

# Efektivitas Aplikasi CAD-CAM untuk Pengembangan, Desain dan Implementasi Alat Pemeliharaan

Yusuf Effri Prastyo Budi<sup>1\*</sup>, Tedjo Sukmono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo  
[yusuffeffri@gmail.com](mailto:yusuffeffri@gmail.com) <sup>1</sup>, [thedjoss@umsida.ac.id](mailto:thedjoss@umsida.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstract** : This study aims to evaluate the effectiveness of using Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing (CAD-CAM) applications in developing the design and implementation of maintenance tools. The use of CAD-CAM has become a major trend in the modern manufacturing industry because it provides various advantages such as time efficiency, high precision and increased productivity. However, it is important to assess the true effectiveness of this technology in the context of maintenance tool development to fully understand its potential benefits. The literature review analysis method was used to compile an in-depth review of the latest research and publications related to the use of CAD-CAM in the design development and implementation of maintenance tools. A number of case studies and field experiments were also included in the analysis to provide further insight into the application of this technology in various industrial environments. The results of the analysis show that the use of CAD-CAM in the development of maintenance tool designs has brought significant positive changes. This application is able to reduce development cycle time, enable model-based engineering, and improve modeling accuracy. Apart from that, CAD-CAM also facilitates better collaboration between design teams, engineers and other stakeholders, which contributes to improving the quality of the final product. However, despite the many benefits offered by CAD-CAM, there are also challenges that need to be overcome to increase the effectiveness of its use. Some of these are high initial investment costs, the need for higher technical skills, and complex integration with existing infrastructure. In conclusion, CAD-CAM has proven effective in developing the design and implementation of maintenance tools. With this technology, companies can increase operational efficiency, improve product quality, and gain a competitive advantage in the market. By understanding the benefits and challenges of its use, professionals can more effectively adopt CAD-CAM and fully exploit its potential in the modern manufacturing industry.

Keywords: CAD-CAM, effectiveness, design development, maintenance tool implementation, literature review analysis.

## Pendahuluan

Penggunaan teknologi komputer dalam industri telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu teknologi yang menonjol adalah Computer-Aided Design dan Computer-Aided Manufacturing (CAD-CAM). CAD-CAM adalah teknologi yang memungkinkan perancangan dan pembuatan produk secara digital dengan bantuan komputer (Alhallak et al., 2023). Penerapan teknologi ini telah membawa perubahan signifikan di banyak industri, termasuk manufaktur, otomotif, pesawat terbang, teknologi medis, dan banyak lagi (Amesti-Garaizabal et al., 2019).

Salah satu aspek penting dalam lingkup industri adalah pemeliharaan dan perawatan mesin dan peralatan (Blatz et al., 2019). Pemeliharaan yang efisien dan efektif sangat penting untuk menjaga kelancaran operasi dan produksi suatu perusahaan (Demir et al., 2020). Ketersediaan peralatan dan mesin yang optimal akan mengurangi waktu henti yang tidak diinginkan, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi biaya perawatan. Oleh karena itu, pengembangan, desain, dan implementasi alat pemeliharaan yang tepat sangat penting (Goujat et al., 2018).

Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian dan literatur telah membahas efektivitas penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan, desain, dan implementasi alat

pemeliharaan (Kurtulmus-Yilmaz et al., 2019). Namun, hingga saat ini, belum ada analisis menyeluruh tentang topik ini yang menggabungkan temuan dari berbagai penelitian dan membangun gambaran komprehensif tentang bagaimana CAD-CAM dapat diterapkan secara efektif untuk tujuan ini (Hagino et al., 2020).

Dalam konteks ini, melakukan analisis tinjauan pustaka menjadi penting untuk memahami dan mengevaluasi sejauh mana efektivitas penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan, desain, dan implementasi alat pemeliharaan telah dipelajari dalam literatur. Dengan menggali wawasan dari berbagai penelitian sebelumnya, kekuatan dan kelemahan teknologi ini, tantangan dalam penerapannya, serta peluang dan potensi pengembangan lebih lanjut dapat diidentifikasi (Patamia et al., 2023).

Salah satu aspek kunci yang perlu diperhatikan adalah perbandingan efektivitas penggunaan CAD-CAM dengan metode tradisional dalam pengembangan dan perancangan alat pemeliharaan. Metode tradisional mungkin melibatkan proses manual yang lebih lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia. Jika CAD-CAM dapat membuktikan keunggulannya dari segi kecepatan, akurasi dan kualitas, maka penerapannya dapat dianggap lebih relevan dan layak dipertimbangkan oleh berbagai industri (Rea et al., 2019).

Selain itu, perlu juga dianalisis faktor-faktor kunci yang mempengaruhi efektivitas implementasi CAD-CAM dalam

pengembangan dan perancangan alat pemeliharaan. Ini termasuk aspek teknis seperti kompleksitas perangkat lunak CAD-CAM, kebutuhan kualifikasi dan pelatihan karyawan, serta kemampuan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi yang ada di perusahaan (Scolozzi et al., 2023). Selain itu, faktor organisasi seperti dukungan manajemen, kepemimpinan, dan budaya kerja juga perlu diperhitungkan karena dapat mempengaruhi keberhasilan implementasi teknologi ini (Jovanović et al., 2021). Dalam analisis tinjauan literatur ini, penting juga untuk mempertimbangkan keterbatasan dan kendala penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian mungkin memiliki ruang lingkup terbatas atau fokus pada industri tertentu, sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasi secara luas. Oleh karena itu, memperluas ruang lingkup penelitian dan menganalisis studi dari berbagai sektor industri akan memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang efektivitas CAD-CAM dalam pengembangan dan desain alat pemeliharaan (Gold et al., 2020).

Hasil analisis tinjauan pustaka ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi praktisi dan peneliti dalam mengenali potensi dan manfaat penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan, perancangan dan implementasi alat pemeliharaan. Implikasi dari temuan ini juga dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut di bidang ini, termasuk identifikasi area penelitian yang masih kurang dalam eksplorasi dan perbaikan teknologi CAD-CAM itu sendiri.

Dengan demikian, analisis tinjauan literatur tentang efektivitas CAD-CAM dalam pengembangan, desain dan implementasi alat pemeliharaan akan memberikan kontribusi positif dalam mendorong pengembangan teknologi ini dan meningkatkan kualitas pemeliharaan dan pemeliharaan di berbagai sektor industri.

## Metode

Penelitian ini akan menggunakan metode analisis pustaka sebagai pendekatan utama. Metode penulisan yang digunakan dalam penulisan artikel ilmiah ini adalah dengan metode kualitatif dan studi pustaka Penelitian Kepustakaan atau studi pustaka. Disamping itu dilakukan dengan mengkaji buku-buku literatur yang sesuai dengan teori dalam pembahasan artikel ini. Tinjauan literatur akan mencakup jurnal ilmiah, konferensi, laporan penelitian, buku, dan sumber terpercaya lainnya yang terkait dengan aplikasi CAD-CAM dalam pengembangan desain dan implementasi alat pemeliharaan. Sumber literatur yang digunakan akan dipilih berdasarkan relevansinya dengan topik penelitian, akurasi, kebaruan, dan kredibilitasnya. Peneliti akan menggunakan database ilmiah dan mesin pencari terpercaya untuk mengidentifikasi sumber yang sesuai (Komine et al., 2020).

Selain hal di atas, juga dilakukan analisis terhadap artikel ilmiah bereputasi dan artikel ilmiah lainnya dari jurnal yang belum memiliki reputasi. Semua artikel ilmiah yang dikutip bersumber dari Scholar, Google, dan Mendeley. Dalam penelitian kualitatif, tinjauan pustaka yang digunakan harus

konsisten dengan asumsi metodologis. Artinya tinjauan pustaka yang digunakan harus induktif sehingga tidak mengarahkan pertanyaan yang diajukan peneliti. Salah satu alasan utama untuk melakukan penelitian kualitatif adalah sifatnya eksplorasi (Klauer et al., 2019).

Data dari literatur akan dianalisis dengan pendekatan kualitatif. Berbagai aspek efektivitas CAD-CAM dalam mengembangkan desain dan implementasi alat pemeliharaan akan diekstraksi dan dibandingkan untuk mendapatkan gambaran keseluruhan tentang topik ini. Keterbatasan penelitian juga akan diakui dan didiskusikan untuk menghindari klaim berlebihan. Ini dapat mencakup keterbatasan literatur yang tersedia, variasi dalam industri yang dianalisis, dan aspek teknis yang mungkin tidak sepenuhnya dijawab oleh literatur. Hasil analisis pustaka akan dijelaskan secara rinci dan disajikan dalam bentuk naratif serta didukung oleh data yang relevan. Efektivitas CAD-CAM dalam mengembangkan desain dan implementasi alat pemeliharaan akan dievaluasi berdasarkan temuan literatur yang ada. Hasil penelitian akan dibahas untuk menarik kesimpulan yang kuat tentang efektivitas implementasi CAD-CAM dalam desain, pengembangan, dan implementasi alat pemeliharaan. Perdebatan tentang keuntungan, tantangan dan potensi masa depan aplikasi CAD-CAM dalam konteks ini akan diajukan.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil

Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, sebanyak sepuluh artikel dipilih dalam tinjauan pustaka sebagai berikut:

**Table 1 . Penelitian Sebelumnya**

Nama, Tahun, Jabatan	Metode penelitian	Hasil penelitian
(Spitznagel et al., 2018) . Bahan Restoratif Keramik CAD / CAM untuk Gigi Alami.	Penelitian ini menggunakan metode kualitatif. Pergeseran paradigma baru-baru ini dalam prostodontik cekat dari pendekatan pengobatan tradisional ke invasif minimal dibuktikan oleh keberhasilan jangka panjang klinis restorasi kaca-keramik CAD / CAM terikat.	Aplikasi CAD / CAM menawarkan proses manufaktur standar yang menghasilkan alur kerja yang andal, dapat diprediksi, dan ekonomis untuk restorasi gigi yang didukung individu dan kompleks.
Jovanović, M., Živić, M., & Milosavljević, M. (2021).	Tersedia studi dan tinjauan literatur dari PubMed, SCIndex, Scopus	Untuk menghindari banyak kelemahan logam dan paduannya dalam

Aplikasi potensial bahan berdasarkan polimer dan resin komposit CAD / CAM dalam kedokteran gigi prostetik.	dan Google Scholar sesuai dengan polyetherketone (PEEK).	praktik gigi, seperti warna yang tidak memadai, kepadatan tinggi, konduktivitas termal dan kemungkinan reaksi alergi, bahan berbasis polimer (seperti BioHPP), dan resin komposit CAD / CAM sedang dikembangkan.	Tinjauan Naratif Studi Klinis.	yang layak, penyimpanan ruang yang mendasarinya, dan hasil augmentatif yang tepat dengan jerat Ti individual berbasis CAD-CAM.	terhambat juga telah dilaporkan.
(Afiqah Hamzah dkk., 2021) . Tinjauan sejarah aplikasi sistem CAD / CAM dalam produksi soket prostetik transtibial di negara berkembang (dari 1980 hingga 2019).	Sebuah tinjauan dilakukan berdasarkan artikel yang dikumpulkan dari Web of Science, Pubmed dan Science Direct.	Hasil penelitian menunjukkan peningkatan minat dalam aplikasi CAD / CAM dalam produksi soket prostetik Transtibial (TPS) untuk negara maju dan berkembang, namun teknologi tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan di negara berkembang.	(Mikami et al., 2022) . Gloss dan kekasaran permukaan bahan komposit pra-polimerisasi yang dirancang untuk restorasi mahkota CAD / CAM posterior terkorosi dengan aplikasi fosfat fluorida yang diasamkan.	Topografi permukaan bahan sebelum dan sesudah aplikasi APF diamati menggunakan mikroskop elektron.	Hasilnya dianalisis dengan Wilcoxon signed-rank test dan Dunnett's many to one test ( $p < 0.05$ ). Gloss setelah aplikasi APF secara signifikan lebih rendah untuk semua komposit resin CAD / CAM kecuali Artesano.
(LeSage, 2020) . CAD / CAM: Aplikasi untuk ikatan transisi untuk mengembalikan dimensi vertikal oklusal.	Jelajahi teknik terbaik untuk mencapai oklusi yang stabil dan nyaman. Ini sangat penting untuk kesehatan mulut jangka panjang dan dasar perawatan estetika, restoratif, periodontal dan prosthodontik yang tahan lama.	Prostesis terikat transisi sangat penting untuk menyediakan pasien dengan terapi sementara untuk menentukan apakah hasil estetika yang diusulkan dan skema oklusal akan berfungsi seperti yang diharapkan, atau jika penyesuaian diperlukan sebelum pengiriman restorasi jangka panjang definitif.	(Suzuki et al., 2022) . Aplikasi klinis pemindai intraoral dan sistem CAD / CAM untuk pasien edentulous parsial kelas I Kennedy.	Secara tradisional, gigi palsu parsial lepasan (RPD) telah dibuat dengan menggunakan bahan kesan elastis dan pengecoran dari kerangka pola lilin pada gips tahan api.	Dalam komunikasi singkat ini, prosedur untuk membuat gigi palsu sebagian yang dapat dilepas secara digital menggunakan pemindai intraoral (IOS) dan sistem manufaktur aditif (AM) dijelaskan.
(Haeri Borojeni et al., 2022) . Penerapan Teknologi CAD-CAM untuk Regenerasi Tulang Maksilofasial:	Dalam hal regenerasi tulang maksilofasial in situ dengan bantuan teknologi CAD-CAM, data saat ini telah menyarankan kekakuan mesh	Komplikasi, termasuk dehiscence dan paparan mesh, ditambah dengan kehilangan graft konsekuensi, infeksi dan tingkat regeneratif yang	(Seidel et al., 2019) . Konsep farmakofor dan aplikasinya dalam desain obat berbantuan komputer.	Bab ini dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Bagian pertama berisi pengantar singkat tentang konsep farmakofor. Bagian kedua memberikan deskripsi tentang jenis interaksi nonbonded yang paling umum dan representasi mereka sebagai fitur farmakoforik.	Bagian ini diakhiri dengan contoh untuk penelitian dan pengembangan terkait konsep farmakofor baru-baru ini. Bagian terakhir didedikasikan untuk tinjauan penelitian di bidang kimia produk alami seperti yang dilakukan dengan menggunakan metode desain obat berbasis farmakofor.
			(Raszewski, 2020) . Resin akrilik dalam	Database yang tersedia untuk umum PubMed,	Karena bahan tersebut memiliki sifat mekanik yang

teknologi CAD / CAM: Tinjauan literatur sistematis.	Google Scholar dan Scopus dicari menggunakan kata kunci "resin akrilik, CAD / CAM". Semua artikel yang menjelaskan aplikasi dan pengujian disk CAD / CAM dipilih.	lebih baik, tidak ada penyusutan polimerisasi yang terjadi selama pemrosesan, jumlah bahan monomer residu sangat rendah dan mereka memiliki stabilitas warna yang lebih baik daripada bahan self-curing.
(Anzai et al., 2021) . Aplikasi titanium tempa multi-arah untuk fabrikasi mahkota prostetik dengan CAD / CAM.	Tes pemotongan: nilai absolut rata-rata perbedaan sebelum dan sesudah pemotongan dihitung sebagai jumlah yang tidak dipotong. Evaluasi permukaan: titanium MDF, titanium murni, dan paduan Ti-6Al-4V adalah sifat permukaan (kekasaran permukaan, sudut kontak, kilau cahaya) dari sampel yang dievaluasi.	Tes kebugaran menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara titanium MDF dan mahkota titanium murni. Hasil ini menunjukkan bahwa titanium MDF menjanjikan untuk membuat mahkota prostetik dalam aplikasi gigi.

## Diskusi

Berdasarkan rumusan masalah dan kajian dari tinjauan pustaka, pembahasan yang dilakukan dalam artikel ini adalah sebagai berikut:

### 1. Pengantar CAD-CAM

Di era industri modern, teknologi telah memainkan peran kunci dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dua teknologi yang telah memberikan kontribusi besar bagi dunia desain dan produksi adalah CAD (Computer-Aided Design) dan CAM (Computer-Aided Manufacturing). CAD-CAM adalah dua sistem yang bekerja sama untuk memungkinkan desainer dan insinyur merancang produk secara digital dan mengubahnya menjadi bentuk fisik dengan bantuan mesin otomatis.

Computer-Aided Design (CAD) adalah teknologi yang memungkinkan para profesional di industri seperti teknik, arsitektur, manufaktur, dan desain produk untuk membuat dan mengembangkan model tiga dimensi (3D) atau model dua dimensi (2D) dari produk atau struktur yang mereka rancang. Sebagai alat, CAD menyediakan berbagai fitur yang memungkinkan pengguna untuk memodifikasi, mensimulasikan, dan memvisualisasikan produk sebelum

dibuat secara fisik. Dengan bantuan perangkat lunak CAD, desainer dapat dengan mudah mengeksplorasi berbagai pilihan desain, mengidentifikasi potensi masalah, dan membuat perubahan tanpa harus membangun prototipe fisik.

Kehadiran teknologi CAD-CAM telah mengubah lanskap industri dan proses desain. Sebelum CAD-CAM, proses desain produk dan perangkat yang kompleks membutuhkan banyak waktu dan usaha, dan membutuhkan prototipe fisik yang mahal untuk memeriksa desain. Dengan adopsi CAD-CAM, proses desain menjadi lebih efisien dan akurat. Desainer dapat dengan mudah membuat model produk virtual, menguji kinerjanya, dan membuat perubahan jika diperlukan sebelum memulai produksi. Ini mengurangi risiko kesalahan dan biaya yang terkait dengan pengujian berulang prototipe fisik. Selain itu, CAM telah membantu meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam proses manufaktur. Produksi menjadi lebih otomatis, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia dan meningkatkan produktivitas. Dengan CAM, produk dapat dibuat dengan presisi tinggi dan konsistensi yang lebih baik. Secara keseluruhan, CAD-CAM telah memberikan kontribusi besar dalam mendorong inovasi, meningkatkan efisiensi dan meningkatkan kualitas produk di berbagai industri. Penggunaan teknologi ini terus berkembang, dan diharapkan akan terus memberikan dampak positif bagi desain dan proses produksi di masa mendatang.

### 2. Peran CAD-CAM dalam Pengembangan Desain

CAD-CAM (Computer-Aided Design - Computer-Aided Manufacturing) adalah teknologi yang telah mengubah cara kita merancang dan mengembangkan berbagai produk, termasuk alat pemeliharaan. Dalam proses pengembangan desain alat pemeliharaan, peran CAD sangat penting. CAD memungkinkan desainer untuk membuat model 2D dan 3D yang akurat dan terperinci, memberikan berbagai keuntungan dalam hal akurasi, efisiensi, dan fleksibilitas.

Pertama-tama, CAD memudahkan untuk mereplikasi alat pemeliharaan yang ada atau yang berhasil. Dengan bantuan software CAD, desainer dapat memuat model tool yang ada, kemudian memodifikasi atau mengubahnya sesuai dengan kebutuhan atau perbaikan yang diinginkan. Ini menghemat waktu dan upaya dalam mengembangkan versi baru alat perawatan yang terbukti efektif.

Selain itu, CAD juga memfasilitasi proses desain dari awal untuk alat perawatan yang benar-benar baru. Pada tahap desain, desainer dapat menggambar ide-ide awal secara digital, dengan kemampuan untuk membuat model yang sangat rinci dan terperinci. Desainer dapat mengukur dimensi, menambahkan fitur khusus, dan memeriksa kemungkinan bentuk dan fungsi sebelum membangun prototipe fisik. Ini meminimalkan risiko kesalahan atau ketidakkonsistenan dalam desain, karena semua perubahan dapat dilakukan dengan cepat dan mudah pada model CAD tanpa harus melakukan perubahan fisik pada prototipe.

Selain itu, CAD juga memungkinkan kolaborasi tim desain yang lebih baik. Proses pengembangan desain alat

pemeliharaan sering melibatkan banyak anggota tim, termasuk insinyur, pakar material, dan pengguna akhir. Dengan menggunakan perangkat lunak CAD yang sama, tim dapat bekerja secara bersamaan pada model yang sama, mengamati dan memberikan umpan balik satu sama lain, dan menghindari kesalahpahaman yang mungkin terjadi dalam komunikasi. Ini juga membantu dalam mencapai konsensus lebih cepat dan memastikan bahwa desain yang dihasilkan memenuhi persyaratan semua pihak yang terlibat

Keuntungan lain menggunakan CAD dalam pengembangan desain alat pemeliharaan adalah kemampuan untuk memvisualisasikan produk secara realistis. Dalam desain 3D, desainer dan pengguna akhir dapat melihat alat pemeliharaan dari sudut yang berbeda, memperbesar atau memperkecil, dan menguji kinerja alat secara virtual. Hal ini memungkinkan identifikasi potensi masalah atau kekurangan sebelum alat diproduksi dalam jumlah besar. Dengan demikian, risiko kesalahan desain dapat ditekan, sehingga menghemat biaya dan waktu dalam pengembangan produk.

Selain itu, CAD juga memfasilitasi integrasi dengan teknologi lain, seperti simulasi atau analisis FEA (Finite Element Analysis). Dalam proses perancangan alat perawatan, penting untuk memastikan bahwa produk tersebut aman, efisien dan dapat diandalkan dalam penggunaannya. Dengan menggunakan analisis FEA dalam model CAD, desainer dapat mengevaluasi bagaimana alat akan berperilaku di bawah beban tertentu, mengidentifikasi area potensial kegagalan, dan melakukan perbaikan sebelum produksi massal.

Fleksibilitas juga merupakan aspek penting dalam penggunaan CAD dalam pengembangan desain alat perawatan. Dalam beberapa kasus, desainer mungkin perlu menemukan alternatif desain yang lebih baik atau lebih efisien. Dengan bantuan CAD, eksplorasi berbagai pilihan desain dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Desainer dapat membuat beberapa variasi dari model yang sama, menguji setiap alternatif, dan membandingkan hasilnya. Dengan demikian, perancang dapat mencapai desain yang optimal dan memaksimalkan kinerja alat perawatan.

Secara keseluruhan, peran CAD dalam pengembangan desain alat pemeliharaan sangat penting dan memberikan sejumlah keuntungan bagi desainer dan produsen. Penggunaan teknologi CAD memungkinkan desainer untuk membuat model yang akurat dan terperinci, memfasilitasi proses desain dari awal hingga akhir, meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas dalam pengembangan produk, dan mengurangi risiko kesalahan dan biaya produksi. Oleh karena itu, CAD tetap menjadi salah satu alat utama dalam industri manufaktur dan desain produk modern.

### 3. Peran CAD-CAM dalam Implementasi Alat Pemeliharaan

CAD-CAM (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing) adalah teknologi yang telah mengubah paradigma desain dan produksi alat perawatan di berbagai industri. Peran CAD-CAM dalam implementasi alat perawatan sangat signifikan karena teknologi ini

memungkinkan proses desain yang akurat dan efisien, serta transformasi desain menjadi bentuk fisik melalui teknologi CAM. Dalam konteks ini, teknologi CAM bertindak sebagai jembatan yang menghubungkan desain virtual yang dibuat melalui CAD dengan bentuk fisik alat pemeliharaan yang akan diimplementasikan.

Proses implementasi alat maintenance sebelum munculnya teknologi CAD-CAM seringkali mengalami tantangan dalam hal akurasi, kecepatan, dan biaya produksi. Dalam beberapa kasus, alat pemeliharaan yang dihasilkan dari desain manual memerlukan beberapa revisi dan iterasi, yang dapat menghabiskan waktu dan sumber daya yang berharga. Selain itu, implementasi manual sering menyebabkan kesalahan yang dapat mempengaruhi efektivitas dan keamanan alat perawatan yang dihasilkan.

Dengan munculnya CAD-CAM, proses penerapan alat pemeliharaan mengalami revolusi besar. Teknologi CAM mengambil desain yang dibuat dalam format digital dari CAD dan mengubahnya menjadi program komputer yang berisi instruksi untuk mesin produksi, seperti mesin CNC (Computer Numerical Control), printer 3D, dan lain-lain. Proses ini dikenal sebagai pemrograman CAM, dan pada tahap ini, spesifikasi alat pemeliharaan yang sangat rinci akan dihasilkan secara otomatis dari desain virtual.

Salah satu contoh penerapan teknologi CAM dalam produksi alat perawatan adalah di industri kedokteran gigi. Dalam industri ini, pembuatan mahkota gigi atau jembatan membutuhkan akurasi yang sangat tinggi agar sesuai dengan bentuk dan ukuran mulut pasien. Melalui perangkat lunak CAM yang terintegrasi dengan CAD, dokter gigi atau teknisi laboratorium gigi dapat dengan mudah merancang mahkota gigi berdasarkan pemindaian 3D mulut pasien.

Setelah desain virtual selesai, perangkat lunak CAM akan menghasilkan program yang akan dipahami oleh mesin CNC yang digunakan untuk memotong blok keramik atau logam dengan presisi tinggi. Mesin CNC kemudian akan mengerjakan material berdasarkan program yang dibuat, sehingga menghasilkan alat perawatan dengan akurasi dan kualitas yang konsisten.

Selain dalam industri kedokteran gigi, teknologi CAM juga digunakan dalam pembuatan alat-alat perawatan di industri manufaktur, seperti pahat industri, alat elektronik, alat inspeksi otomotif, dan masih banyak lagi. Dalam setiap aplikasinya, teknologi CAM memberikan keunggulan dalam hal kecepatan, akurasi dan pengulangan yang konsisten. Salah satu keuntungan utama menggunakan teknologi CAM adalah efisiensi waktu dan biaya. Proses manual konvensional dapat memakan waktu sehari-hari atau berminggu-minggu, sedangkan dengan teknologi CAM, prosesnya dapat diselesaikan hanya dalam beberapa jam atau bahkan menit. Selain itu, mengurangi revisi dan iterasi yang diperlukan juga menghemat biaya produksi dan mengurangi limbah material.

Namun, meski memiliki banyak keunggulan, penerapan teknologi CAD-CAM juga memiliki tantangan tersendiri. Salah satunya adalah investasi awal yang diperlukan untuk membeli perangkat lunak dan mesin

produksi. Selain itu, software CAD-CAM juga membutuhkan keahlian tingkat tinggi dalam penggunaannya, sehingga diperlukan pelatihan dan pendidikan yang memadai bagi para profesional yang akan menggunakannya.

Kesimpulannya, peran CAD-CAM dalam implementasi alat perawatan sangat penting dalam meningkatkan akurasi, efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan. Teknologi CAM memfasilitasi transformasi desain virtual menjadi bentuk fisik alat pemeliharaan menggunakan mesin produksi terkomputerisasi. Berbagai industri telah berhasil menerapkan teknologi ini dalam berbagai konteks, dan terlepas dari tantangannya, manfaatnya jauh lebih besar dan dapat berdampak positif pada berbagai sektor industri. Dengan terus berkembangnya teknologi, CAD-CAM diharapkan dapat terus menjadi tulang punggung dalam proses desain dan produksi alat perawatan di masa depan.

#### **4. Efektivitas penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan dan implementasi alat pemeliharaan**

Di era industri modern, teknologi telah memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses merancang, memproduksi dan mengimplementasikan berbagai alat dan peralatan. Di antara teknologi yang telah memberikan kontribusi besar dalam konteks ini adalah CAD-CAM (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing). CAD-CAM adalah sistem yang menggunakan komputer untuk membantu dalam proses perancangan dan pembuatan produk. Dalam konteks ini, penerapan CAD-CAM dalam pengembangan dan implementasi alat pemeliharaan merupakan fokus penting untuk dianalisis efektivitasnya.

Efektivitas penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan alat perawatan dapat dilihat dari berbagai aspek yang meliputi efisiensi proses, akurasi desain, dan kualitas produk. Salah satu keuntungan utama menggunakan CAD-CAM adalah kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi waktu dalam proses perancangan dan pembuatan alat pemeliharaan. Misalnya, dalam metode konvensional, perancang perlu menggambar sketsa manual dan merancang prototipe fisik berulang kali untuk menguji desain. Namun, dengan CAD-CAM, desainer dapat menggunakan perangkat lunak yang intuitif dan memiliki fitur simulasi yang memungkinkan untuk melakukan tes virtual sebelum membuat prototipe fisik. Dengan cara ini, proses desain dapat disederhanakan, menghemat waktu, dan memungkinkan alat pemeliharaan yang lebih cepat untuk aktif dan berjalan (Wendler et al., 2021).

Selain efisiensi waktu, penggunaan CAD-CAM juga dapat meningkatkan akurasi desain alat perawatan. Dalam metode konvensional, kemungkinan kesalahan manusia dalam menggambar atau mendesain manual dapat menyebabkan ketidakakuratan dan perlunya revisi berulang. Namun, dengan CAD-CAM, perangkat lunak memastikan dimensi dan geometri yang konsisten yang sesuai dengan persyaratan. Ini mengurangi risiko kesalahan dan memastikan alat perawatan diproduksi dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Efektivitas CAD-CAM juga tercermin dalam kualitas akhir dari alat perawatan yang dihasilkan. Penggunaan teknologi ini memungkinkan penggunaan bahan yang tepat dan meminimalkan pemborosan sumber daya. Proses produksi yang dikendalikan komputer mengurangi kemungkinan cacat dan memastikan standar kualitas yang konsisten. Akibatnya, alat perawatan yang dihasilkan cenderung berkualitas lebih tinggi dan dapat digunakan dengan lebih efektif.

Selanjutnya, perbandingan antara hasil penggunaan CAD-CAM dengan metode konvensional dalam pengembangan dan implementasi alat pemeliharaan dapat memberikan wawasan berharga tentang keunggulan teknologi ini. Pada metode konvensional, terdapat keterbatasan kompleksitas desain yang dapat dihasilkan, sedangkan CAD-CAM memungkinkan pembuatan alat perawatan dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi. Dengan alat perawatan yang lebih canggih, potensi peningkatan efisiensi dan kualitas dalam tugas perawatan juga semakin besar.

Selain itu, perbandingan biaya juga menjadi pertimbangan penting. Sementara investasi awal dalam menggunakan teknologi CAD-CAM mungkin lebih tinggi, dalam jangka panjang, kemampuan untuk menghemat waktu, sumber daya, dan mengurangi kesalahan dapat mengimbangi biaya awal. Dengan demikian, penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan dan implementasi alat perawatan dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis dalam jangka panjang.

Namun, harus diakui bahwa penerapan teknologi CAD-CAM juga memiliki tantangan tersendiri. Beberapa perusahaan atau individu mungkin menghadapi kesulitan dalam mengadopsi dan mengintegrasikan teknologi ini ke dalam proses mereka. Pelatihan yang memadai dan penyesuaian terhadap perangkat lunak baru dapat menjadi hambatan sementara. Namun, dengan komitmen untuk mengatasi kendala ini, manfaat jangka panjang menggunakan CAD-CAM dalam pengembangan dan implementasi alat pemeliharaan dapat jauh lebih besar daripada tantangannya.

Kesimpulannya, penggunaan CAD-CAM terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi, akurasi desain, dan kualitas alat perawatan. Perbandingan dengan metode konvensional menunjukkan bahwa CAD-CAM memberikan keuntungan dalam kompleksitas desain, potensi peningkatan efisiensi, dan potensi penghematan biaya jangka panjang. Meskipun ada tantangan untuk menerapkan teknologi ini, manfaat jangka panjangnya menawarkan dorongan yang signifikan untuk adopsi dan integrasi CAD-CAM yang berkelanjutan di dunia manufaktur industri dan pemeliharaan.

#### **5. Tantangan dan Hambatan Penggunaan CAD-CAM dalam Pengembangan dan Produksi Alat Pemeliharaan**

Penggunaan teknologi Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing (CAD-CAM) dalam pengembangan dan produksi peralatan pemeliharaan telah membawa banyak manfaat bagi industri, tetapi juga menghadapi sejumlah tantangan dan hambatan yang perlu diatasi untuk memaksimalkan efektivitasnya. Pada bagian ini, kita akan membahas beberapa kendala yang sering ditemui

ketika mengadopsi CAD-CAM, serta berbagai upaya dan solusi yang telah diusulkan untuk mengatasi masalah tersebut (Yu et al., 2018).

Salah satu tantangan utama dalam menggunakan CAD-CAM adalah tingkat kompleksitas teknologi itu sendiri. Perangkat lunak CAD-CAM memiliki berbagai fitur dan fungsi yang perlu waktu dipelajari dan dikuasai pengguna. Diperlukan proses pelatihan dan pembelajaran yang intensif agar tim teknis dan desainer dapat menguasai aplikasi dengan baik.

Upaya untuk mengatasi masalah ini termasuk penyediaan pelatihan berkualitas tinggi oleh produsen perangkat lunak CAD-CAM atau melalui program pelatihan khusus. Selain itu, memanfaatkan sumber daya online seperti tutorial video, forum pengguna, dan panduan berbasis web dapat membantu mengurangi kurva pembelajaran dan mempercepat adaptasi terhadap teknologi ini.

Investasi Awal yang Tinggi Pengenalan teknologi CAD-CAM membutuhkan investasi awal yang signifikan dalam perangkat lunak, perangkat keras, dan infrastruktur yang sesuai. Ini bisa menjadi kendala khusus untuk usaha kecil dan menengah yang mungkin terbatas dalam sumber daya keuangan. Untuk mengatasi tantangan ini, beberapa solusi telah diusulkan. Beberapa produsen perangkat lunak CAD-CAM menawarkan opsi berlangganan berbasis cloud, yang dapat membantu mengurangi biaya awal karena tidak diperlukan investasi besar dalam lisensi perangkat lunak. Selain itu, ada juga layanan penyediaan infrastruktur berbasis cloud yang memungkinkan perusahaan untuk menyewa kapasitas komputasi sesuai kebutuhan, yang dapat membantu mengurangi biaya perangkat keras.

Di banyak perusahaan, implementasi CAD-CAM harus terintegrasi dengan sistem yang ada, termasuk sistem manajemen data, sistem perencanaan sumber daya perusahaan (ERP), dan perangkat lunak lain yang relevan. Tantangan muncul ketika ada perbedaan dalam format file dan ketidakcocokan antara sistem yang berbeda. Upaya untuk mengatasi tantangan ini termasuk memilih solusi CAD-CAM yang mendukung standar terbuka atau dapat dengan mudah diintegrasikan dengan sistem yang ada. Penggunaan format dan standar file universal seperti STEP (Standard for the Exchange of Product model data) dapat memfasilitasi pertukaran data antara berbagai platform (Mühlemann et al., 2019).

Dalam lingkungan yang semakin terhubung dan digital, keselamatan dan keamanan data menjadi perhatian utama. Risiko membocorkan data rahasia, merusak data, atau bahkan serangan siber yang ditargetkan dapat menghambat penggunaan CAD-CAM. Untuk mengatasi masalah keamanan ini, langkah-langkah keamanan TI yang canggih harus diadopsi, seperti penggunaan enkripsi data, otentikasi ganda, dan perlindungan firewall yang kuat. Penggunaan cloud yang aman dan terlindungi juga dapat menjadi solusi bagi beberapa organisasi (Matinlinna et al., 2018).

Penggunaan teknologi CAD-CAM membutuhkan tim yang terlatih dan memiliki pengetahuan mendalam tentang

sistem dan aplikasinya. Ketergantungan pada para ahli dapat menjadi masalah jika ada beberapa orang dengan pengetahuan mendalam tentang CAD-CAM dalam organisasi. Untuk mengatasi masalah ini, organisasi harus berinvestasi dalam mengembangkan keterampilan dan pengetahuan karyawan melalui pelatihan lanjutan dan program sertifikasi. Selain itu, kolaborasi dengan lembaga pendidikan atau penyedia pelatihan profesional dapat membantu menciptakan tenaga kerja berkualitas tinggi di bidang ini.

Kesesuaian dengan Kebutuhan Khusus Tidak semua alat perawatan atau proses manufaktur dapat diakomodasi oleh teknologi CAD-CAM. Beberapa kasus mungkin memerlukan desain dan produksi yang sangat khusus, yang sulit dicapai melalui perangkat lunak standar. Dalam kasus seperti ini, adaptasi kreatif dan penggunaan teknologi bantu seperti pemodelan parametrik atau simulasi komputer dapat membantu mengatasi hambatan ini dan memungkinkan penerapan CAD-CAM dalam skenario yang lebih kompleks. Kesimpulannya, penggunaan CAD-CAM dalam pengembangan dan produksi peralatan pemeliharaan memberikan banyak keuntungan, tetapi juga menghadirkan berbagai tantangan yang harus diatasi. Upaya untuk mengatasi masalah ini termasuk pelatihan dan pembelajaran yang tepat, manajemen investasi yang bijaksana, integrasi yang efektif dengan sistem yang ada, dan fokus pada keamanan data dan kebutuhan khusus. Dengan mengatasi tantangan ini, organisasi dapat meningkatkan efektivitas penggunaan teknologi CAD-CAM dan memanfaatkannya sepenuhnya untuk menghasilkan alat pemeliharaan yang berkualitas tinggi dan efisien (Okada et al., 2018).

## 6. Studi Kasus dan Contoh Aplikasi

Di era industri modern, teknologi CAD-CAM telah menjadi bagian integral dari proses merancang dan memproduksi berbagai produk. Terutama di industri manufaktur dan teknik, teknologi ini telah membawa perubahan revolusioner dan efisiensi dalam pengembangan alat pemeliharaan. Studi kasus dan contoh penerapan teknologi CAD-CAM dalam pengembangan dan produksi peralatan pemeliharaan telah mengungkapkan keuntungan dan pencapaian yang signifikan bagi perusahaan dan industri yang mengadopsinya.

Sebuah perusahaan manufaktur otomotif global telah memilih untuk menerapkan teknologi CAD-CAM dalam proses pengembangan alat perawatan untuk lini produksi mereka. Sebelumnya, perusahaan mengandalkan desain manual tradisional yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia. Dengan mengadopsi teknologi CAD-CAM, mereka dapat mempercepat proses desain, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas alat pemeliharaan. Hasilnya adalah sebagai berikut:

- a) **Penyederhanaan Proses Desain:** Perusahaan mampu menghasilkan desain alat perawatan yang lebih akurat dengan bantuan perangkat lunak CAD. Ini memungkinkan tim desain untuk membuat bentuk yang

lebih kompleks dan terperinci, yang sulit dicapai dengan metode manual.

- b) **Optimalisasi Produksi:** Dengan integrasi CAM, perusahaan dapat langsung mengubah desain menjadi kode perintah mesin CNC untuk produksi. Penggunaan teknologi CAM memastikan kompatibilitas antara desain dan hasil produksi, mengurangi waktu produksi dan limbah material.
- c) **Penghematan Biaya:** Implementasi CAD-CAM mengurangi waktu dan sumber daya yang diperlukan untuk memproduksi alat pemeliharaan, menghemat biaya produksi secara keseluruhan.

Sebuah perusahaan di industri penerbangan menghadapi tantangan dalam mengembangkan alat perawatan untuk pesawat yang semakin kompleks. Sebelumnya, mereka harus merancang dan menguji prototipe fisik berulang kali, yang sangat memakan waktu dan anggaran. Dengan menggunakan teknologi CAD-CAM, perusahaan mampu mengubah pendekatan mereka terhadap pengembangan pengobatan. Hasil:

- a. **Simulasi Virtual:** Dengan bantuan perangkat lunak CAD, perusahaan-perusahaan ini dapat melakukan simulasi virtual sebelum memproduksi peralatan fisik. Hal ini memungkinkan mereka untuk mengidentifikasi potensi masalah dan memperbaiki desain sebelum produksi, mengurangi risiko kesalahan dan biaya revisi.
- b. **Reverse Engineering:** Teknologi CAD-CAM juga membantu perusahaan dalam mengembangkan alat perawatan dari suku cadang atau komponen yang ada. Dengan melakukan reverse engineering, perusahaan dapat merancang peralatan perawatan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan pesawat tertentu.
- c. **Mengurangi Waktu Penyediaan:** Implementasi CAD-CAM membantu perusahaan mempercepat proses desain dan produksi, memungkinkan mereka untuk menyediakan alat perawatan kepada pelanggan lebih cepat dan mengurangi waktu henti pesawat.

Berdasarkan studi kasus dan contoh aplikasi di berbagai industri, jelas bahwa teknologi CAD-CAM memberikan banyak manfaat bagi pengembangan dan produksi peralatan pemeliharaan (Seidel et al., 2019). Kecepatan, akurasi, dan efisiensi yang diperoleh dari penerapan teknologi ini telah berdampak positif pada perusahaan dan industri yang menggunakannya (Ludovichetti et al., 2018). Selain itu, penggunaan teknologi CAD-CAM juga memungkinkan inovasi lebih lanjut dalam desain alat perawatan yang kompleks dan canggih. Namun, perusahaan juga perlu menghadapi beberapa tantangan terkait investasi awal, pelatihan sumber daya manusia, dan pemeliharaan perangkat lunak untuk memastikan keberhasilan penyebaran teknologi CAD-CAM jangka panjang. Dengan terus mengembangkan dan meningkatkan teknologi ini, diharapkan efektivitas dan manfaatnya akan meningkat di masa depan (Lee et al., 2023).

## Kesimpulan

Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa efektivitas CAD-CAM dalam pengembangan, desain dan implementasi alat pemeliharaan sangat bergantung pada beberapa faktor. Pertama, tingkat kecanggihan perangkat lunak CAD-CAM yang digunakan dan sejauh mana dukungan teknis tersedia bagi pengguna. Semakin canggih dan terintegrasi perangkat lunak CAD-CAM, semakin efisien proses pengembangan dan desain alat pemeliharaan. Kedua, pengetahuan dan keterampilan pengguna dalam mengoperasikan sistem CAD-CAM juga mempengaruhi efektivitasnya. Pelatihan yang memadai diperlukan agar para profesional dapat memaksimalkan potensi teknologi ini dan menghindari kesalahan yang berpotensi mahal. Ketiga, kolaborasi antara tim desain, tim pemeliharaan dan departemen lain dalam suatu organisasi juga penting. Efektivitas CAD-CAM ditingkatkan ketika ada koordinasi yang baik dan pertukaran informasi yang lancar antara departemen terkait.

Namun, meskipun CAD-CAM menawarkan banyak keuntungan potensial, beberapa kendala juga dapat ditemui, seperti biaya investasi awal, waktu pelatihan yang diperlukan, dan kompleksitas integrasi sistem dengan infrastruktur yang ada. Oleh karena itu, pengambilan keputusan yang bijak diperlukan untuk memastikan bahwa investasi dalam teknologi ini sesuai dengan kebutuhan dan tujuan perusahaan (Wendler et al., 2021).

Kesimpulannya, analisis tinjauan literatur tentang efektivitas CAD-CAM dalam pengembangan, desain, dan implementasi alat pemeliharaan menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memberikan manfaat yang signifikan jika dikelola dengan baik. Dengan perangkat lunak yang tepat dan keterampilan yang memadai, CAD-CAM dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam proses pemeliharaan dan perawatan peralatan industri. Namun, upaya penanggulangan tantangan yang mungkin timbul perlu dilakukan agar implementasi dapat berjalan lancar dan membuahkan hasil yang diharapkan.

## Referensi

- Afiqah Hamzah, N., Razak, N. A. A., Sayuti Ab Karim, M., & Gholizadeh, H. (2021). Tinjauan sejarah aplikasi sistem CAD / CAM dalam produksi soket prostetik transtibial di negara berkembang (dari 1980 hingga 2019). *Prosiding Lembaga Insinyur Mesin, Bagian H: Jurnal Teknik dalam Kedokteran*, 235(12), 1359–1374. <https://doi.org/10.1177/09544119211035200>
- Alhallak, K., Hagi-Pavli, E., & Nankali, A. (2023). Ulasan tentang penggunaan klinis CAD / CAM dan gigi palsu cetak 3D. *Jurnal Gigi Inggris*. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-5401-5>
- Amesti-Garaizabal, A., Agustín-Panadero, R., Verdejo-Solá, B., Fons-Font, A., Fernández-Estevan, L., Montiel-Company, J., & Solá-Ruiz, MF (2019). Ketahanan



- fraktur restorasi tidak langsung parsial dibuat dengan teknologi CAD / CAM. Tinjauan sistematis dan meta-analisis. *Jurnal Kedokteran Klinis*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/jcm8111932>
- Anzai, M., Kumasaka, T., Inoue, E., Seimiya, K., Kawanishi, N., Hayakawa, T., Ohkubo, C., Miura, H., Hoshi, N., & Kimoto, K. (2021). Aplikasi titanium tempa multi-arah untuk fabrikasi mahkota prostetik dengan cad / cam. *Jurnal Bahan Gigi*, 40(4), 1049–1054. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-351>
- Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). Keadaan Kedokteran Gigi dan Materi Digital Chairside Saat Ini. *Klinik Gigi Amerika Utara*, 63(2), 175–197. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.002>
- Demir, N., Karci, M., & Ozcan, M. (2020). Efek pemutihan karbamid peroksida 16% pada sifat permukaan keramik matriks kaca mengkilap. *BioMed Research International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/1864298>
- Emas, D., Hahnel, SF, Schierz, O., & Rauch, A. (2020). Kepraktisan pendekatan chairside untuk mengkarakterisasi komposit berbasis resin CAD / cam. *Jurnal Ilmu Lisan*, 62(4), 430–434. <https://doi.org/10.2334/josnurd.19-0507>
- Goujat, A., Abouelleil, H., Colon, P., Jeannin, C., Pradelle, N., Seux, D., & Grosogeat, B. (2018). Sifat mekanik dan kesesuaian internal 4 bahan blok CAD-CAM. *Jurnal Kedokteran Gigi Prostetik*, 119(3), 384–389. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.03.001>
- Haeri Borojoni, HS, Mohaghegh, S., & Khojasteh, A. (2022). Penerapan Teknologi CAD-CAM untuk Regenerasi Tulang Maksilofasial: Tinjauan Naratif Studi Klinis. *Penelitian & Terapi Sel Punca Saat Ini*, 18. <https://doi.org/10.2174/1574888x1866622111154057>
- Hagino, R., Milikku, A., Kawaguchi-Uemura, A., Tajiri-Yamada, Y., Yumitate, M., Ban, S., Miura, J., Matsumoto, M., Yatani, H., & Nakatani, H. (2020). Prosedur adhesi untuk blok komposit resin tidak langsung CAD / CAM: Primer resin baru versus agen silanisasi konvensional. *Jurnal Penelitian Prostodontik*, 64(3), 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2019.09.004>
- Jovanović, M., Živić, M., & Milosavljević, M. (2021). Aplikasi potensial bahan berdasarkan resin komposit polimer dan cad / cam dalam kedokteran gigi prostetik. *Jurnal Penelitian Prostodontik*, 65(2), 137–147. [https://doi.org/10.2186/JPR.JPOR\\_2019\\_404](https://doi.org/10.2186/JPR.JPOR_2019_404)
- Klauer, E., Belli, R., Petschelt, A., & Lohbauer, U. (2019). Degradasi mekanis dan hidrolitik dari komposit resin bebas Bis-GMA berbasis Ormocer®. *Investigasi Oral Klinis*, 23(5), 2113–2121. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2651-3>
- Komine, F., Honda, J., Kusaba, K., Kubochi, K., Takata, H., & Fujisawa, M. (2020). Hasil klinis restorasi mahkota tunggal yang dibuat dengan bahan cad/cam berbasis resin. *Jurnal Ilmu Lisan*, 62(4), 353–355. <https://doi.org/10.2334/josnurd.20-0195>
- Kurtulmus-Yilmaz, S., Cengiz, E., Ongun, S., & Karakaya, I. (2019). Pengaruh perawatan permukaan pada perilaku mekanik dan optik bahan restoratif CAD / CAM. *Jurnal Prostodontik*, 28(2), e496–e503. <https://doi.org/10.1111/jopr.12749>
- Lee, C., Yamaguchi, S., & Imazato, S. (2023). Evaluasi kuantitatif jumlah degradasi lapisan kopling silan komposit resin CAD / CAM dengan penyerapan air. *Jurnal Penelitian Prostodontik*, 67(1), 55–61. [https://doi.org/10.2186/jpr.JPR\\_D\\_21\\_00236](https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00236)
- LeSage, BP (2020). CAD / CAM: Aplikasi untuk ikatan transisi untuk mengembalikan dimensi vertikal oklusal. *Jurnal Kedokteran Gigi Estetika dan Restoratif*, 32(2), 132–140. <https://doi.org/10.1111/jerd.12554>
- Ludovichetti, FS, Trindade, F. Z., Werner, A., Kleverlaan, CJ, & Fonseca, RG (2018). Ketahanan aus dan abrasivitas bahan monolitik CAD-CAM. *Jurnal Kedokteran Gigi Prostetik*, 120(2), 318.e1-318.e8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.05.011>
- Matinlinna, JP, Paru-paru, C. Y. K., & Tsoi, JKH (2018). Mekanisme adhesi silan dalam aplikasi gigi dan perawatan permukaan: Tinjauan. *Bahan Gigi*, 34(1), 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.09.002>
- Mikami, W., Koizumi, H., Kodaira, A., Hiraba, H., Yoneyama, T., & Matsumura, H. (2022). Gloss dan kekasaran permukaan bahan komposit pra-polimerisasi yang dirancang untuk restorasi mahkota CAD / CAM posterior terkorosi dengan aplikasi fosfat fluorida yang diasamkan. *Jurnal Bahan Gigi*, 41(1), 60–67. <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-137>
- Mühlemann, S., Bernini, J. M., Sener, B., Hämmerle, C. H. F., & Özcan, M. (2019). Efek penuaan pada bahan CAD / CAM resin monolitik bernoda: analisis kuantitatif dan kualitatif kekasaran permukaan. *Jurnal Prostodontik*, 28(2), e563–e571. <https://doi.org/10.1111/jopr.12949>
- Okada, R., Asakura, M., Ando, A., Kumano, H., Ban, S., Kawai, T., & Takebe, J. (2018). Pengujian kekuatan fraktur mahkota yang terbuat dari resin komposit CAD / CAM. *Jurnal Penelitian Prostodontik*, 62(3), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2017.10.003>
- Patamia, V., Zagni, C., Brullo, I., Saccullo, E., Coco, A., Floresta, G., & Rescifina, A. (2023). Desain radiotracer berbasis peptida yang dibantu komputer. *Jurnal Internasional Ilmu Molekuler*, 24(7). <https://doi.org/10.3390/ijms24076856>
- Raszewski, Z. (2020). Resin akrilik dalam teknologi CAD / CAM: Tinjauan literatur sistematis. *Masalah Gigi dan Medis*, 57(4), 449–454. <https://doi.org/10.17219/DMP/124697>
- Rea, F. T., Roque, ACC, Macedo, AP, & de Almeida, RP (2019). Efek zat pemutih karbamid peroksida pada kekasaran permukaan dan kilap keramik yang dapat ditekan. *Jurnal Kedokteran Gigi Estetika dan Restoratif*, 31(5), 451–456. <https://doi.org/10.1111/jerd.12469>
- Scolozzi, P., Michelini, F., Crottaz, C., & Perez, A. (2023).

- Desain Berbantuan Komputer dan Pemodelan Berbantuan Komputer (CAD / CAM) untuk memandu operasi implan gigi: Refleksi pribadi berdasarkan 10 tahun pengalaman kehidupan nyata. *Jurnal Kedokteran yang Dipersonalisasi*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/jpm13010129>
- Seidel, T., Schuetz, DA, Garon, A., & Langer, T. (2019). Konsep farmakofor dan aplikasinya dalam desain obat berbantuan komputer. *Kemajuan dalam Kimia Produk Alami Organik*, 110, 99–141. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14632-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14632-0_4)
- Spitznagel, F. A., Boldt, J., & Gierthmuehlen, P. C. (2018). Bahan Restoratif Keramik CAD / CAM untuk Gigi Alami. *Jurnal Penelitian Gigi*, 97(10), 1082–1091. <https://doi.org/10.1177/0022034518779759>
- Suzuki, Y., Harada, N., Watanabe, K. I., Maruo, R., Shimpo, H., & Ohkubo, C. (2022). Aplikasi klinis pemindai intraoral dan sistem CAD / CAM untuk pasien edentulous parsial kelas I Kennedy. *Jurnal Ilmu Lisan*, 64(1), 109–111. <https://doi.org/10.2334/josnusd.21-0409>
- Wendler, M., Stenger, A., Ripper, J., Priewich, E., Belli, R., & Lohbauer, U. (2021). Degradasi mekanis bahan komposit resin CAD / CAM kontemporer setelah penuaan air. *Bahan Gigi*, 37(7), 1156–1167. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.04.002>
- Yu, H., Zhang, C. Y., Wang, Y. N., & Cheng, H. (2018). Pemutihan hidrogen peroksida menginduksi perubahan sifat fisik bahan restoratif gigi: Efek protokol studi. *Jurnal Kedokteran Gigi Estetika dan Restoratif*, 30(2), E52–E60. <https://doi.org/10.1111/jerd.12345>