

BAB 2

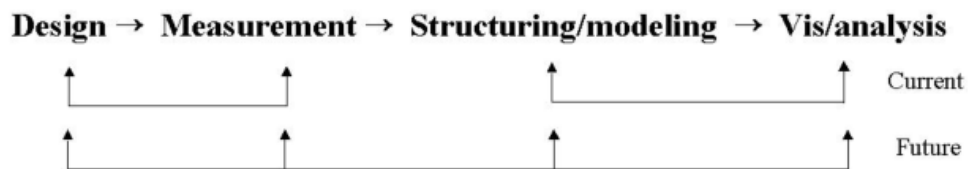
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sub bab ini menjelaskan tentang perbandingan penelitian yang sudah dilakukan dahulu dengan penelitian terbaru di masa sekarang, dimana referensi yang digunakan adalah penelitian yang berfokus pada perancangan dan pengembangan desain CAD dengan metode RE merubah *point cloud* yang sudah diubah kedalam bentuk *mesh* menjadi *surface model* untuk *orthotic insole* dan *pad*.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Fabio (2003), ditemukan bahwa data *point cloud* yang tidak beraturan dari hasil *laser scan* atau *photogrammetric* mengakibatkan akurasi dan presisi pada *surface model* menjadi sulit didapat. Berbagai metode sudah dilakukan untuk membuat *triangular mesh* yang saling terhubung dan tertutup rapat membentuk *surface model* dari *point cloud* (Menci, 2001). Salah satu metode yang dibahas dalam penelitian Fabio, dkk. dan termasuk dalam metode yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *photogrammetric reconstruction and modelling process*. Proses dalam metode ini dipaparkan oleh Gruen (2002) pada Gambar 2.1. sebagai berikut:

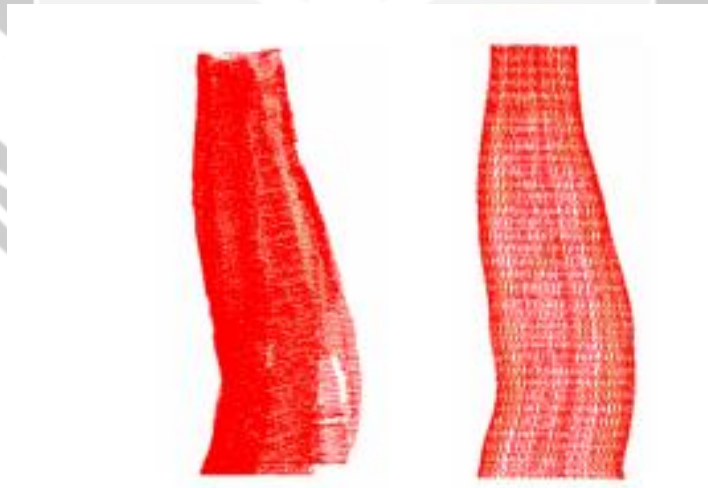


Gambar 2.1. Proses *Photogrammetric* (Gruen, 2002).

Design diartikan sebagai tahap *scanning* dengan sensor dan jaringan geometri pada *photogrammetric*, *measurements* sebagai tahap mendapat data *point cloud*, *lines*. Selanjutnya, *Structuring/modelling* merupakan tahap pembuatan *surface model* dan *visualization/analysis* sebagai tahap hasil akhir model. Jurnal ini menyebutkan pada tahap *measurements* dimungkinkan untuk menggunakan prosedur otomatis, dan menghasilkan *point cloud* yang padat dan berjumlah banyak, namun dibutuhkan pemeriksaan data pasca pemrosesan karena adanya ketidakcocokan dari algoritma hasil *scanning*, titik yang tidak relevan dan kemungkinan bagian yang hilang pada hasil *photogrammetric* otomatis.

Jika pengukuran dilakukan dengan manual atau semi otomatis, kemungkinan besar reliabilitas data *point cloud* tinggi, namun data *point cloud* yang didapat menjadi lebih kecil dan jumlahnya rendah. Fabio menjelaskan dalam kesimpulan jurnal bahwa sekalipun algoritma *software* yang digunakan untuk mengonversi *point cloud* menjadi *surface model* cukup mudah, kinerja *software* tergantung pada *hardware* yang digunakan, sementara alat dalam prosedur *visualization* dari hasil penelitian tersebut tidak menunjukkan pengaruh dalam meningkatkan hasil 3D model yang buruk, dan hasil proses *rendering* dapat menjadi lebih buruk jika salah metode dalam proses tersebut.

Le dkk (2005) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa RE untuk komponen mekanik harus terukur dengan lengkap dan akurat, begitu pula analisa simulasi gaya yang bekerja pada komponen tersebut sama dengan komponen aslinya. Jurnal menyebutkan dua alat untuk RE adalah alat untuk *digitizing*; yaitu proses alih media dari bentuk cetak, audio, maupun video dalam bentuk digital; dan alat untuk membuat modelnya. *Raw Point Data* yang didapat dari proses *digitizing* bisa diatur sedemikian rupa sehingga membentuk pola random yang dinamakan *point cloud of data*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk *Raw Point Data* Lengan Hasil 3D Scanning (Le dkk, 2005).

Fokus penelitian Le, dkk (2005) dalam jurnal tersebut pada pengaplikasian RE dalam *biomedical engineering*; yaitu penerapan prinsip dan konsep rekayasa dalam dunia kesehatan dan kedokteran, termasuk diagnosa, pengawasan dan terapi. Metode dan alat yang digunakan untuk memperoleh data *scan* yaitu

Mitutoyo CMM machine dan Hymarc Laser Scanning System, dimana peneliti mengambil *raw point data* dari lengan atau kaki (*ankle* kebawah) dengan beberapa sudut tertentu agar data yang didapat lengkap. Metode CAD digunakan ketika *point data* tersebut akan diolah menjadi *surface model* atau *solid models* dengan software *UniGraphics™* dan *ProEngineer™*, untuk proses manufaktur, peneliti juga menggunakan *wax* untuk membuat cetakan secara manual. Hasil akhir dari penelitian tersebut adalah purwarupa *elbow orthosis* yang dapat dimodifikasi sesuai keinginan pengguna dan purwarupa *ankle-foot orthosis* dari hasil *modelling* menggunakan *wax* dan *laser scanning*

Penelitian terdahulu selanjutnya membahas konsep dan dasar RE dan RID (*Reverse Innovative Design*) oleh Ye dkk (2008). Dalam penelitiannya, Ye menjelaskan bahwa perancangan adalah sebuah proses bertujuan yang melibatkan cara berpikir kreatif dan cara penyelesaian masalah. Menurut Ye dkk, permintaan pasar saat ini sangat menuntut produk-produk terbaru dan istimewa. Menanggapi hal tersebut, metodologi perancangan yang maju dibutuhkan untuk mengurangi waktu perolehan pengetahuan dalam kegiatan desain, dan untuk meningkatkan kreativitas. RID sendiri adalah metode baru dibuat oleh Ye, dkk yang menggabungkan beberapa teknik yang berhubungan dengan RE dan CAD, seperti *digitizing model* dari produk yang sudah ada, *preprocessing point cloud data* dari hasil *scanning*, *meshing point cloud data*, yaitu merubah data *point cloud* menjadi *3D mesh*, *3D modelling* yaitu membuat desain model purwarupa dari hasil *mesh* tersebut.

Ye, dkk mengaplikasikan RID dengan membuat strategi RE model untuk tiga skenario yang berbeda satu sama lain, yaitu:

- a. Untuk *organic parts*, dimana *solid models* dibuat secara otomatis dari *mesh model*. Tujuan dari *solid models* untuk bisa segera di*softwarekan* untuk model referensi, transmisi data, pemaparan model dengan kualitas tinggi, dan *Rapid Prototyping*
- b. Untuk *analytical shapes*, yaitu bentuk/model yang digunakan untuk proses analisis dan,
- c. Metode *curve-based modelling strategy* untuk benda/model yang membutuhkan akurasi tinggi dan ukuran yang presisi, dimana sketsa 2D atau 3D bisa didapat dari *mesh model*.

Konklusi yang dibuat Ye, dkk (2008) adalah RID merupakan metodologi baru yang dibuat dalam desain produk menggunakan 3D *digitizing*, 3D CAD, CAID, RE, analisis CAE dan RP (*Rapid Prototyping*). RID yang peneliti kembangkan digunakan untuk *freeform product model*, dengan kata lain dapat digunakan untuk semua jenis bentuk model produk, namun masih memiliki beberapa deformasi di titik-titik tertentu pada 3D model. Hasil penelitian Ye, dkk. ini sudah bisa ditemukan dalam *add-in Software Solidworks* yang bernama *Scanto3D*.

Desain *orthosis* sudah pernah dilakukan oleh Fantini, dkk (2016) dengan metode *Rapid Manufacturing*, yaitu metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala (*prototype*) mulai dari bagian suatu produk ataupun rakitan produk secara cepat dengan data 3D *Computer Aided Design* (CAD). Fantini, dkk. menjelaskan hampir manufaktur yang bergerak dibidang *orthosis* pada praktik klinik masih tradisional. Pendekatan secara konvensional yang masih digunakan oleh beberapa praktisi ini seluruhnya berdasarkan aktivitas sehari-hari dan keterampilan yang dimiliki dari pengalaman praktisi. Dari penjelasan diatas, Fantini, dkk melakukan penelitian manufaktur *orthosis* yang berbasis RE, CAD dan AM (*Additive Manufacturing*).



Gambar 2.3. Cast Konvensional Kaki Pasien Pada Posisi Normal (Kiri) dan Modifikasi Dengan Penambahan Plastisin (Kanan) (Fantini dkk, 2016).

Aktivitas yang dilakukan peneliti dalam *Rapid Manufacturing* itu sendiri adalah:

- a. Memposisikan pasien agar dapat melakukan *scanning* secara menyeluruh pada kaki pasien dan mendapat *point cloud* yang lengkap
- b. Memroses data tersebut untuk mendapat 3D model untuk *orthosis* kaki sesuai yang dibutuhkan.
- c. Manufaktur *orthosis* berdasarkan 3D model tersebut.

Kesulitan yang didapat oleh peneliti adalah untuk menggunakan alat 3D *Scanning* diperlukan keterampilan yang khusus dan harus melalui pelatihan dalam CAD. Hasil dari penelitian ini adalah informasi teknis penggunaan metode *Rapid Prototyping* untuk para praktisi berhasil dan desain *orthosis* oleh praktisi yang tidak memiliki pengalaman sebelumnya dalam CAD bisa dilakukan dalam waktu kurang dari 20 menit.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Anggoro, dkk (2018) berfokus juga pada pengembangan metode *Reverse Engineering System* dalam desain *orthosis* jenis *insole* sepatu untuk pasien diabetes. Dikatakan dalam jurnal bahwa kaki manusia memiliki geometri yang kompleks, sehingga terjadinya deformasi akibat perbedaan distribusi tekanan dalam beraktivitas pada kaki manusia sangat mungkin terjadi (Bernabéu, 2013), dan beberapa penyakit juga dapat memberikan efek/deformasi pada kaki penderita penyakit tersebut. Diabetes adalah salah satu penyakit yang memberi dampak pada kaki penderitanya (Ye dkk, 2008).

Anggoro, dkk (2018) mengatakan desain alas kaki dengan fungsi dan bentuk yang sesuai dengan yang dibutuhkan oleh pasien penderita diabetes dapat meminimalisir bahaya trauma pasien akibat pemborosan dari penyakit diabetes (Chapman, 2013). Metode yang digunakan oleh Anggoro, dkk (2018). adalah cabang dari CAD/CAM yaitu RE dan *computer-aided reverse engineering system (CAREsystem)* yang berfokus pada minimasi waktu desain dan minimasi biaya manufaktur. Metode RID ditambahkan dalam penelitian karena metode ini mencakup berbagai penggunaan desain digital 3D seperti digitalisasi 3D, CAD 3D dan *computer-aided industrial design (CAID)*, RE, *computer-aided engineering analysis (CAE)*, dan RP.

Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah melakukan 3D *digitizing* dan *mesh processing* pada kaki pasien yang sudah dipilih oleh peneliti menggunakan *HandySCAN 700TM* yang memiliki presisi yang tinggi (0,03 mm). Langkah selanjutnya melakukan *modelling* dari 3D *mesh* menjadi 3D *solid insole* dan *outsole* sepatu *orthosis* dengan *software* VX Element 5 dan PowerSHAPE 2016, kemudian langkah terakhir adalah melakukan proses manufaktur dari model 3D dengan 3D *Printers Object EDEN 350 V*, mesin 3D *printers* dengan *PolyJet Technology*, yaitu teknologi yang memungkinkan pengeluaran material dengan lapisan tebal hingga 16 µm.



Gambar 2.4. Hasil Manufaktur Sepatu dengan *Insole Orthosis* (Anggoro dkk, 2018).

Konklusi dari hasil penelitian Anggoro, dkk adalah CAREsystem yang sudah dikembangkan ini bisa digunakan untuk desain sepatu *orthotic* khusus untuk para pasien yang mengalami deformasi kaki (*flat foot*, *club foot*, *high-heel syndrome*, dan deformasi lainnya).

Perancangan *foot orthosis* dengan metode RE juga sudah dilakukan oleh M. M. Avelina (2018), dimana peneliti membahas pengsoftwarean *scanning* dengan verifikasi berbasis netfab yang dimanufaktur menggunakan 3D *printing* di laboratorium Teknologi Mekanik Prodi TI UAJY. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan manufaktur konvensional dimana *error* yang didapat sebesar 0,2 mm antara kedua metode tersebut.

Abet Adhy Anthony (2017) pernah melakukan penelitian mengenai optimasi manufaktur berbasis CAM dengan Powermill pada perancangan *foot orthosis* pada pasien diabetes. Optimasi manufaktur ini dilakukan dengan membandingkan dua jenis material *eva foam* untuk *foot orthosis* tersebut dengan menganalisa dan pembuatan curva perlakuan mekanika kontak pada material-material tersebut.

Penggunaan *software* khusus analisis CAE dalam optimasi desain *insole* untuk kaki pasien *flat foot* dan *clubfoot* juga diperlukan agar desain dengan hasil akhir sesuai dengan kebutuhan pasien tersebut, analisa menggunakan *software Abaqus* adalah salah satu *software* analisis yang bisa digunakan dalam desain *insole* (P.W Angoro dkk (2017), Joko Mulyono (2018))

Anwar L.K dan Ghanim Sh. (2018) melakukan penelitian mengenai proses manufaktur dan analisa pada *orthotic* khusus untuk *flat foot* atau bisa disebut CFO (*Custom Foot Orthesis*). Material yang mereka gunakan adalah material komposit yang dibuat sedemikian rupa mengikuti bentuk kaki pasien *flat foot* yang

mengalami kelainan sejak dari lahir. Hasil yang didapat adalah kalkulasi tegangan von mises pada material komposit ketika diberi beban.

Yi Wang dkk (2020) membuat penelitian mengenai efek yang terjadi pada *insole* dengan *arch support* ketika dilakukan beberapa uji coba ketinggian mendarat pada saat digunakan. *Arch support* yang dibuat oleh peneliti sudah termasuk kedalam desain *insole* dengan tiga variasi yang kemudian dilakukan uji coba. Penelitian ini menggunakan ANOVA untuk membantu dalam analisa.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Telusuran penelitian terdahulu yang telah dilakukan akhirnya mendapatkan sebuah celah baru yang dapat diangkat sebagai topik dalam penelitian ini, yaitu mahalnya biaya sewa 3D *handyscanning* oleh peneliti sebelumnya (Anggoro dkk, 2018) di PT TWA dan PUTP Politeknik Atmi Surakarta sekitar 3 juta rupiah per kaki pasien, serta belum adanya perbandingan optimasi diantar penggunaan *software-software* berbasis CAD.

Pada celah temuan mengenai biaya yang mahal dalam penggunaan 3D *scanning*, membuat pusat studi Sibad Undip Riset Grup (Undip - UAJY) membutuhkan penggunaan teknologi baru yaitu *photogrammetry*. metode ini digunakan dalam penelitian tim SIBAD Undip Riset Grup untuk mendapatkan data CAD *scanning* yang lebih murah namun presisi dan akurat setara dengan 3D *scanning* sehingga mampu membantu banyak pasien kelainan bentuk kaki lainnya pada riset selanjutnya dalam perancangan *orthosis*. Selain itu, tidak ditemukannya juga perbandingan optimasi dari beberapa *software* berbasis CAD, maka peneliti membutuhkan parameter-parameter yang memungkinkan sebagai pembanding *software* berbasis CAD dalam desain *insole* dan *pad*.

Konsep ide yang akan dilakukan adalah bekerja sama dengan satu anggota tim Sibad Undip Riset Grup melakukan metode RID (*Reverse Innovative Design*) menggunakan teknologi *photogrammetry* dengan kamera Sony A55. Hasil pemotretan pada kaki pasien *club foot* dan *flat foot* yang telah dipilih selanjutnya oleh peneliti *photogrammetry* akan ditemukan sebuah metode standar baku untuk mendapatkan input data pemotretan berbasis *point cloud*.

Data *point cloud* inilah yang kemudian akan dilanjutkan oleh peneliti saat ini untuk dilakukan proses tahapan desain *insole* dan *pad*, seperti yang pernah sukses dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti pada pembuatan *foot orthosis* untuk

pasien diabetes. (Anggoro dkk (2018), Anggoro dkk (2017)) menggunakan metode *curve-based surface modelling*.

Dalam penelitian ini yang akan dilakukan adalah melakukan verifikasi pada *point cloud* yang sudah didapat dari hasil *photogrammetry* (Wolf & Dewitt, 2000; McGlone, 2004; Kaufman, 2015) pada kaki pasien yang diteliti (*club foot* dan *flat foot*) oleh tim Sibad Undip Riset Grup, dilanjutkan membuat 3D model dengan metode *curve-based surface modelling* dengan beberapa *software* CAD yang dipilih oleh peneliti. Hasil akhir tersebut akan dibandingkan dengan simulasi CAE berbasis *Finite Element Analysis*, sehingga bisa ditemukan *software* yang optimal pada penggunaan metode *curve-based surface modelling*.

2.2. Dasar Teori

Acuan dan pedoman teori dalam penelitian perlu digunakan agar arah penelitian berjalan dengan baik sehingga permasalahan yang terkait dalam penelitian dapat terjawab dengan dasar yang jelas. Metode dan teori-teori pendukung dalam penelitian dituliskan dan dijabarkan dalam dasar teori ini.

2.2.1. Metode Perancangan

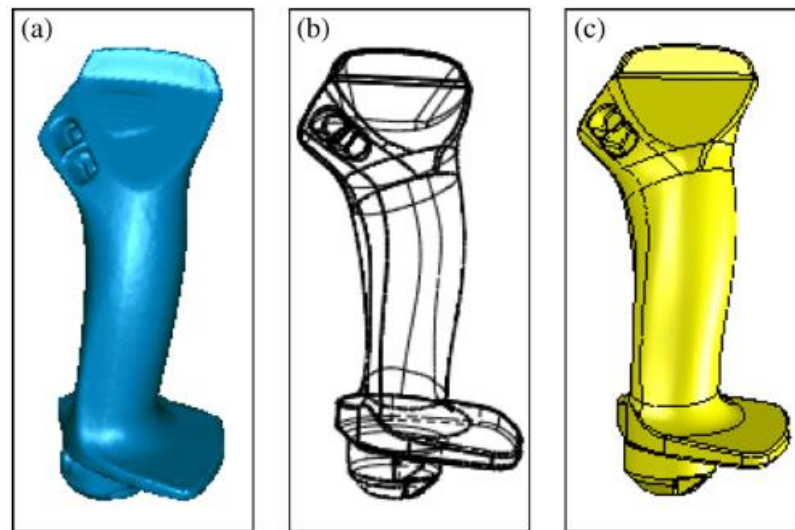
Metode dalam penelitian ini yang pertama adalah metode *curve-based surface modelling*, dimana metode ini pernah digunakan pada penelitian Anggoro, dkk (2018). Dalam manufaktur sepatu *orthosis* untuk pasien diabetes. metode yang kedua adalah metode *Reverse Innovative Design* (RID) yang pernah dilakukan oleh Ye dkk (2008).

Metode *curve-based surface modelling* digunakan pada tahap pembuatan 3D model dengan *software* CAD, sedangkan metode RID digunakan sebagai pedoman/metodologi pada tahap proses perolehan data hingga proses desain final dalam penelitian. Perolehan data *point cloud to mesh* menggunakan metode *closed-ranged photogrammetry*

2.2.1.1. Curve-Based Surface Modelling

Curve-based surface modelling adalah metode pada desain 3D CAD menggunakan garis lengkung/kurva yang mengikuti kontur model hasil *scanning* (Ye dkk, 2008). Garis lengkung ini didapat dari model *mesh* yang dapat diekstraksi secara otomatis atau dengan *software* sketsa. Kualitas *surface model* yang didapat dari metode ini bergantung pada kualitas dan penempatan garis lengkung/kurva, sehingga kurva yang dirancang harus dengan teliti dan hati-hati.

Metode ini digunakan ketika peneliti membutuhkan model yang memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi (Anggoro dkk, 2018). *Curve-based surface modelling* membutuhkan pengalaman dan kemampuan dalam merancang menggunakan CAD, dikarenakan hal ini mempengaruhi kualitas dan keakuratan permukaan (*surfaces*) yang direkonstruksi dan sebagai model solid 3D CAD final. Proses dalam metode ini adalah merapikan model hasil *scanning*, kemudian membuat konstruksi kurva yang saling terhubung dari model tersebut, dilanjutkan dengan membuat *surfaces* dari kurva yang saling terhubung tersebut.



Gambar 2.5. Proses Re-Modelling Joy Stick dengan Metode Curve-Based Modelling Strategy (Ye dkk, 2008).

2.2.1.2. RID (Reverse Innovative Design).

Reverse Innovative Design adalah metode yang menggabungkan beberapa proses/metodologi dalam RE menjadi satu proses desain (Ye dkk, 2008). Inti dari metodologi RID adalah definisi dan konstruksi model solid parametrik berbasis fitur dari data yang di-*scan*. Hasil model solid ini dibangun dengan data fitur untuk memungkinkan modifikasi desain dan iterasi. Metode RID sangat cocok untuk analisis di akhir proses dan pembuatan *rapid prototyping*.

RID terdiri dari beberapa langkah utama:

- a. Perolehan data 3D dari model fisik atau tiruan, kemudian diperoleh *point cloud data* yang akan diproses menjadi model *mesh* yang jernih
- b. Membuat 3D *solid modelling* dari *mesh* dengan menggunakan beberapa parameter bentuk dengan kualitas tinggi, sehingga didapat 3D *model* yang sesuai

dengan parameter pada model fisik atau tiruan sebenarnya dalam *software* 3D CAD.

c. Membentuk model produk baru dengan merubah/merevisi beberapa sisi (*surfaces*) atau *meshes* pada 3D *model*. Melakukan deformasi pada model secara keseluruhan atau beberapa lokasi saja. Hasil akhir dari langkah ini adalah model produk baru untuk desain yang baru.

d. Melakukan analisis CAE pada model produk baru, melakukan modifikasi atau optimasi berdasarkan masukan/evaluasi dari hasil analisis. Hasil akhir dari langkah ini adalah desain dalam bentuk digital model produk baru yang sudah teroptimasi dan siap untuk dilakukan *rapid prototyping*.

Karakteristik penting dalam RID adalah kemampuan untuk:

a. Menghasilkan *product families*; yaitu kelompok produk yang diturunkan dari satu bentuk produk utama; dengan cara mengganti dimensi desain produk seperti pada *plane, surfaces, extrudes*, dan sebagainya yang termasuk didalam sistem 3D CAD

b. Menghasilkan berbagai variasi produk dengan merevisi/mengedit beberapa parameter dalam desain produk

c. Melakukan deformasi pada beberapa bentuk/bagian pada produk dengan intuisi dan prediksi yang akurat.

2.2.2. Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM)

CAD adalah perangkat lunak berbasis sistem komputer yang digunakan untuk membuat sebuah desain atau struktur yang dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dalam bentuk geometris (persegi, lingkaran, segitiga, dan sebagainya). CAM adalah sistem manufaktur yang digunakan untuk menerjemahkan desain CAD menjadi sebuah proses manufaktur dalam mesin NC (*Numerical Controlled Machines*). Kemampuan yang dimiliki oleh CAD/CAM terdiri dari 4 teknologi yaitu *database, graphic computer, analysis* dan akuisisi data dan control.

Manfaat dan keunggulan dari teknologi CAD/CAM yang dapat menciptakan keunggulan bersaing adalah sebagai berikut:

a. Respon cepat.

Perusahaan-perusahaan yang banyak kehilangan order karena keterlambatan pengiriman dapat memanfaatkan teknologi CAD/CAM untuk mempercepat proses disain dan siklus manufaktur. Biasanya keterlambatan bersumber pada pembuatan gambar yang lama, uji purwarupa, proses pemberitahuan perubahan

produk dan lain-lain, dalam hal ini CAD/CAM dapat mempercepat proses-proses tersebut. Sebagai contoh, jika test purwarupa/produk yang menjadi masalah kritis maka CAD dapat mempercepatnya dengan membuat simulasi komputer.

b. Desain manufaktur yang lebih fleksibel dan besar.

Ada dua macam mesin dalam proses produksi menurut Sofyan Assauri (2008;112), yaitu *general purpose machines* dan *dedicated machines* atau *special purpose machines*. *General purpose machine* digunakan untuk memproduksi dalam *batch* yang memungkinkan untuk meningkatkan fleksibilitas, namun biaya produksi per unit tinggi untuk proses operasi. *dedicated/special purpose machines* digunakan untuk produksi massal, fleksibilitasnya rendah namun biaya produksi per unit rendah. Penggunaan CAD/CAM memungkinkan untuk mendapat kedua-duanya, baik dari segi fleksibilitas maupun minimasi biaya dengan teknologi komputer.

c. Mengurangi kebutuhan untuk purwarupa fisik

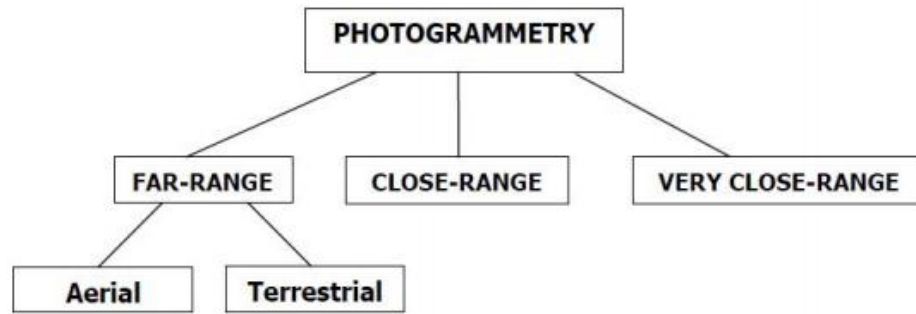
CAD/CAM menggunakan teknologi komputer dapat mengurangi kebutuhan dalam purwarupa nyata karena modifikasi yang dapat dilakukan langsung pada desain dengan sistem komputer.

Penggunaan CAD/CAM yang sudah diterapkan adalah pada desain elektronika, desain alat olahraga, desain untuk industri penerbangan, dan industri kesehatan seperti desain *orthotic*.

2.2.3. Photogrammetry

Photogrammetry adalah metode pengambilan gambar dari jarak jauh pada suatu bentuk/objek yang nyata untuk mendapatkan posisi dan ukuran bentuk/objek tersebut dengan alat perekam/pengambil gambar, baik secara manual ataupun otomatis seperti kamera, satelit, dan sebagainya (Wolf dan Dewitt, 2000; McGlone, 2004; Kaufman, et al., 2015). Prinsip dalam *photogrammetry* ini adalah analisis secara *geometrical*. *Photogrammetry* ini dilakukan dengan alat yang memiliki fitur rekam seperti *handphone* dengan kamera, kamera manual dengan fitur *Digital Single Lens Reflex (DSLR)* atau *drones*.

Photogrammetry dibagi menjadi beberapa klasifikasi. Klasifikasi menurut P. S. Nikhil. (2019) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6. Klasifikasi *Photogrammetry* (P.S. Nikhil, 2019).

Far-Range photogrammetry digunakan untuk melakukan rekonstruksi rekayasa pada bentuk bangunan ataupun bentuk topografi pada peta dan sebagainya dengan ukuran area meter persegi. *Aerial* adalah metode dalam *far-range* dimana kamera mengambil gambar bentuk/objek dengan mengudara, contohnya *drones*, sedangkan *terrestrial* mengambil gambar bentuk/objek dari darat, seperti *google earth*.

Close-Range dan *very close-range photogrammetry* umumnya disoftwarekan dalam industri dimana diharuskan untuk mengukur objek secara non-kontak. Alat yang digunakan umumnya adalah kamera DSLR atau *handphone*. *Closed-range photogrammetry* menurut Jing (2015) memiliki karakteristik sebagai berikut:

a. Akurasi pengukuran tinggi

Akurasi pada pengukuran dengan sistem *single-camera* mencapai 5 mikrometer.

b. Efisiensi tinggi

Informasi dari puluhan ribu titik data hasil *photogrammetry* dapat diekstrak dalam periode yang singkat.

c. Performansi stabil

Objek yang digunakan adalah objek dengan kepresisian yang tinggi dan tidak terpengaruh dengan lingkungan seperti suhu yang tinggi, tekanan tinggi, dan sebagainya.

d. Pengukuran non-kontak

Photogrammetry memungkinkan untuk tidak mengharuskan peneliti melakukan kontak fisik secara langsung dengan objek untuk pengukuran dengan akurasi tinggi.

2.2.4. File STL

File STL merupakan salah satu bentuk *file* yang dapat dipakai untuk menyimpan sebuah data dari suatu model tiga dimensi. Bentuk *file* ini berisikan geometri dari permukaan sebuah objek tanpa adanya representasi warna, tekstur ataupun atribut lain dari sebuah objek tiga dimensi. STL merupakan singkatan dari *Standard Triangle Language* dimana *file* tersebut menyimpan informasi dalam bentuk geometri segitiga kecil yang tersusun dengan rapat membentuk sebuah kontur permukaan tiga dimensi.

Format file STL sering digunakan untuk pencetakan 3D, dimana dengan sebuah program *3D slicer*, memungkinkannya terjadinya komunikasi (dalam bentuk kecocokan data) antara komputer dengan perangkat printer 3 dimensi. Format *file STL* ini sudah banyak diadopsi dan didukung oleh berbagai perangkat lunak CAD dan saat ini telah banyak digunakan untuk keperluan *rapid prototyping*, pencetakan 3D dan manufaktur.

2.2.5. Netfabb

Netfabb merupakan salah satu *software* berbasis *Computerized-Aided Design* (CAD). *Software* keluaran *Autodesk* ini adalah *software* perangkat lunak yang dirancang untuk pembuatan aditif, pembuatan *rapid prototyping*, dan pencetakan dalam model 3D. Perangkat lunak ini menyiapkan *file* tiga dimensi untuk dicetak dan mengkonversinya menjadi *file* irisan tiga dimensi yang terdiri dari daftar lapisan irisan dua dimensi. Dalam membantu penggunaannya dalam pembuatan aditif (biasanya untuk *rapid prototyping*), *Netfabb* memiliki fitur untuk melihat, mengedit, memperbaiki, dan menganalisis *file STL* tiga dimensi atau *file* berbasis irisan (*layer*) dalam berbagai format.

Pada proses dalam melakukan operasi persiapan cetak, *Netfabb* menggunakan format *file STL* untuk membuat desain objek dengan format *mesh*. Selain fungsi diatas, *Netfabb* dapat digunakan untuk memperbaiki kontur dan ukuran pada *file STL* dalam bentuk *point cloud* dari hasil *3D scanning*.

Netfabb memiliki kemampuan yang berbeda tergantung dari tipenya, yaitu:

a. Netfabb Standard

Tipe ini yang diberikan secara gratis dimana pengguna dapat menggunakan *Netfabb* tipe ini dalam masa pakai 30 hari. Fungsi yang dimiliki *Netfabb standard* ini yaitu mengimport model tiga dimensi dalam format *.boz*, *STL*, *.3mf*, *.STEP*, dan

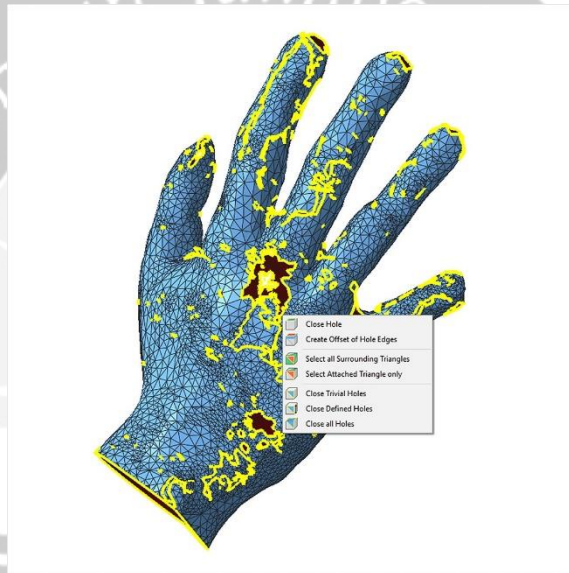
format berbasis CAD lainnya. Model yang diimpor mampu dilakukan modifikasi, perbaikan dan lainnya dengan fitur pada *Netfabb standard*.

b. *Netfabb Premium*

Tipe ini mengharuskan pengguna untuk membayar sewa per tahun sebesar \$ 4.100, penambahan fitur yang diberikan pada tipe ini adalah kapabilitas untuk membuat lapisan dan *supports/rigs* secara lebih kompleks.

c. *Netfabb Ultimate*

Pada tipe ini pengguna diharuskan untuk membayar sebesar \$ 6.500. Fitur tambahan pada *Netfabb Ultimate* ini adalah adanya fitur *fusion 360* yang berfungsi untuk menentukan *toolpath machining* sederhana.



Gambar 2.7. Model Tangan Dalam Format STL Pada *Netfabb*

2.2.6. *Autodesk 3DMax 2020*

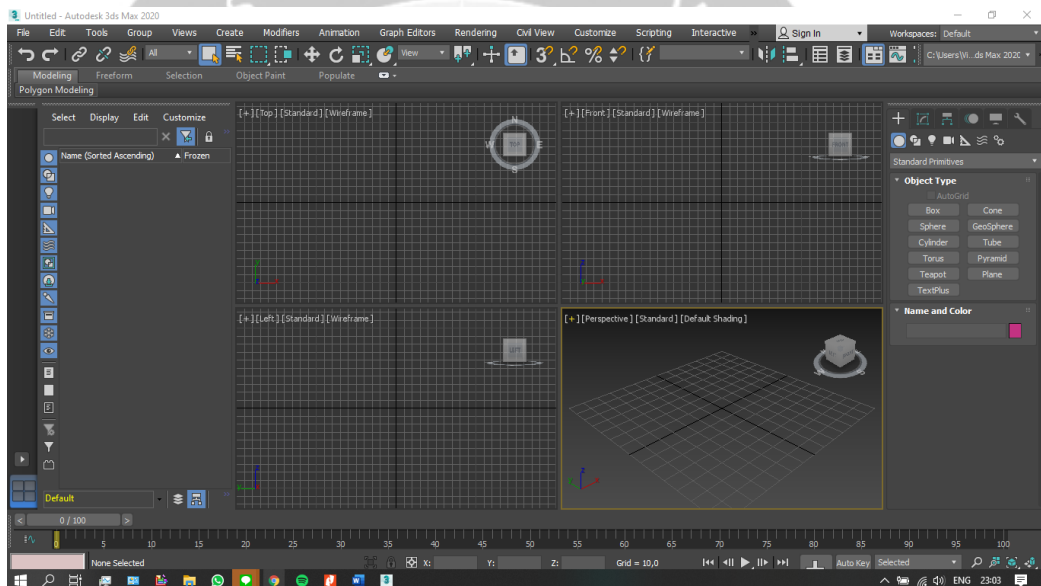
Menurut Sihite dkk (2013), *Autodesk 3DMax* adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat grafik vektor dalam bentuk tiga dimensi atau animasi. Perangkat lunak buatan *Autodesk* ini dapat digunakan pada platform *Windows* dan *Macintosh*.

Sama halnya dengan beberapa *software* grafik tiga dimensi, *3DMax* menggunakan tiga axis yaitu axis X, Y dan Z, dan memiliki fitur rotasi pada model tiga dimensi sehingga pengguna dapat melihat bentuk model yang dibuat secara keseluruhan. Pada *software 3DMax*, ada lima metode pemodelan dasar, yaitu:

d. Pemodelan dengan Primitif

- e. *Non-Uniform Rational Mesh Smooth* (NURMS (*subdivision surfaces*))
- f. *Surface Tool*
- g. *Non-Uniform Rational B-Spline* (NURBS)
- h. Pemodelan dalam bentuk Poligon

3DMax memiliki sebuah *engine* didalamnya yang digunakan untuk merender sebuah gambar ataupun video yaitu *Mental Ray*. *Render Engine* ini terintegrasi dengan perangkat lunak *3DMax* sehingga tidak perlu dilakukan penginstalan ulang. *Mental Ray* memiliki beberapa fitur yaitu kemampuan untuk kalkulasi efek *global illumination*; pencahayaan secara menyeluruh pada model; dan *indirect illumination*; pencahayaan pada model secara tidak langsung/dari jarak jauh. Tampilan utama *3DMax 2020* dapat dilihat pada Gambar 2.7. berikut:



Gambar 2.8. Tampilan Awal 3DMax 2020

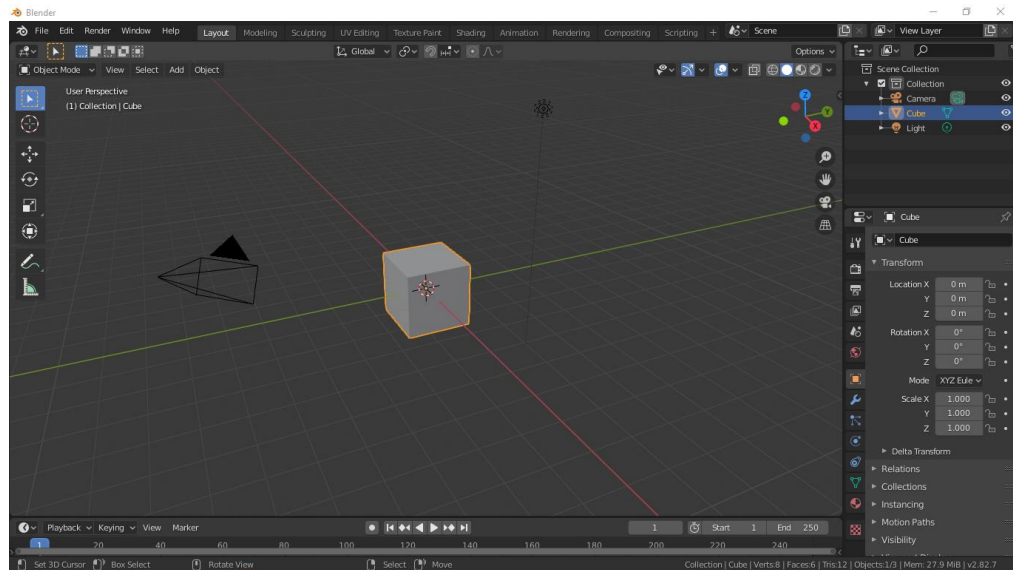
2.2.7. Blender

Blender adalah salah satu *software* berbasis CAD dalam perancangan desain objek dalam bentuk tiga dimensi (Lance Flavell, 2010). *Software* ini digunakan untuk berbagai macam pekerjaan seperti membuat animasi, membuat model purwarupa, dan sebagainya. *Blender* sendiri merupakan *software* yang gratis dan bisa digunakan untuk berbagai kalangan yang ingin memperdalam informasi mengenai cara-cara membentuk sebuah model tiga dimensi.

Versi terbaru perangkat lunak ini bernama *Blender v.2.82a* dimana perubahan yang diberikan oleh tim *developer* adalah *interface* yang mudah digunakan (*user-*

friendly) dan pembaharuan beberapa *format file* yang bisa digunakan atau dimasukkan kedalam *Blender*, salah satunya yaitu *STL*.

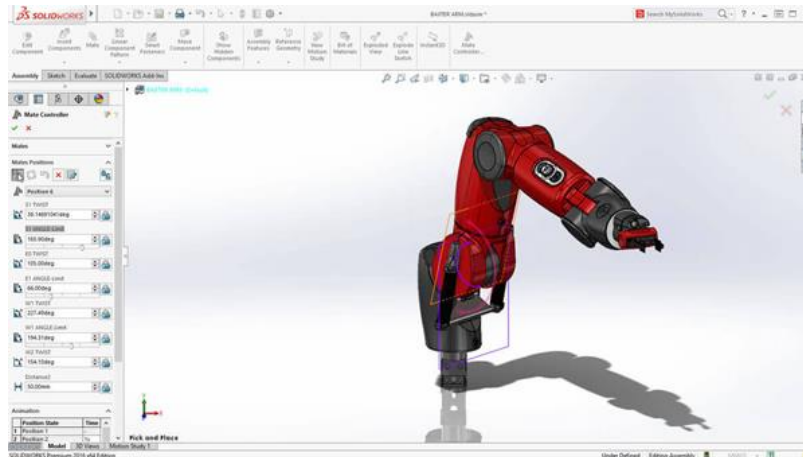
Software Blender merupakan *opensource application* yang dapat diunduh oleh semua orang yang bekerja di bidang desain secara gratis dan dapat digunakan untuk pengguna *windows*, *LINUX*, dan *Macintosh Computers*. Gambar 2.8. menunjukkan tampilan utama dalam perangkat lunak *Blender v.2.82.a*.



Gambar 2.9. Tampilan Awal *Blender v.2.82a*

2.2.8. *Solidworks*

Solidworks adalah sebuah perangkat lunak berbasis CAD yang dibuat oleh Dassault Systems (developer perangkat lunak *Catia*) dan sudah dikenal dalam berbagai jenis industri yang bergerak dibidang produksi barang. Fungsi utama perangkat lunak ini adalah untuk membuat model objek 3D yang dihasilkan dari sketsa 2D, atau sketsa 3D. *solidworks* saat ini hanya bisa dijalankan dengan menggunakan *Microsoft Windows*, untuk IOS; sistem operasi yang digunakan Apple Inc.; masih belum bisa.



Gambar 2.10. Contoh Tampilan Utama Solidworks

Solidworks sering digunakan oleh para pengguna dengan pengalaman dalam desain dibidang permesinan dan atau sudah memahami gambar teknik secara umum. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, pengguna dapat membuat berbagai macam bentuk objek, tergantung kebutuhan pengguna itu sendiri.

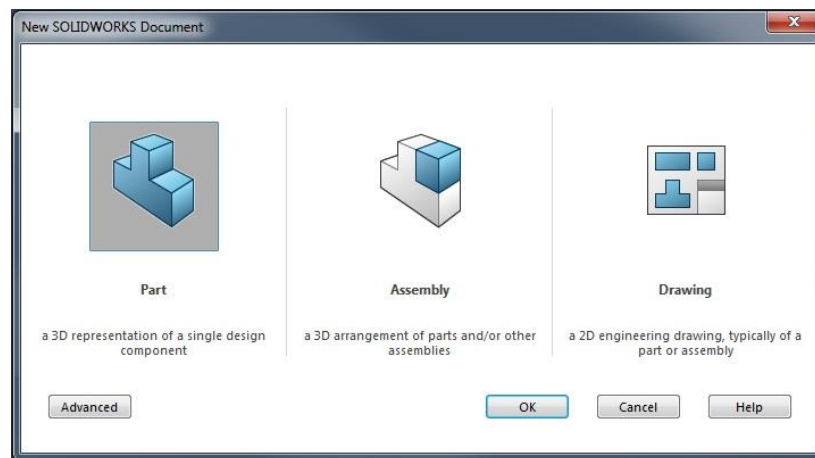
fitur yang disediakan dalam *solidworks* berbagai macam, mulai dari simulasi kekuatan desain, penambahan jenis material beserta rinciannya, pengukuran dimensi dari berbagai sudut dan sisi objek, animasi, desain *sheet metal*, dan sebagainya. *Software* ini dapat mengakses beberapa jenis format *file* yang masih dalam kategori CAD (seperti STEP, IGS, STL, dan sebagainya) serta *file* tersebut dapat dirubah menjadi format bawaan *solidworks* yaitu SLDPRT (untuk tipe *part-file*) atau SLDASM (untuk tipe *assembly-file*).

Fitur yang sering digunakan oleh desainer teknik adalah mengkonversi desain 3D yang sudah dibuat menjadi gambar teknik dalam wujud 2D. fitur ini digunakan ketika objek yang sudah didesain lanjut ke proses manufaktur dan membutuhkan gambar kerja. Format *file* untuk desain 2D *solidworks* adalah SLDDRW.

Solidworks memiliki tiga fokus utama dalam pembuatan dokumen baru:

- a. *Part*, yaitu objek yang dibentuk dengan beberapa fitur dalam *solidworks* yang berupa berbagai operasi-operasi (seperti *extrude*, *cut*, *revolve*, dan sebagainya).
- b. *Assembly*, yaitu tempat menyatukan beberapa *part* yang sudah dibuat, dimana *part* tersebut digabung dengan fitur tambahan dalam *assembly* (contohnya seperti fitur *mate*)

c. *Drawing*, yaitu interpretasi objek 3D (baik itu *part* atau *assembly*) menjadi gambaran 2D.



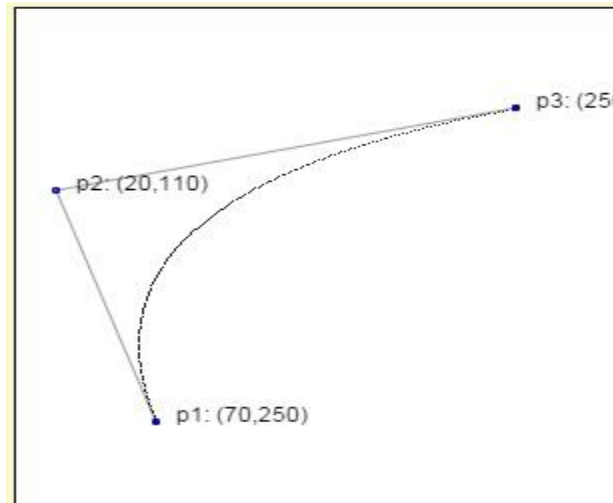
Gambar 2.11. Interface Solidworks Pada Dokumen Baru

2.2.9. *Bezier Curve*

Bezier Curve adalah sebuah teknik yang digunakan dalam perancangan dan desain menggunakan perpaduan antara garis dengan grafik dan komputer. *Bezier Curve* digambarkan dalam bentuk garis lengkung yang dibuat dengan dua titik pada bidang kerja tertentu.

Dalam penggunaan pada gambar vektor, *bezier curve* digunakan untuk memodelkan kurva mulus yang dapat diperbesar dan diperkecil dengan tidak terbatas. Jalur atau garis lengkung, yang biasa ditemui di program manipulasi gambar, merupakan perpaduan dari *bezier curve* yang terhubung. Kurva yang dibuat menghubungkan titik akhir, namun tidak selalu menyentuh titik kontrol.

Metode yang menggunakan teknik *Bezier curve* dalam dunia teknik industri salah satunya adalah desain pada *Rapid prototyping*, desain produk dengan bentuk lengkung, dan sebagainya.



Gambar 2.12. Contoh Bezier Curve

2.2.10. NURBS Curve

NURBS Curve (Non-Uniform, Rational B-Spline Surface) merupakan teknik pemodelan sebuah permukaan dengan beberapa parameter tertentu yang dibuat dalam grafik komputer. Berbeda dengan *bezier curve*, NURBS lebih bersifat universal dikarenakan kemampuannya untuk memodelkan geometrik tipe analitik seperti elips, lingkaran, bola, dan geometrik lengkung lainnya.

NURBS Curve pada awalnya dibuat untuk mengatasi permasalahan gambar/grafik matematis pada pemodelan permukaan dengan karakteristik bebas (*freeform*). Beberapa *software* CAD sudah menggunakan NURBS seperti *Solidworks*, *3DsMax*, *Autodesk series*, dan sebagainya untuk pemodelan bentuk mobil dengan metode *curve modelling*.

Kerja NURBS hampir sama dengan *Bezier* dimana titik-titik saling berhubung membentuk sebuah garis lengkung sedemikian rupa sehingga menyerupai sebuah model/bentuk lengkung tertentu sesuai yang diinginkan.

2.2.11. Insole

Insole adalah bagian yang berada didalam alat bantu jalan seperti sepatu yang berbentuk lapisan bahan tertentu, dimana lapisan ini bertemu langsung dengan telapak kaki. Terdapat dua jenis *insole*, ada yang menyatu dengan sepatu dan ada yang dapat dilepas. Tujuan penggunaan *insole* pada sepatu atau sandal adalah untuk menambah kenyamanan pemakai saat berjalan. Bentuk *insole* akan mengikuti lekuk telapak kaki seiring waktu pengguna menggunakan sepatu tersebut.



Gambar 2.13. Contoh Orthotic Insole

Terdapat *insole* yang bertujuan khusus kearah kesehatan dan ergonomi yang tidak hanya menambah kenyamanan ketika berjalan, namun dapat meningkatkan kondisi fisik pengguna tersebut sehingga produktivitas pengguna pun meningkat.

2.2.12. Club Foot

Club foot adalah salah satu bentuk deformitas kaki yang dapat terjadi pada bayi yang baru lahir secara umum. Kelainan ini dapat terjadi bisa dikarenakan adanya faktor genetik (Yopi Harwinanda, 2015). Kelainan ini menyebabkan bentuk pada salah satu atau seluruh kaki bagian pergelangan kebawah menjadi tidak sempurna dan mengakibatkan nyeri ketika berjalan. Penyembuhan yang bisa dilakukan untuk menangani penyakit ini adalah dengan dioperasi atau dengan menggunakan alas kaki khusus.

2.2.13. Pad

Pad adalah sebuah bantalan berukuran kecil yang digunakan diantara telapak kaki dengan *insole* sepatu. *Pad* sendiri merupakan alat khusus yang digunakan untuk orang-orang penyandang kelainan kaki jenis *flat foot*. Tujuan penggunaan *pad* ini sama dengan *insole* yaitu untuk menambah kenyamanan pemakai saat berjalan melakukan aktivitas sehari-hari serta mengurangi rasa nyeri pada telapak dan tumit kaki.



Gambar 2.14. Contoh Orthotic Pad

2.2.14. Flat foot

Flat foot adalah sebuah deformitas atau kelainan fisik yang terjadi pada manusia dimana telapak kaki tidak memiliki *arch* alami untuk berjalan yang mengakibatkan nyeri pada bagian *ankle* dan telapak kaki itu sendiri dan membuat pengidap kelainan menjadi cepat lelah dan merasa sakit (Anwar Luay dan Ghanim Sh., 2018). Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi penyakit atau kelainan ini adalah dengan melakukan terapi jalan, operasi pada bagian kaki atau dengan menggunakan alat bantu khusus jalan.

2.2.15. Orthotic

Orthotic, atau *orthosis* adalah sebuah kata yang digunakan untuk memberi arti pada alat yang dapat memberi pengaruh pada fungsi atau struktur pada bagian tubuh manusia, khususnya di *neuromusculoskeletal*. *Orthotic* ada berbagai macam bentuk sesuai kebutuhan yang berhubungan dengan tubuh manusia, misal seperti *orthotic* lengan atau *orthotic* kaki.

Menurut Octavian C, dkk. (2016), terdapat tiga jenis *orthotic* yaitu:

- a. *Customizable orthotic*, yang dapat disesuaikan dengan bentuk kaki yang memiliki ciri fleksibilitas
- b. *Prefabricated orthotic*, yaitu jenis *orthotic* untuk ukuran dimensi umum yang ditujukan untuk dijual pasaran
- c. *Custom-made orthotic*, yaitu *orthotic* khusus yang dibuat menggunakan teknik/*software* tertentu seperti CAD/CAM dan sebagainya.