jenis yaitu *visible light photography* (berwarna dan hitam putih) dan *non-visible light photography* (Sinar ultraviolet dan infrared).[13] *Visible light photography* merupakan yang paling umum dalam mendokumentasikan kasus-kasus forensik. Namun, baru-baru ini *Non-visible light photography* telah disebut memiliki peningkatan hasil seperti pada kasus bekas gigitan ketika luka telah sembuh dan tidak terlihat secara klinis, metode ini meningkatkan tampilan pola cedera. Pada hasil UV, jaringan yang telah mengalami cedera akan tampak lebih berfluoresensi dibanding jaringan sehat.[2]

3.2. Superimposisi

Ketika data *ante mortem* tersedia pada suatu kasus forensik, maka metode komparatif dapat dilakukan. Sejak metode konvensional digantikan oleh digital, teknik komparatif yang sering menjadi andalan dalam lingkup forensik ialah teknik superimposisi. Teknik ini merupakan teknik komparasi antara data *ante* dan *post mortem* dengan cara menumpang tindihkan kedua data hingga mencapai kemungkinan superimposisi terbaik, lalu secara kuantitatif akan dilakukan analisis untuk melihat kecocokan diantara keduanya. Data yang digunakan dapat berupa model dental studi, hasil roentgen, bahkan hasil fotografi. yang kemudian akan didigitalisasikan untuk

dilakukan teknik superimposisi. *Software* seperti *Adobe Photosop* dan *Magnetic Lasso Tools* dapat digunakan untuk mengoptimalkan hasil dari superimposisi tersebut [14], [15].



Gambar 1. Ilustrasi teknik Superimposisi. Gambar digital 3D yang ditransfer dari model studi (A); Gambar digital 3D khusus gigi yang diekstraksi dari model digital 3D (B); Superimposisi dua lengkung gigi yang sesuai (C); Superimposisi dua lengkung gigi yang tidak sesuai (D)[18].

Pada kasus forensik, ketersediaan data *ante mortem* seperti catatan dental individu sangatlah terbatas. Reesu *et al.* (2021) melakukan studi dengan mengumpulkan ketika ahli forensik hanya memiliki foto tersenyum seseorang sebagai data *ante mortem*. Dalam studinya, dilakukan teknik superimposisi pada data *ante mortem* 2 dimensi (2D) berupa foto tersenyum, dan data *post mortem* 3 dimensi (3D) berupa model gigi. Metode komparasi ini dinilai memberikan hasil yang akurat dan lebih baik dibanding menggunakan data yang keduanya gambar 2 dimensi. Oleh karenanya teknik ini dapat diaplikasikan dalam kasus forensik ketika data *ante mortem* cukup terbatas [16]. Setelah teknik superimposisi dilakukan maka evaluasi dilakukan dengan melihat beberapa konkordan antara data *ante mortem* dan *post mortem* seperti jumlah gigi dan lengkung gigi, adanya kemungkinan elemen unik yang mencirikan suatu individu, serta ratio dan angulasi struktur gigi yang diamati. Pada akhirnya, penilaian diberikan untuk

tiap hasil evaluasi untuk menentukan hasil komparasi. Ketika hasil superimposisi hampir sempurna, dan tidak terdapat perbedaan yang tidak dapat dijelaskan, maka kemungkinan positif identifikasi dapat tercapai. Metode ini dapat diaplikasikan pada banyak kasus forensik, seperti jejas gigitan, *palatoscopy*, *cheiloscopy*, komparatif susunan dan bentuk gigi geligi, bahkan membandingkan suatu hasil rekonstruksi. Teknik ini sederhana, cepat, dan tidak memakan biaya yang banyak.[15], [17].

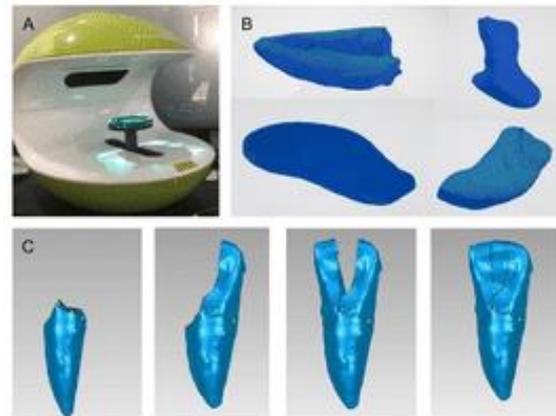
3.3.Rekonstruksi Fragmentasi melalui 3D Surface Scanning (3DSS) dan 3D Printing

Dalam kasus bencana massal atau kasus trauma maksilofasial seringkali kondisi tubuh, tulang ataupun gigi telah menjadi fragmen. Demi memperoleh bukti yang dapat dianalisis, teknik rekonstruksi dapat diterapkan. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, superimposisi merupakan sebuah metode komparatif yang belakangan sering diterapkan untuk identifikasi individu. Namun, keberhasilan metode ini bergantung pada integritas komponen yang terkait, dan tidak dapat dilakukan ketika data pembanding tidak tersedia. Rekonstruksi merupakan sebuah prosedur untuk melakukan renovasi suatu bukti yang mengalami fragmen dan elemen bukti yang hilang. Hal ini dapat dilakukan melalui pencitraan 3 dimensi dengan metode seperti pemindaian laser, fotogrametri 3D, serta *3D printing*. Metode-metode ini telah dinilai meningkatkan akurasi suatu bukti forensik.

Di era digital, penggunaan *3D printing* dalam forensik masih merupakan teknik canggih yang relatif baru. *3D printing* merupakan sebuah proses pembuatan suatu benda 3 dimensi bervolume yang dapat disentuh dari sebuah desain digital. Metodenya cepat dan menghasilkan replika

fisik objek berdasarkan data terkomputerisasi. Pemindaian *Computed Tomography* (CT) biasanya digunakan untuk *3D printing* karena *post processing* gambarnya yang mudah. Selain pada kasus fragmentasi, *3D printing* juga dapat diterapkan pada kasus rekonstruksi wajah. Namun, sebuah printer 3D tidak dapat menerima suatu gambar yang format penyimpanannya dalam bentuk file 'DICOM' (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), sehingga format file yang direkomendasikan ialah file 'stl' (*Standard Tessellation Language*) yang merupakan format file yang dapat mewakili permukaan 3 dimensi [2], [19].

Johnson *et al.* (2022) melakukan rekonstruksi digital pada gigi yang terfragmentasi dengan cara melakukan *three-dimension surface scanning (3DSS)* yang akan mengumpulkan data dari berbagai arah atau sudut tanpa adanya intervensi secara fisik. Setiap fragmen dipindai satu persatu, hasilnya kemudian disejajarkan menggunakan *Software Geomagic Studio*. Hal ini dilakukan karena proses penyelarasan dianggap bagian terpenting dalam prosedur rekonstruksi. *Multi-point registration* dilakukan menggunakan beberapa titik dengan karakteristik unik. Proses pencocokan otomatis pun dimulai dengan menggunakan sebuah algoritma yang telah ditetapkan. Setelah desain digital 3 dimensi selesai, *3D printing* dilakukan untuk membuat model yang hampir identik dengan model aslinya dengan bahan seperti *Polyactic Acid*. Kombinasi dari *3D printing* dan *3D Surface Scanning (3DSS)* ini memiliki presisi dan akurasi yang tinggi dengan rentang akurasi ketepatan $\pm 0,05$ mm sehingga dapat digunakan. Hasil dari rekonstruksi ini kemudian dapat digunakan untuk berbagai analisis pengukuran dalam tujuan identifikasi.[1]



Gambar 2. Ilustrasi prosedur 3D Surface Scanning (3DSS) pada fragmen gigi (A); Model 3D digital disimpan dalam format 'stl' (B); Prosedur multi-point registration untuk menyelaraskan fragmen satu dan lainnya (C)[1].

Serupa dengan Jani *et al.* (2020) yang menggunakan metode digital 3 dimensi untuk melakukan rekonstruksi pada fragmen mandibula dengan berbagai kasus yang berbeda seperti adanya serpihan tulang yang hilang, dan tulang yang terfragmentasi. Ketika membandingkan secara ukuran mandibula sebelum dijadikan fragmen, setelah direplikasi / rekonstruksi dan setelah dilakukan *3D printing*, ketiganya menunjukkan hasil ukuran yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa kerangka manusia dapat direkonstruksi secara akurat melalui *3D surface scanning (3DSS)* dan *3D printing* [19].



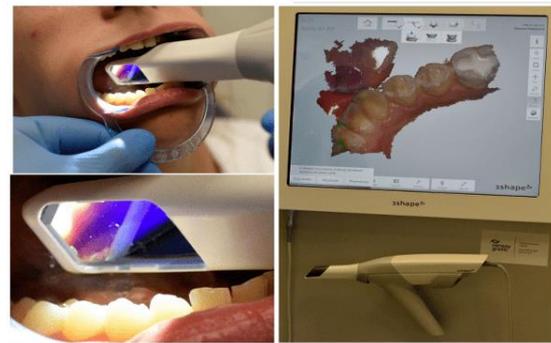
Gambar 3. Ilustrasi fragmen Mandibula; hasil rekonstruksi digital 3D dalam format file 'stl'; Model dicetak (*3D Printing*) menggunakan bahan *Polyactic Acid* setelah menyelaraskan semua bagian.[19]

3.4. Pemindai Intra Oral 3D

Pemindai *Intra Oral* merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari perangkat keras berupa kamera genggam yang terhubung dengan komputer dan *software* pengolah tiga dimensi. Seiring berkembangnya zaman, pemindai *intraoral portable* telah

digunakan dalam praktik kedokteran gigi sehari-hari. Pemindaian secara intraoral ini dapat memberikan tampilan digital yang akurat dapat diedit dan stabil serta menangkap suatu objek dengan presisi tinggi. Format digital dapat berupa file *'stl'* (*Standard Tessellation Language*) dan *'ply'* (*Polygon File Format*). Yang membedakannya, file *'ply'* dapat menangkap warna, transparansi, ataupun tekstur jaringan gigi sedang *'stl'* tidak. Hasil pindaian diekspor dalam format *'ply'* dan diteruskan ke perangkat lunak *Cloud Compare*. Ini merupakan sebuah *software* yang memungkinkan perbandingan dengan menghitung jarak titik terdekat. Selanjutnya, histogram berdasarkan skala warna dibuat, dan secara otomatis *overlay* akan ditampilkan dengan variasi kolorimetrik (perbedaan warna).

Dalam penentuan konkordan setidaknya 3 *landmark* telah dipilih secara manual untuk perhitungan kesesuaian melalui *software Cloud Compare* (<http://www.cloudcompare.org/>). Pada kasus jejas gigitan, jejas gigitan dipilih sebagai referensi dan gigi sebagai unsur pembanding. *Software* kemudian akan menghitung jarak ke titik terdekat hanya dalam beberapa detik, lalu memberikan informasi terkait jarak minimum, maksimum, standar deviasi, dan jarak rata-rata. Pemindai *Intra Oral 3D* ini dapat diaplikasikan pada banyak kasus forensik, seperti pemeriksaan jejas gigitan dan rugae palatal. Keterbatasan utama dari metode ini yaitu waktu pemindaian yang cukup lama karena pemindaian dilakukan *point to point*, dan juga bentuk dari alat pemindaian dapat memberi batasan area intraoral yang dipindai. Selain itu, pada individu yang masih hidup mungkin akan menimbulkan ketidaknyamanan pada prosedurnya [20]–[24].



Gambar 4. Ilustrasi proses pemindaian intra oral menggunakan kamera genggam yang terhubung dengan komputer; Hasil pemindaian dalam bentuk 3 dimensi [25].

3.5. Fotografi Ultraviolet dalam Identifikasi Bahan Restorasi Kedokteran Gigi

Fotografi *Ultraviolet* merupakan salah satu teknik digital *non-visible light radiography*. Dalam forensik, sinar *Ultraviolet (UV)* biasanya digunakan untuk mengidentifikasi residu tembakan, sidik jari, serta jaringan biologis. Pada dasarnya ketika sinar *UV* berinteraksi dengan suatu material tertentu, terjadi penyerapan dan kemudian dipantulkan bersama energi dari material tersebut sehingga menyebabkan fluoresensi bahan. Oleh karenanya, panjang gelombang sinar *UV* yang digunakan dapat meningkatkan karakteristik material tertentu. Teknik fotografi digital *UV* ini telah diaplikasikan dalam beberapa kasus forensik seperti mengetahui usia bite mark, mengetahui jenis material kedokteran gigi serta membedakan struktur anatomi gigi.

Angelis *et al.* (2019) menampilkan berbagai perbedaan bahan restoratif kedokteran gigi dari segi hasil fotografi *UV*. Terlihat perbedaan hasil fotografi *UV* yang cukup jelas antar resin komposit berbagai jenis, dental porcelain, akrilik, resin bridge, dan semen ionomer. Dalam hasilnya, struktur anatomi dentin dan sementum menunjukkan tampilan yang lebih gelap dibanding enamel. Selain itu, teknik ini juga memiliki potensi terkait hubungannya

terhadap usia. Refleksi UV pada enamel tampaknya menurun semakin meningkatnya usia seseorang. Teknik ini memiliki potensi yang cukup besar dalam aplikasinya dibidang odontologi forensik. Metode yang sederhana dan tidak terlalu memerlukan keterampilan yang spesifik, serta prosedur nya yang cepat menjadikan teknik ini perlu dikembangkan lebih lanjut [26].



Gambar 5. Hasil Fotogravi UV mendeteksi dengan jelas adanya gigi tiruan jembatan dengan bahan indirect composite [26].

3.6. Virdentopsi and Teledentistri

Pada beberapa daerah / negara, ahli odontologi forensik tidak selalu tersedia. Selain itu, beberapa kondisi, seperti wabah pandemik dengan resiko infeksi silang yang tinggi menjadikan proses autopsi perlu untuk dipertimbangkan. Teledentistri dan virtual autopsi merupakan solusi untuk melakukan proses identifikasi pada kasus-kasus seperti ini. Metode ini memungkinkan pemeriksaan rahang dan gigi oleh ahli odontologi tanpa perlu melakukan autopsi konvensional.

Teledentistri dikedokteran gigi telah mulai berkembang setelah pandemik COVID-19 terjadi. Seorang ahli odontologi forensik dari kebangsaan yang sama dengan korban bencana massal dapat memberikan informasi penting terkait perawatan dan interpretasi data gigi dari jarak jauh. Oleh karenanya, autopsi virtual dan teledentistri memungkinkan peningkatan efisiensi dilingkup forensik.

Emilio Nuzzolese (2020) menyatakan sebuah laboratorium identifikasi manusia medikolegal di Turin, Italia memulai sebuah proyek bernama “*VIRDENTOPSY*” berdasarkan hipotesis bahwa autopsi gigi lengkap harus selalu disertakan meski tidak ada ahli odontologi forensik yang tersedia dilokasi kejadian. Ini merupakan sebuah web khusus yang menawarkan penilaian odontologi forensik jarak jauh berdasarkan data gigi *post mortem* individu yang tidak dikenal. Jika ahli odontologi forensik tidak tersedia di suatu lokasi forensik, maka pengumpulan data dapat dilakukan oleh dokter gigi yang ada, lalu dikirim ke ahli odontologi forensik dari jarak jauh untuk melakukan interpretasi dan membuat profil dental dari hasil pengambilan data *post mortem*.



Gambar 6. Ilustrasi Virdentopsi dan Teledentistri (Perekaman video menggunakan smart glasses oleh operator (A); Pengambilan fotogrametri melalui pemindaian intra oral (B); Live streaming yang langsung diamati oleh ahli odontologi forensik dari jarak jauh(C))

Secara teknis, virdentopsi dilakukan dengan mengumpulkan data gigi *post-mortem* dari perekaman video 2 dimensi atau 3 dimensi lengkung gigi dan rongga mulut dengan kamera *intra oral*, *smartphone*, fotografi fotogrametri, pemindaian rahang dan tengkorak dengan radiograf 3 dimensi seperti *Computed Tomography (CT)* dan *Magnetic Resonance*

Imaging (MRI), ataupun melakukan *live streaming* menggunakan *smartphone* atau *smart glasses*. Dalam website ‘*Virdentopsy*’, jenis evaluasi dapat dipilih seperti apakah ini merupakan satu jenazah yang tidak dikenal atau merupakan prosedur bencana massal ketika korban jenazah banyak sesuai *Disaster Victim Identification* (DVI). Selain itu, pengguna akan dapat memutuskan apakah pendapat ahli diperlukan. Layanan ini berbayar tergantung entitas seseorang. Keterbatasan dari metode ini ialah hasil perekaman yang buruk oleh operator serta adanya keraguan berlebih oleh ahli odontologi forensik jarak jauh dapat terjadi. Terlebih, prosedur pengambilan data jarak jauh mungkin saja tidak seakurat dengan prosedur yang dilakukan secara langsung [10], [27].

3.7. Meja anatomi (Anatomage Table)

Meja Anatomi merupakan sebuah alat digital modern yang digunakan untuk mempelajari anatomi manusia dan hewan menggunakan rekonstruksi 3 dimensi yang diperoleh dari berbagai segmentasi gambar multimodal seperti *Computed Tomography* (CT) dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Alat ini dilengkapi layar sentuh yang memungkinkan pembedahan secara virtual dilakukan. Alat ini sangat berguna dalam bidang odontologi forensik terutama dalam bidang pendidikan dan pelatihan terkait berbagai metode identifikasi dalam odontologi forensik. *Anatomage table* ini memungkinkan kita memvisualisasikan dan menganalisis dengan resolusi tinggi. Jaringan lunak dan rahang dapat dibedah untuk pengamatan lebih rinci. Selain itu *snapshot* pada berbagai area yang telah dibedah dapat dilakukan. Berbagai data file dari radiograf CT atau CBCT dapat diunggah kedalam alat ini, sehingga autopsi virtual dan videntopsi memungkinkan untuk dilakukan [28].



Gambar 7. Meja Anatomi (Virtual Anatomage Table).

3.8. Identifikasi Protesa Digital

Pada banyak kasus forensik, protesa / gigi palsu merupakan bukti penting yang sering hadir, sehingga pelabelan protesa menjadi hal penting dalam mengungkap identitas pemiliknya. Dibeberapa negara seperti Amerika Serikat, pelabelan protesa ini telah dimanatkan secara hukum. Pelabelan ini harus unik, tahan asam dan berbagai perubahan suhu, tanpa mengurangi kualitas dan mengganggu estetika suatu protesa. Biasanya pelabelan dimasukkan kedalam protesa selama proses pembuatannya. Sudah cukup banyak studi yang berupaya memberikan metode terbaik dalam pelabelan protesa, seperti melalui penyimpanan *Microchip*, *Micro Secure Digital* (*MicroSD*) *portable*, *NFC tag* bahkan *scan barcode*.



Gambar 8. Ilustrasi identifikasi individu berdasarkan *NFC tag* pada protesa. *NFC tag* dimasukkan pada protesa maksila (A) ; mendeteksi *NFC tag* (B) ; identitas pemilik protesa terdeteksi (C) [30].

Meski merupakan metode yang cepat dan sederhana, namun *microchip* memiliki ruang data yang kecil serta data tidak dapat dimodifikasi oleh dokter gigi, dan *scan barcode* akan sulit dipindai pada berbagai kasus forensik karena kondisinya yang rusak atau samar, terlebih lengkung pada protesa dapat menyebabkan distorsi pada *barcode*. Selanjutnya, pelabelan dengan kartu *MicroSd*. kartu digital *MicroSd* biasanya berukuran 11 x 15 x 1 mm dengan kapasitas kisaran 128 MB – 4 GB. Kartu ini bertujuan untuk menyimpan informasi, mengubah, serta melihat data yang telah diinput melalui ponsel. *Flap* pada protesa dibuat dan *MicroSD* dimasukkan pada bagian lingual *flange* protesa. Pelabelan ini dinilai sederhana, mudah, dan tidak memakan biaya besar. Selain *MicroSD*, *near-field communication tag (NFC tag)* juga dinilai sebagai cara identifikasi protesa yang sederhana dan hemat biaya. *NFC tag* merupakan teknologi nirkabel populer yang dapat mentransfer informasi / data antar dua perangkat yang saling berdekatan. Metode ini sangat mudah diakses. Terdapat satu kelemahan yaitu data yang dapat dimasukkan terbatas [29], [30].

3.9. Software dan Database

Untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, serta hemat biaya, berbagai perangkat lunak/software berbantuan komputer mulai dikembangkan. Konsep dasar dari *software* biasanya melakukan pencarian dan pencocokan berdasarkan algoritma canggih dari sistem komputer. *Software* tujuan identifikasi terkait odontologi forensik berdasarkan rekomendasi oleh *International Criminal Police Organization (INTERPOL)* yang paling terkenal ialah *Computer Assisted Postmortem Identification (CAPMI)*, *Windows Identification 3 (WinID3)*, *Disaster and Victim Identification "DAVID"*, *Plass Data system – The DVI System International* [31].

Computer Assisted Postmortem Identification (CAPMI) merupakan aplikasi yang diciptakan pertama kali dalam tujuan identifikasi odontologi forensik dengan cara membandingkan kode / keterangan gigi dari catatan *ante dan post mortem*, melihat jumlah karakteristik yang cocok, lalu *software* akan membuat daftar kandidat individu.

Windows Identification 3 (WinID3) diciptakan berdasarkan perkembangan dari program *CAPMI* dan telah digunakan dalam berbagai identifikasi korban bencana massal. *WinID* memanfaatkan karakteristik gigi dan antropometrik lainnya untuk memberi peringkat kecocokan. *Software* ini dapat digunakan dalam berbagai bahasa dan menggunakan beberapa mode pencarian database untuk mencocokkan data. Hasil pencarian akan dipisah menjadi 5 tabel berupa *most dental hits*, *most restoration hits*, *least dental matches*, *most identifier matches*, dan *fuzzy dental logic*. *WinID3* memungkinkan untuk menggabungkan diagram gigi dengan data radiografi dalam tujuan perbandingan.

The Disaster Victim Identification System International (The DVI System International) dikembangkan oleh *software plass data*, biasanya digunakan untuk bencana internasional seperti Tsunami Thailand 2004 silam. *Software* ini merupakan program *total mass disaster*, dimana gigi merupakan salah satu bagian integral didalamnya.

Disaster and Victim Identification (DAVID) merupakan *software* komputer yang mirip dengan dokumen *INTERPOL* dalam hal menyimpan, pengambilan, dan pencocokan data *ante dan post mortem*. *DAVID* memiliki beberapa karakteristik gigi seperti gigi sulung, bahkan data prostodontik. *Software* ini dapat bekerja dengan lebih dari satu database, dan

hasilnya dapat dicetak.

Selanjutnya, *Unified Victim Identification System* merupakan *software* untuk identifikasi bencana massal yang mengelola dan mengkoordinasi seluruh aktivitas yang berkaitan dengan identifikasi korban dan *missing person*. Ketika data yang tersedia hanya sebagian, seperti pada kasus ketika terjadi pada fragmen rahang pun dapat dijelaskan dengan *software* ini. Mirip dengan *WinID3*, *software* ini juga dapat diperbandingkan dengan data radiograf [5], [31].

Computer Aided Dentistry dan *Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)* merupakan *software* yang mendigitalkan struktur gigi dan rongga mulut agar dapat dianalisis. *CAD/CAM* dapat membantu dalam estimasi usia, analisis cedera, hingga identifikasi *post mortem*. *Software* ini juga dapat membantu dalam rekonstruksi 3 dimensi. Berbagai analisis ukuran gigi seperti menghitung ratio pulpa dan gigi dapat dilakukan.

Dentascan merupakan sebuah *software* berbasis pencitraan *Computed Tomography (CT)* (yang dapat digunakan untuk merekonstruksi gambar sesuai dengan kebutuhan).

Adobe Photosop merupakan program *software* yang secara luas telah digunakan dalam berbagai bantuan editing gambar digital. *Adobe photosop* telah dibahas dalam berbagai studi terkait perkiraan usia dan jenis kelamin, serta analisis jejas gigitan. Pengeditan gambar, warna, serta penghilangan artefak gambar dapat dilakukan.

Image J, sebuah *software* pengolah gambar yang berfungsi dalam menampilkan, mengedit, analisis, memproses data, menyimpan hingga mencetak gambar. *Software* ini memiliki kemampuan statistik.

Semua analisis odontologi forensik dapat dilakukan melalui ini, selain itu analisis wajah juga memungkinkan. *Software* ini merupakan salah satu *softwer public domain* yang berarti dapat diakses dengan mudah oleh siapapun [5], [32].

Automated Identification from Dental Data (AutoIDD) merupakan sebuah *software* yang menggunakan data dental gigi *ante mortem* dan *post mortem* dalam bentuk 3 dimensi untuk identifikasi. Reesu *et al.* (2020) menyebutkan bahwa *software* ini konsisten dalam akurasi karena mampu membedakan kecocokan yang benar dengan presentasi kecocokan yang tinggi, dan hasil antara data *ante* dan *post mortem* yang tidak cocok melalui metode superimposisi 3 dimensi [31].

Forensic Dental Symbols & Dental Encoder Database. Simbol gigi forensik diciptakan menggunakan *font tipografi*. Sebanyak 234 simbol grafik gigi mewakili mahkota, akar serta karakteristik unik gigi dirancang. Pembuatan odontogram akan dilakukan sesuai simbol grafik tersebut. *Dental recorder database* dirancang khusus untuk pengolahan, manipulasi, dan penyimpanan data dental sesuai yang dihasilkan oleh simbol forensik gigi. *Encoder* menggunakan *Microsoft Access*, sehingga jika terdapat informasi lain seperti data radiografi dapat dimasukkan kedalam *database*. Program ini dapat melakukan pencarian *database* secara otomatis. Pada dasarnya, dua teknologi *software* ini dirancang agar dapat digunakan secara menyeluruh, namun kumpulan data gigi dari berbagai populasi masih perlu ditambahkan kedalam *database* [33].

Selfie Forensic ID, sebuah aplikasi yang dirancang oleh Dr. Emilio Nuzzolese (2017) dengan menggunakan foto tersenyum individu dalam tujuan identifikasi. Aplikasi ini dapat didownload

pada berbagai *smartphone*, melakukan foto selfie dengan menampilkan gigi depan atas dan bawah lalu memasukkan kedalam aplikasi dengan mengisi nama, lokasi, dan negara. Ini dapat meningkatkan arsip data gigi / *database* hanya dengan metode pengambilan foto wajah tersenyum [5].

4. KESIMPULAN

Perkembangan teknologi digital dalam forensik kedokteran gigi merupakan petunjuk baru dalam menyelesaikan berbagai kasus forensik. Metodenya yang praktis, akurat, serta hemat waktu, dan tenaga, menjadikan teknologi digital ini akan memainkan peran krusial dalam tujuan forensik dimasa yang akan datang. Berbagai pendekatan teknologi digital dalam odontology forensik telah mulai dilakukan dengan tujuan memperoleh bukti forensik yang adekuat. Dalam pemilihan metodenya sendiri, dapat dipilih sesuai dengan suatu bukti *post-mortem* yang tersedia pada suatu kasus forensik.

Berbeda dengan bidang lainnya, keseragaman dan standardisasi metode-metode dalam odontology forensik ini masih sangat minim dan terbatas. Hal ini dapat dikaitkan dengan berbagai faktor seperti ketersediaan alat, dan keterbatasan biaya. Kedepannya, berbagai studi sangat disarankan untuk dilakukan terkait menguji akurasi dan presisi dari metode-metode yang telah ada agar terciptanya suatu metode / alat digital yang dapat digunakan secara *universal* dibidang odontology forensik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia yang telah membantu dan memfasilitasi dalam penulisan *literature review* ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Johnson, G. Jani, J. A. Garriga, and A. Pandey, 'Digital reconstruction of fragmented tooth remains in forensic context', *Forensic Sci Res*, vol. 7, no. 1, pp. 88–93, 2022, doi: 10.1080/20961790.2020.1737462.
- [2] R. Nagi, K. Aravinda, N. Rakesh, S. Jain, N. Kaur, and A. Mann, 'Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations', *J Forensic Dent Sci*, vol. 11, no. 1, p. 5, 2019, doi: 10.4103/jfo.jfds_55_19.
- [3] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Data Informasi Bencana Indonesia, 2020 [Internet]. Available from: <https://dibi.bnpb.go.id/>
- [4] S. Matsuda, H. Yoshida, K. Ebata, I. Shimada, and H. Yoshimura, 'Forensic odontology with digital technologies: A systematic review', *Journal of Forensic and Legal Medicine*, vol. 74. Churchill Livingstone, Aug. 01, 2020. doi: 10.1016/j.jflm.2020.102004.
- [5] P. Anuja and N. Doggalli, 'Software in forensic odontology :P Anuja, Nagabhushana Doggalli, Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry Anuja P, Doggalli N. Software in forensic odontology', 2018. [Online]. Available: www.ijmdent.com/printarticle.asp?isn=2229-6360;year=2018;volume=8;issue=2;page=94;epage=100;aust=Anuja
- [6] P. Schuller-Götzburg and J. Suchanek, 'Forensic odontologists successfully identify tsunami victims in Phuket, Thailand', *Forensic Sci Int*, vol. 171, no. 2–3, pp. 204–207, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.forsciint.2006.08.013.

- [7] M. Iino and Y. Aoki, 'The use of radiology in the Japanese tsunami DVI process', *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, vol. 4, pp. 20–26, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.jofri.2015.12.006.
- [8] R. Lain, C. Griffiths, and J. M. N. Hilton, 'Forensic dental and medical response to the Bali Bombing: A personal perspective', *Medical Journal of Australia*, vol. 179, no. 7. Australasian Medical Publishing Co. Ltd, pp. 362–365, Oct. 06, 2003. doi: 10.5694/j.1326-5377.2003.tb05594.x.
- [9] D. Errickson *et al.*, 'A survey of case studies on the use of forensic three-dimensional printing in England and Wales', *Int J Legal Med*, vol. 136, no. 6, pp. 1605–1619, Nov. 2022, doi: 10.1007/s00414-022-02872-4.
- [10] N. Giraudeau *et al.*, 'Teledentistry and forensic odontology: Cross-sectional observational comparative pilot study', *Forensic Sci Int*, vol. 326, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.forsciint.2021.110932.
- [11] 'A note on digital dental radiography in forensic odontology', doi: 10.4103/0975-1475.137072.
- [12] M. Yazdanian *et al.*, 'Dental Radiographic/Digital Radiography Technology along with Biological Agents in Human Identification', *Scanning*, vol. 2022. Hindawi Limited, 2022. doi: 10.1155/2022/5265912.
- [13] V. S. Amberkar, 'Photography in Forensic Dentistry', *Indian Journal of Forensic Odontology*, vol. 13, doi: 10.21088/ijfo.0974.505X.13120.2.
- [14] Q. nan Mou *et al.*, 'Three-dimensional superimposition of digital models for individual identification', *Forensic Sci Int*, vol. 318, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110597.
- [15] D. De Angelis, C. Cattaneo, and M. Grandi, 'Dental superimposition: A pilot study for standardising the method', *Int J Legal Med*, vol. 121, no. 6, pp. 501–506, Nov. 2007, doi: 10.1007/s00414-007-0198-y.
- [16] G. V. Reesu, S. Mânica, G. F. Revie, N. L. Brown, and P. A. Mossey, 'Forensic dental identification using two-dimensional photographs of a smile and three-dimensional dental models: A 2D-3D superimposition method', *Forensic Sci Int*, vol. 313, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110361.
- [17] L. Robinson, C. Smit, and H. Bernitz, 'Dental radiographic superimposition: An exciting addition to the forensic odontology armamentarium', *Forensic Imaging*, vol. 30, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.fri.2022.200513.
- [18] Q. nan Mou *et al.*, 'Three-dimensional superimposition of digital models for individual identification', *Forensic Sci Int*, vol. 318, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110597.
- [19] G. Jani, A. Johnson, U. Parekh, T. Thompson, and A. Pandey, 'Effective approaches to three-dimensional digital reconstruction of fragmented human skeletal remains using laser surface scanning', *Forensic Sci Int*, vol. 2, pp. 215–223, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.fsisyn.2020.07.002.
- [20] G. Fournier, F. Savall, A. Galibourg, L. Gély, N. Telmon, and D. Maret, 'Three-dimensional analysis of bitemarks: A validation study using an intraoral scanner', *Forensic Sci Int*, vol. 309, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110198.

- [21] H. Utomo, M. S. M. A. Ruth, L. G. Wangsa, R. E. Salazar-Gamarra, and L. L. Dib, 'Simple smartphone applications for superimposing 3D imagery in forensic dentistry', *Dental Journal*, vol. 53, no. 1. Universitas Airlangga, Faculty of Dental Medicine, pp. 50–56, Mar. 01, 2020. doi: 10.20473/j.djmk.v53.i1.p50-56.
- [22] M. Rajshekar *et al.*, 'The reliability and validity of measurements of human dental casts made by an intra-oral 3D scanner, with conventional hand-held digital callipers as the comparison measure', *Forensic Sci Int*, vol. 278, pp. 198–204, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.forsciint.2017.07.009.
- [23] M. L. C. Aragón, L. F. Pontes, L. M. Bichara, C. Flores-Mir, and D. Normando, 'Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: A systematic review', *European Journal of Orthodontics*, vol. 38, no. 4. Oxford University Press, pp. 429–434, Aug. 01, 2016. doi: 10.1093/ejo/cjw033.
- [24] A. A. Alselwi, M. F. Bin Khamis, and J. Y. Abdullah, 'Validity and reliability of palatal rugae morphometric assessment with 3D laser scanned models', *Braz J Oral Sci*, vol. 21, 2022, doi: 10.20396/BJOS.V21I00.8665924.
- [25] M. Kašparová, S. Halamová, T. Dostálová, and A. Procházka, 'Intra-oral 3D scanning for the digital evaluation of dental arch parameters', *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 10, Oct. 2018, doi: 10.3390/app8101838.
- [26] D. De Angelis, G. Mapelli, F. L. Mazzullo, M. T. Lorenz, and C. Cattaneo, 'Possible applications of reflected UV photography in forensic odontology: Food for thought', *Leg Med*, vol. 42, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.legalmed.2019.101641.
- [27] E. Nuzzolese, 'Virdentopsy: Virtual dental autopsy and remote forensic odontology evaluation', *Dent J (Basel)*, vol. 9, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.3390/DJ9090102.
- [28] C. Calì and E. Nuzzolese, 'The use of the Anatomage Table for improving forensic odontology education and training', *Annals of 3D Printed Medicine*, vol. 7, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.stlm.2022.100073.
- [29] 'Micro secure digital card: A novel method for denture identification', doi: 10.4103/0975-1475.137054.
- [30] G. Krishna Teja, B. L. Rao, T. S. V. Satyanarayana, T. L. G. Sravanthi, D. Padmini, and C. D. Saikumar, 'Digital Record for Removable Denture Patients', *Case Rep Dent*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/5712978.
- [31] G. V. Reesu, B. Woodsend, S. Mânica, G. F. Revie, N. L. Brown, and P. A. Mossey, 'Automated Identification from Dental Data (AutoIDD): A new development in digital forensics', *Forensic Sci Int*, vol. 309, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110218.
- [32] G. Ramesh, 'CAD/CAM: a new revolution in forensics', doi: 10.15406/frcij.2018.06.00181.
- [33] J. Martínez-Chicón and A. Valenzuela, 'Usefulness of forensic dental symbols © and dental encoder © database in forensic odontology', *J Forensic Sci*, vol. 57, no. 1, pp. 206–211, Jan. 2012, doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.01965.x.