

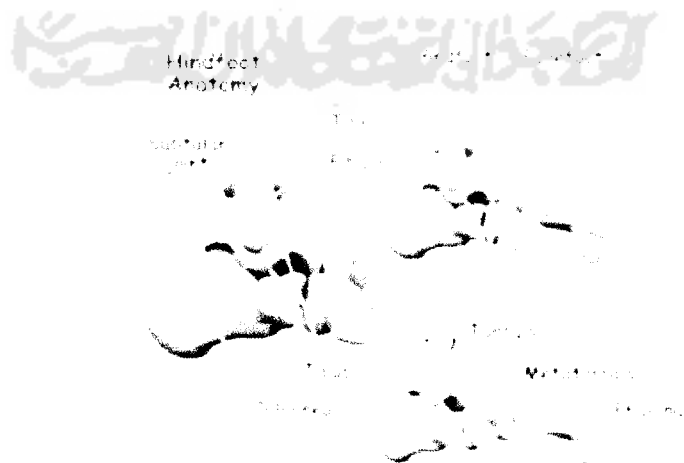
## Bab 2

### LANDASAN TEORI

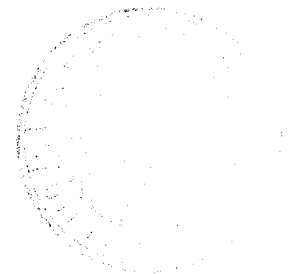
#### 2.1 Sistem Kaki Manusia

Tubuh manusia tersusun oleh organ-organ yang saling berhubungan dan saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Misalnya : kaki, tulang, otot, jantung, hati dan sebagainya. Setiap organ tubuh mempunyai fungsi dan tugas yang berbeda. Karena fungsi organ tubuh berbeda, maka susunan alat-alat tubuh pun juga berbeda. (Irianto, 2004).

Kaki manusia berfungsi sebagai organ penyangga tubuh, pengatur keseimbangan dan untuk mobilitas. Kelainan yang mengenai kaki dapat menimbulkan rasa nyeri pada kaki saat berjalan. Pemakaian sepatu yang abnormal juga dapat berpengaruh buruk terhadap fungsi kaki. Pada saat berjalan kaki berartikulasi dengan ujung bawah *tibia*, yang dengan bantuan sendi pergelangan berbentuk kotak mampu memungkinkan kaki bergerak secara *dorsofleksi* dan *plantarfleksi* tanpa berotasi. *Talus* berartikulasi dengan ujung *distal tibia*. Tumpuan berada pada *maleolus medialis tibia* dan *maleolus lateralis fibula distal*. Contoh bagian sendi kaki manusia pada gambar 2.1 berikut. (Salomon dan Apley, 1995).



**Gambar 2-1 Bagian-bagian sendi manusia  
( Eorthopod, 2008 )**



Kaki manusia dibagi menjadi 3 bagian : Kaki belakang, kaki tengah dan kaki depan. Kaki belakang tersusun dari *talus* dan *kalkaneus*, *kalkaneus* ini membentuk tumit, sendi antara kedua tulang tersebut adalah sendi *talokalkaneus* atau *subtalus*. Sendi ini mempunyai gerakan meluncur dan berputar, yang memungkinkan kaki belakang *inverse* dan berputar keluar (*eversi*), ini penting untuk berjalan pada tempat yang tidak rata.

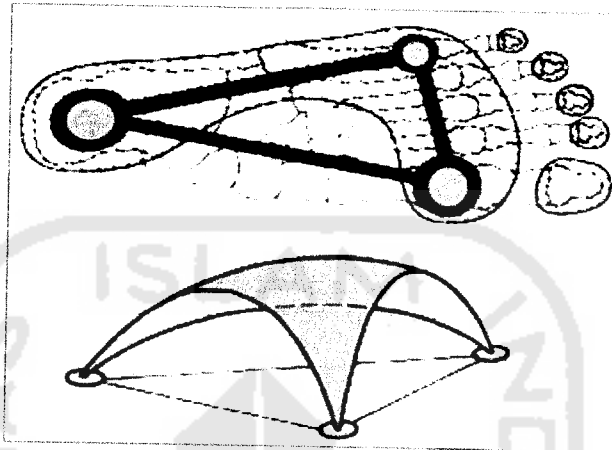
Kaki tengah tersusun dari tulang *navikulare*, *tulang kuboid* dan tiga tulang *kuneiformis*. Kaki tengah dan kaki belakang berartikulasi melalui sendi *tarsal transversal* (sendi *kalkaneokuboid* dan *talonavikulare*), sendi ini untuk pergerakan rotasi kaki tengah pada saat berjalan pada jalan yang tidak rata. *Deformitas* sendi *subtalus*, *talonavikulare*, atau *kalkaneokuboid* dapat mempunyai pengaruh yang berarti pada fungsi kaki dan menghasilkan tekanan abnormal pada sendi pergelangan kaki.

Kaki depan tersusun dari *metatarsus* dan jari kaki, *metatarsus* pertama unik karena mempunyai satu *plat fisea* yang terletak di sebelah *proksimal*, empat *metatarsus lateral* mempunyai satu fisis yang terletak di sebelah *distal*. Jempol kaki tersusun dari *falangs proksimal* dan *distal* serta satu sendi *interfalangs*, empat jari kaki mempunyai *falangs* proksimal. Fungsi normal kaki memerlukan gerakan terkoordinasi antara otot *ekstrinsik* betis dan otot *intrinsik* kaki. (Richard dkk, 2000).

Bagian tapak kaki manusia merupakan bagian yang memiliki lebih banyak urat saraf jika dibandingkan pada bagian wajah. Ribuan urat saraf dan sensor terdapat pada telapak kaki, sehingga butiran kecil pasir pun dapat kita rasakan, kalau sekiranya ini masuk kedalam sepatu yang sedang kita pakai. Hampir 30 tulang, 30 sambungan (*joint*), 60 otot, lebih dari 100 ikatan dan lebih dari 200 jaringan terdapat pada telapak kaki. Ini merupakan konstruksi yang sangat kompleks, yang membuat kaki menjadi suatu sistim yang teramat istimewa. (Schuh-einlagen. 2009).

Bagian yang paling istimewa pada telapak kaki adalah susunan tulangnya, sehingga terbentuk cekungan pada telapak kaki. Cekungan ini penting, sehingga berat tubuh dapat terbagi secara optimal dan juga agar benturan ketika melakukan

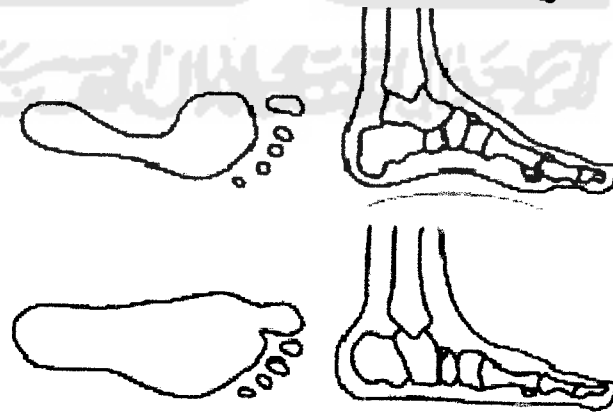
aktivitas dapat diredam dengan baik. Telapak kaki memiliki tiga buah cekungan, dua arah yang memanjang dan satu arah menyemping.



**Gambar 2-2 Tiga titik cekungan pada kaki  
( Schuh-einlagen, 2009 )**

Pada gambar 2-2 di atas terlihat, yaitu cekungan pada bagian dalam (arah yang memanjang), bagian luar (arah yang memanjang) dan bagian depan (arah menyemping). Jika pada cekungan ini terjadi penurunan, yang disebabkan oleh melemahnya otot, maka keseimbangan telapak kaki akan terganggu, sehingga dapat menyebabkan tekanan yang berlebihan, perubahan posisi (*deformasi*), yang akhirnya dapat menimbulkan rasa sakit. (Schuh-einlagen. 2009).

#### **Normaler Fuß und Plattfuß im Vergleich**



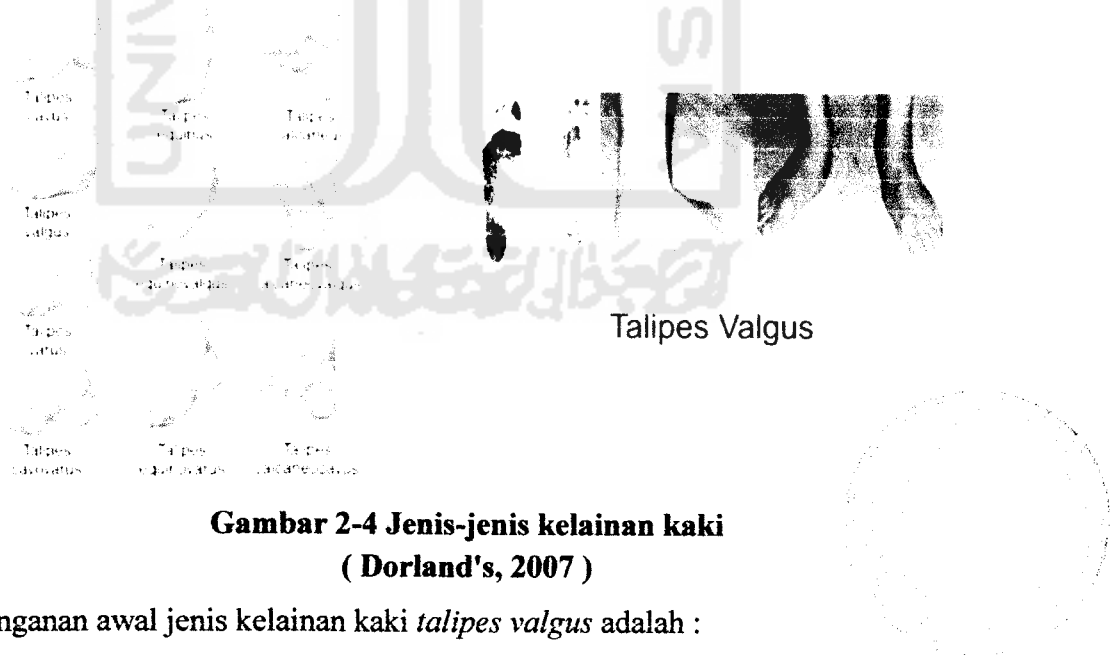
**Gambar 2-3 Perbandingan tapak kaki normal dan tapak kaki rata  
( Digitalefolien, 2008 )**

## 2.2 Talipes Valgus

*Talipes valgus* merupakan salah satu dari jenis kelainan *talipes* tapak kaki akibat *deformitas*. Beberapa faktor yang mungkin menjadi penyebab *deformitas* adalah : cacat *kongenital*, ketidak seimbangan otot, kelemahan *ligament* dan ketidak setabilan sendi. Setiap *deformitas* yang ada diperburuk dan dipertahankan oleh beban yang abnormal dan tekanan dari sepatu. (Apley dan Solomon, 1995).

Kelainan kaki yang diakibatkan *deformitas* diantaranya adalah : *talipes cavus*, *talipes equines*, *talipes calcaneus*, *talipes valgus*, *talipes equinovalgus*, *talipes calcaneovalgus*, *talipes varus*, *talipes cavovarus*, *talipes equinovarus* dan *talipes calcaneocavus* (gambar 2-4).

Penderita *talipes valgus* ditandai dengan adanya pembengkokan tulang sendi dimana ujung kaki membengkok kearah dalam sehingga mengakibatkan lutut saling bertemu. Pada *talipes valgus* berat badan dipindahkan ke arah *medial* pada pergelangan kaki. Gambaran jenis kelainan kaki tersebut dapat dilihat pada (gambar 2-4).



**Gambar 2-4 Jenis-jenis kelainan kaki  
( Dorland's, 2007 )**

Penanganan awal jenis kelainan kaki *talipes valgus* adalah :

1. Memperbaiki *deformitas* dini

Memperbaiki *deformitas* dini sebaiknya dilakukan pada saat penderita masih balita dengan cara melakukan koreksi peregangan manual pasif. Kemudian dilakukan koreksi menggunakan *gips*, yang diganti setiap seminggu sekali untuk

meneruskan koreksi. Koreksi menggunakan *gips* ini pada umumnya memakan waktu enam minggu.

## 2. Memperbaiki *deformitas* sepenuhnya

Setelah dilakukan koreksi dengan menggunakan *gips*, kaki yang mengalami *deformitas* kemudian dilakukan penaganan sepenuhnya agar tidak terjadi *deformitas* kembali dengan cara pemberian plester pada kaki kemudian dilanjutkan penggunaan sepatu bidai.

## 3. Mempertahankan posisi yang sudah diperbaiki

Untuk mempertahankan posisi kaki yang sudah normal dapat menggunakan sepatu *orthotic insole*. Penggunaan *orthotic insole* digunakan sampai masa pertumbuhan berhenti atau bisa juga digunakan selamanya. (*Apley dan Solomon, 1995*).

### 2.3 Alat Penopang Tapak Kaki (*Orthotic Insole*)

Alat penopang kaki merupakan suatu alat yang didesain sedemikian rupa untuk membantu para penyandang kelainan tapak kaki, selain bertujuan mengoreksi kelainan kaki, menciptakan rasa nyaman dalam melakukan mobilitas, menetralsir dari kaki yang *valgus/ varus*, membantu menormalkan *alignment* keseimbangan tekanan pada kaki dan seluruh tubuh. Penggunaan alat penopang kaki di masukkan ke dalam sepatu yang digunakan oleh penderita. ([http://www.drfoot.co.uk/Orthotic\\_Insoles.htm](http://www.drfoot.co.uk/Orthotic_Insoles.htm)).



**Gambar 2-5 Alat penopang kaki (*orthotic insole*)**  
( *Drfood, 2008* )

Jenis alat penopang kaki (*orthotic insole*) Berdasarkan material :

1. Alat penopang tapak kaki jenis Kaku

Alat penopang tapak kaki jenis kaku dirancang untuk mengontrol fungsi kaki, dan bisaanya terbuat dari bahan yang kuat seperti plastik atau serat karbon. jenis ini dirancang untuk mengontrol gerakan pada sendi dua kaki besar, yang terletak tepat di bawah sendi pergelangan kaki. *Orthotic* jenis ini sering digunakan untuk memperbaiki atau menghilangkan rasa sakit kaki, paha dan punggung bawah karena fungsi abnormal kaki. Sebuah contoh adalah pergelangan kaki-kaki digunakan untuk mengobati kaki drop dan bentuk untuk bagian bawah kaki seseorang.

2. Alat penopang tapak kaki jenis Lunak

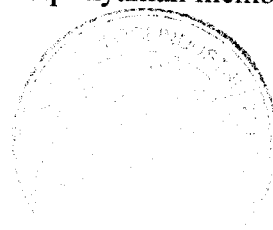
Alat penopang tapak kaki jenis lunak membantu menipiskan *shock*, meningkatkan keseimbangan dan mengambil beban tidak nyaman atau sakit bintik. *Orthotic insole* ini bisaanya terbuat dari bahan yang lembut, bahan kompresibel seperti EVA (*Ethylene Vinyl Asetat*) bahan ini memiliki nilai-nilai kekerasan yang berbeda. Jenis *orthotic* efektif untuk *arthritis* atau kelainan bentuk di mana terdapat kehilangan jaringan lemak pelindung di sisi kaki. Mereka juga sangat membantu bagi penderita diabetes.

3. Alat penopang tapak kaki jenis *Semirigid*

Alat penopang tapak kaki jenis *semirigid* sering digunakan untuk atlet. Hal ini memungkinkan untuk keseimbangan dinamis kaki sambil berlari atau berpartisipasi dalam olahraga. Dengan membimbing kaki melalui fungsi yang tepat, ini memungkinkan otot dan tendon untuk melakukan lebih efisien. Ini adalah lapisan terbuat dari material lunak, diperkuat dengan bahan-bahan yang lebih kaku.

4. Alat penopang tapak kaki *Kalibrasi*

Alat penopang tapak kak *kalibrasi* didasarkan pada model koreksi dan teknik manufaktur yang dianjurkan oleh Glaser (MASSA posisi). Ini faktor-faktor dalam individu berat badan, kaki fleksibilitas dan tingkat aktivitas untuk memberikan dikalibrasi kustom tingkat dukungan yang tegas tapi nyaman memberikan kontrol



fungsional sambil mempertahankan sifat-sifat dari sebuah perangkat akomodatif.  
(Diktat OrthoModel Workshop )

Manfaat alat penopang kaki (*orthotic insole* ) Secara umum adalah :

- a. Memperbaiki atau mengkoreksi kelainan kaki
- b. Membantu atau mengontrol pergerakan sendi
- c. Menyediakan posisi yang lebih baik
- d. Menghilangkan tekanan pada area tertentu kaki

Manfaat lain dari alat penopang kaki (*orthotic insole*) adalah menumbuhkan rasa percaya diri bagi pemakainya karena pada saat menggunakan alat ini penderita terlihat seperti orang normal pada umumnya. Kebanyakan anak-anak yang mempunyai kelainan juga mengalami masalah interaksi sosial dengan lingkungan sekitar, hal ini disebabkan karena penderita kelainan tidak merasa percaya diri dengan bentuk fisik yang ada di anggota tubuhnya, sehingga mengakibatkan penyandang cacat tersebut kurang memiliki kesempatan untuk mengembangkan dan memahami perilaku sosial dan cenderung akan menampilkan perilaku seperti pasif, impulsif, menyendiri, kaku, dan lain-lain. ([http://www.drfoot.co.uk/Orthotic\\_Insoles.htm](http://www.drfoot.co.uk/Orthotic_Insoles.htm)).

### 2.3.1 Bagian-bagian *orthotic insole*

*Orthotic insole* terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

#### 1. *Medial side*

Merupakan bagian *insole* yang terdapat pada bagian sisi dalam, bagian dalam berbentuk melengkung keatas berfungsi untuk memperbaiki bagian lengkungan kaki.

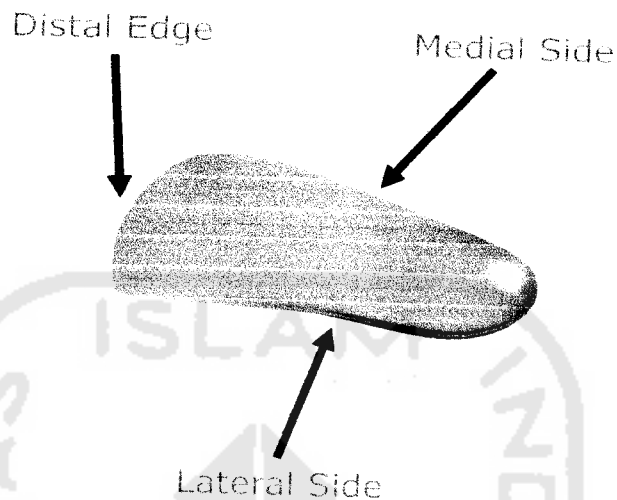
#### 2. *Lateral side*

Merupakan bagian *insole* yang terdapat pada bagian sisi tepi atau pinggir, bagian sisi tepi berfungsi untuk mengontrol keseimbangan tubuh.

#### 3. *Distal Edge*

Merupakan bagian *insole* yang terdapat pada bagian ujung, berfungsi memberikan kenyamanan pada bagian depan kaki. (Diktat OrthoModel Workshop ).

Bagian-bagian orthotic insole dapat di lihat pada gambar 2-6 di bawah ini.



**Gambar 2-6 Bagian orthotic insole  
( Delcam, 2009 )**

#### **2.4 Reverse engineering**

*Reverse engineering* adalah proses pengembangan dari prinsip pengembangan teknologi, objek atau sistem berbasis analisis struktur, fungsi dan operasi. Alasan kenapa digunakan teknologi *reverse engineering* karena ketidaktersediaan dokumentasi, analisis produk, *scourty auditing*, pemindahan dengan proteksi, menghindari dari pembatasan akses, pembuatan tanpa lisensi/ tidak dapat persetujuan penduplikatan, pendidikan/ proses pembelajaran.

*Reverse engineering* sebagai bagian dari perancangan didefinisikan sebagai proses menganalisa suatu sistem melalui identifikasi antar komponen-komponenya dan keterkaitan antar komponen, serta mengekstraksi dan membuat abstraksi dan informasi perancangan dari sistem yang dianalisa tersebut. Konsep *reverse engineering* di industri pada dasarnya adalah menganalisa suatu produk yang sudah ada (dari produsen lain) sebagai dasar untuk merancang produk baru yang sejenis, dengan memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk parakompetitornya. ( *Wibowo, 2006* ). Kegiatan yang dilakukan meliputi 5 tahap :

1. Pembongkaran produk

Pada tahap ini dilakukan beberapa kegiatan meliputi :



- Membongkar produk yang akan ditiru, kegiatan ini disebut *product dissection*.
  - Memperlajari prinsip kerja mesin dan memahami fungsi tiap komponen.
  - Melakukan pengukuran dimensi setiap produk.
  - Membuat gambar tiap komponen dan sub-*assembly*.
  - Melakukan analisa FEM, termodinamika atau aliran fluida.
  - Menguji sifat fisik material komponen dan atau menganalisa pemilihan bahan.
  - Menganalisa proses produksi.
  - Melakukan pengkajian biaya produksi.
2. *Assembling* komponen  
Tahap ini dapat diuraikan sebagai berikut :
- Menganalisa kemudahan dalam pembongkaran maupun *assembling*.
  - Melakukan pemasangan kembali komponen.
3. *Benchmarking*  
*Bechmarking* adalah kegiatan membandingkan keunggulan dan kelemahan suatu produk sejenis dari beberapa produsen.
4. Perancangan produk baru  
Perancangan produk baru dapat dilakukan setelah kelemahan dan keunggulan produk dari berbagai produsen dianalisa dan ditabelkan.
5. *Prototype* produk  
Setelah produk dirancang, maka dilakukan pembuatan *prototype*.

#### 2.4.1 *Scanning*

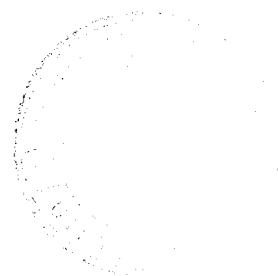
Ketika *computer aided design* (CAD) telah menjadi lebih populer, *reverse engineering* telah menjadi metode yang layak untuk membuat model virtual tiga dimensi (3D) dari bagian fisik kemudian digunakan dalam bentuk 3D CAD, *computer aided manufakturing* (CAM), *computer aided engineering* (CAE) dan perangkat lunak lain. Objek fisik dapat diukur dengan menggunakan pemindah teknologi 3D seperti : *laser scanner*, *computer tomography* dan lain-lain.

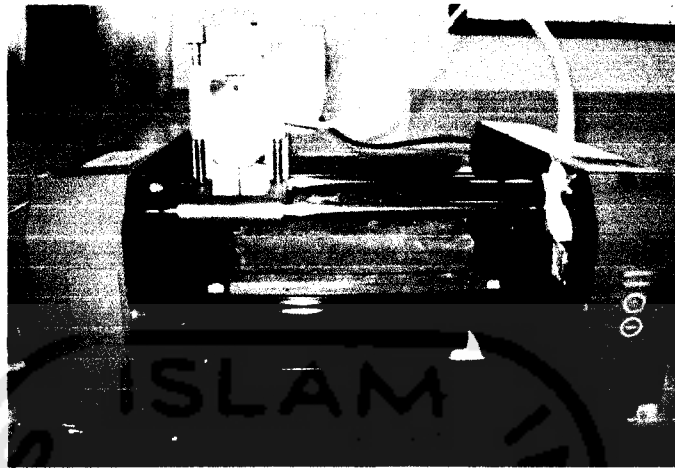
Data yang diukur biasanya digambarkan sebagai *point cloud*, tidak memiliki informasi *topologi* dan karena itu sering diolah dan dimodelkan ke

dalam format yang lebih sering digunakan seperti *triangular face mesh* dan model CAD. *Reverse engineering* juga digunakan oleh kalangan bisnis untuk membawa geometri fisik yang ada ke dalam lingkungan pengembangan produk digital, untuk mengumpulkan data dari produk yang mereka hasilkan atau untuk menilai produk-produk pesaing. Hal ini digunakan untuk menganalisa, misalnya, bagaimana sebuah produk bekerja, mengetahui bagian-bagian tiap komponen, perkiraan biaya, dan mengidentifikasi potensi paten pelanggaran dan lain-lain.

Salah satu contoh alat *reverse* perangkat mekanik adalah *3D scanner*. *3D scanner* adalah sebuah alat yang menganalisa objek benda nyata untuk mengumpulkan data tentang bentuk dan penampilan (yaitu warna). Data yang dikumpulkan kemudian dapat digunakan untuk membangun sebuah data digital, model tiga dimensi yang berguna untuk berbagai aplikasi. Aplikasi yang umum dalam teknologi ini meliputi desain industri, *orthotics*, *prosthetics*, *reverse engineering* dan *prototyping*, *quality control* (QC) dan dokumentasi artefak budaya.

*3D scanner* menurut cara kerjanya dibagi menjadi dua macam yaitu kontak dan non kontak. *3D scanner* kontak dalam pencarian objek melalui sentuhan fisik terhadap objek yang dipindahkan. Contoh mesin 3D kontak adalah *CNC scanner Roland MDX20*, *coordinate measuring machine* (CMM). Sedangkan *3D scanner* non kontak cara kerjanya adalah *scanner* mengeluarkan semacam radiasi atau cahaya dan mendeteksi dengan memantulkan kedalam dalam rangka untuk menyelidiki suatu objek atau lingkungan, salah satu cahaya yang digunakan *ultrasound* atau *x-ray*. (<http://www.wikipedia-Reverse engineering.htm>).



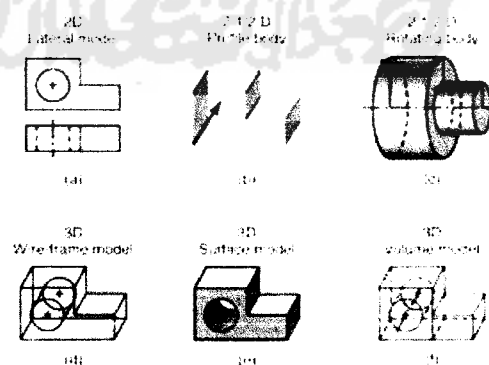


**Gambar 2-7 Mesin CNC Roland MDX20.**

## 2.5 Software CAD/CAM/CAE

CAD (*Computer Aided Design*) dan CAM (*Computer Aided Manufacturing*) adalah suatu teknologi yang digunakan pada kegiatan desain dan produksi dengan menggunakan komputer digital. (*Groover dan Zimmers, 1987*).

CAD bisa diartikan sebagai sistem komputer yang digunakan untuk membantu dalam membuat, modifikasi, analisis, atau mengoptimalkan desain. Sistem komputer ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). (*Kalpakjian dan Schmid, 2006*). Gambar 2-8 dibawah ini adalah ilustrasi dari pemodelan *software* CAD



**Gambar 2-8 Contoh tampilan bentuk model CAD**

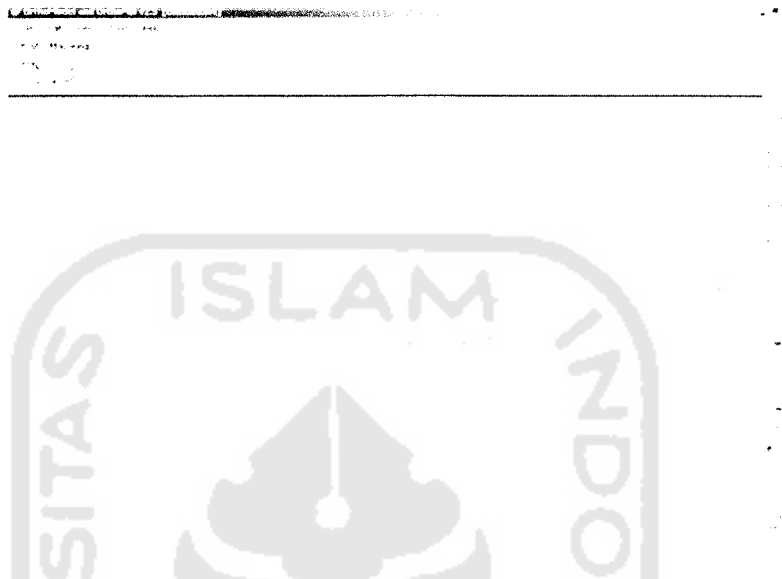
CAM adalah *software* yang digunakan untuk merencanakan, mengatur dan mengontrol operasi pada kegiatan manufaktur, seperti menentukan pahat (*tools*)

yang akan digunakan, menentukan ketinggian benda kerja (*work piece*), *feed rate*, *stepdown*, *stepover* dan menentukan semua parameter yang akan digunakan pada saat proses pemesinan. *Software* CAM juga dapat mensimulasikan proses pemesinan, waktu pemesinan dan akhirnya mengirimkan data dari komputer yang digunakan untuk mendesain ke mesin-mesin yang digunakan pada saat pemesinan hingga berakhir menjadi sebuah produk.

CAE (*Computer Aided Engineering*) merupakan *software* yang di gunakan untuk mensimulasikan desain sebelum masuk ke tahap simulasi pemesinan. *Software* CAE dapat memberikan petunjuk tentang hal-hal yang terjadi pada suatu desain seperti analisa tegangan, analisa aliran material, analisa aerodinamik dan sebagainya.

Di era persaingan global ini, paradigma lingkungan terhadap munculnya sistem industri manufaktur modern adalah dapat menghasilkan produk yang beraneka ragam dengan kualitas tinggi dan biaya rendah dalam waktu sesingkat mungkin, oleh karena itu para *engineer* menggunakan teknologi CAD/CAM/CAE untuk mengotomasikan dan mengoptimalkan desain maupun proses produksi. Hal tersebut merupakan tantangan bagi produsen perangkat lunak/*software* komputer untuk mengembangkan teknologi *software* CAD/CAM/CAE untuk mendukung industri manufaktur modern. Terbukti dari banyaknya produsen *software* yang mengeluarkan berbagai macam *software* CAD/CAM/CAE dengan berbagai macam keunggulan yang berbeda.

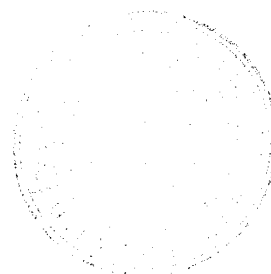
### 2.5.1 OrthoModel



**Gambar 2-9 Tampilan OrthoModel**

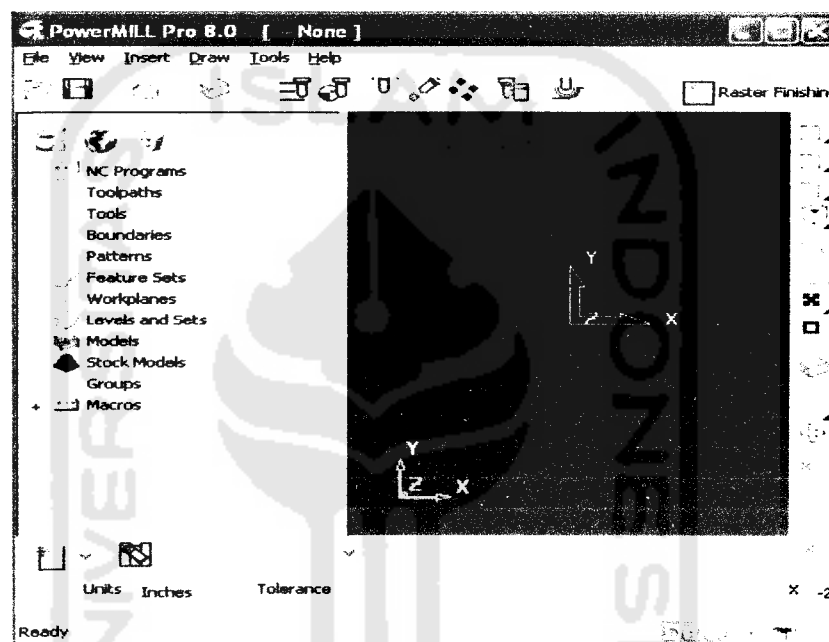
OrthoModel merupakan *software* khusus yang memberikan kemudahan bagi pemakainya dalam proses perancangan khususnya *orthotic insole*. *Software* OrthoModel ini digunakan untuk mendesain *orthotic insole* berdasarkan data hasil *scanning* dari kaki pasien. (Diktat OrthoModel Workshop )

Prinsip kerja OrthoModel adalah *Automated generate*. Dirancang khusus dalam proses perancangan *orthotic insole* dalam bentuk kompleks 3 dimensi (3D) dengan hasil kualitas yang tinggi. OrthoModel juga menyiapkan suatu model yang akan diproduksi dengan mentransfer data-data dan parameter model kedalam proses *CNC*. Dengan *software* OrthoModel pengguna juga bisa mengambil model dari hasil *scanning* dengan file *STL* kemudian dilakukan pengeditan untuk mendapatkan desain *orthotic insole*. (Diktat OrthoModel Workshop )



### 2.5.2 PowerMILL

PowerMill adalah program aplikasi CAM yang dikembangkan oleh perusahaan Delcam. *Software* PowerMill ini digunakan untuk mensimulasikan proses pemesinan dari suatu desain. Memiliki kemampuan untuk merancang, mengatur dan mengontrol operasi pada kegiatan *manufacturing*.



**Gambar 2-10 Tampilan PowerMill**

*Software* PowerMill memberikan kemudahan dalam menentukan strategi-strategi pemesinan dan parameter yang akan digunakan dalam proses pemesinan melalui simulasi dan animasi. (Delcam plc, 2002). Proses pemesinan atau proses pemotongan tergantung pada :

1. Bentuk atau model desain.
2. Jenis pahat (end mill atau boll nose) yang disesuaikan dengan benda kerja.
3. Sifat gerak relatif yang digunakan, dan
4. Material benda kerja.

Penentuan parameter dalam proses permesinan yang perlu diperhatikan adalah :

1. *Stepover* : Langkah pemakanan arah sumbu X dan Y (mm).
2. *Stepdown* : Kedalaman pemakaman arah sumbu Z (mm).
3. *Feed rate* : Kecepatan pemakanan benda kerja (mm/sec).

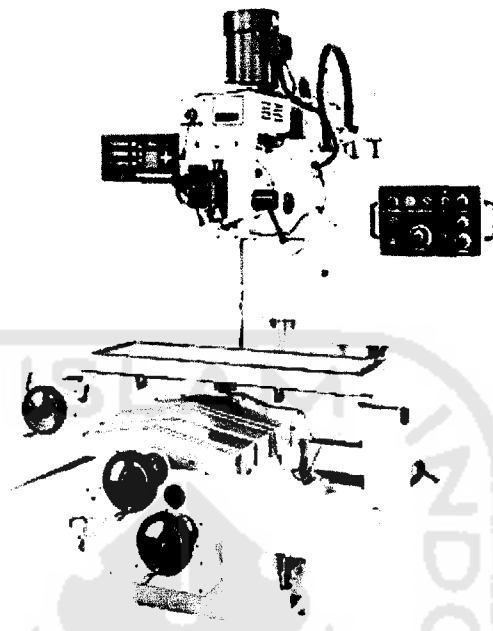
4. *Plunge rate* : Kecepatan turunnya pahat ketika akan memakan benda kerja (mm/sec).
5. *Spindle speed* : Kecepatan putar spindle (rpm).

*Software* PowerMill memiliki sistem data *transfer exchange* untuk menerima data dari file-file *software* CAD yang lain. Data output dari PowerMill berupa data G-code, data inilah yang akan di transfer ke mesin CNC untuk dilakukan proses pemesinan hingga menjadi sebuah produk.

### 2.5.3 CNC milling

Proses *milling* adalah proses menghilangkan material dengan menggunakan alat pemotong yang berputar. Proses *milling* merupakan proses yang banyak digunakan untuk membuat suatu bentuk motif tertentu pada bidang datar dengan gerak makan. Salah satu proses pemesinan CNC *Milling* adalah memakan melalui pahat silindris yang berputar dengan bagian tepi yang dipotong berkali-kali. Prinsip kerja pada proses ini adalah mengumpankan benda kerja kepada pisau potong yang berputar secara stasioner. Proses *milling* tidak hanya menghasilkan permukaan yang rata melainkan juga untuk menyelesaikan permukaan dengan berbagai macam relief. (Muin, 1989).

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah sebuah istilah umum yang digunakan untuk suatu sistem yang mengontrol fungsi-fungsi mesin perkakas dengan menggunakan instruksi kode yang diproses oleh komputer. Kelebihan dalam menggunakan mesin CNC adalah Sangat fleksibel untuk membuat produk baru hanya diperlukan suatu program baru, meningkatkan kualitas dan akurasi dari produk, waktu produksi menjadi lebih singkat, mampu membuat bentuk yang kompleks profil 2D dan 3D, mudah dalam membuat dan menyimpan program, mencegah *human error*, lebih aman dalam operasional dan meningkatkan produktifitas secara keseluruhan. Adapun kerugian dari mesin CNC adalah biaya relatif mahal terutama untuk investasi awal, *maintenance* lebih sulit dan diperlukan programmer yang ahli dan terlatih. (Diktat mata kuliah pemrograman mesin CNC).

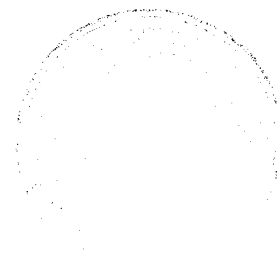


**Gambar 2-11 Mesin CNC Milling**

## **2.6 Pertukaran Data Antar Software**

Merupakan suatu proses kolaborasi yang dilakukan antara *software* yang satu dengan *software* lainnya, proses ini dilakukan secara berkesinambungan dalam suatu proses produksi, mulai dari proses desain hingga sampai proses pemesinan. Pertukaran data antar *software* sangat penting, karena suatu proses tidak bisa masuk ke tahap selanjutnya apabila hal tersebut tidak berjalan dengan baik dan benar.

Setiap *software* mempunyai karakter yang berbeda-beda, oleh sebab itu tidak semua *software* dapat menerima maupun mengirim file datanya dari ataupun ke *software* lainnya (*data exchange*). Kebanyakan *software* hanya menerima file-file data tertentu saja, selain itu ada juga beberapa *software* yang khusus ataupun dapat langsung mengirim dan menerima file data tanpa merubah dahulu file data tersebut (mempunyai *link*).





## 2.7 Material

### 2.7.1 Material proses pencetakan tapak kaki

Alginat adalah suatu senyawa dalam bentuk garam dari asam alginat yang merupakan *polisakarida* berbentuk *gel* dan diekstraksi dari *algae* coklat. Natrium alginat berupa bubuk berwarna putih sampai kekuningan, tidak berbau dan berasa, larut dalam air, mengental membentuk *koloid*, tidak larut dalam alkohol, *kloroform*, *eter* serta asam dengan  $\text{pH} < 3$ .

Bahan cetak alginat adalah suatu bahan cetak golongan *hidrokoloid* bersifat elastis yang *irreversible*. Bahan utamanya adalah garam *Natrium*, *Kalium* atau *Ammonium* alginat yang larut dalam air. Menurut Ralph Phillips, komposisi bahan cetak alginat terdiri atas : *potasium alginat* 15%, *kalsium sulfat* 16%, *zink oksida* 4%, *potasium titanium fluorida* 3%, *diatomaceous earth* 60% dan *natrium fosfat* 2%. (Susiyawan, 1995).

Bahan cetak alginat merupakan bahan cetak yang paling banyak dipakai di bidang kedokteran gigi. Karena sifat bahan yang lebih cepat mengeras dan lebih aman digunakan dibandingkan menggunakan gypsum (proses pengeringan lebih lama dan menimbulkan panas saat mencetak), maka alginat dapat juga digunakan untuk mencetak organ tubuh lain. Salah satunya untuk mencetak kaki yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini.

Alginat tersedia dalam bentuk bubuk yang bila dicampur dengan air akan terbentuk adonan cair (*fluid sol*) bersifat *plastis*. Pada keadaan *plastis* diaplikasikan pada objek yang dicetak, proses pengerasan (*setting*) terjadi beberapa menit akibat terbentuknya *colloidal* yang padat tapi *fleksibel*. Perbandingan volume air : bubuk untuk yang normal yaitu 1:1. Apabila dikehendaki adonan yang lebih encer, jumlah/volume air ditambah. Adonan yang lebih encer akan lebih mudah mengalir (*flow* tinggi) ke tempat-tempat yang lebih sempit, dan pengerasan berjalan lebih lama.

*Kalium*-alginat yang tersisa setelah pengerasan mempunyai sifat mengeluarkan air (*sineresis*), atau dapat juga mengambil air (*imbibisi*). Hal ini

mempengaruhi kekerasan permukaan model dari *gips*, atau bila hasil cetakan negatif tidak segera dicor akan mengalami distorsi bentuk.

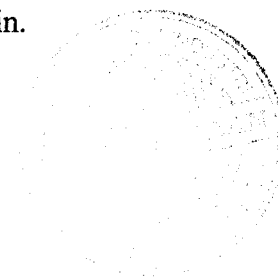
Keuntungan bahan cetak alginat yaitu: harganya murah, cukup akurat bila dipakai sesuai petunjuk penggunaan, pengadukan mudah, pengecoran mudah dan lebih aman penggunaannya. Kerugiannya adalah: terjadi perubahan bentuk, mudah sobek bila terlalu tipis, mempengaruhi kekerasan permukaan model, harus segera dicor. (*Craig dan O'Brein, 1992*).

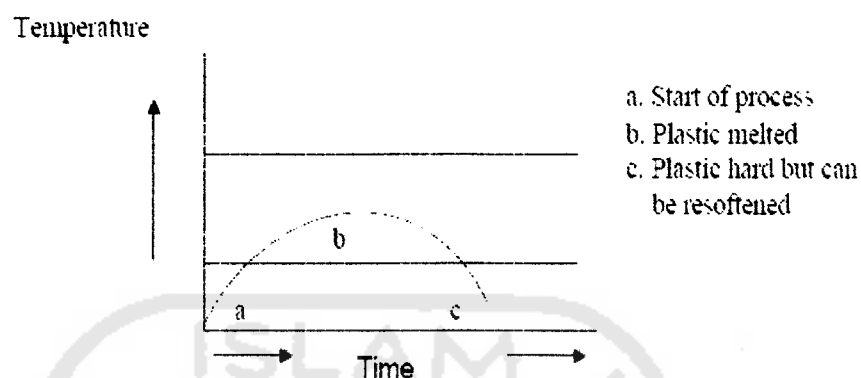
### **2.7.2 Material alat penopang tapak kaki (*Orthotic Insole*)**

Bahan utama *ortetic insole* berasal dari *polypropylene* (PP). (Diktat OrthoModel Workshop). Bahan *polypropylene* ini termasuk kedalam bahan plastik. Bahan plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer.

Polimer alam yang telah kita kenal antara lain : selulosa, protein, karet alam dan sejenisnya. Pada mulanya manusia menggunakan polimer alam hanya untuk membuat perkakas dan senjata, tetapi keadaan ini hanya bertahan hingga akhir abad 19 dan selanjutnya manusia mulai memodifikasi polimer menjadi plastik. Plastik yang pertama kali dibuat secara komersial adalah *nitroselulosa*. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting dibidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, furniture, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak – anak dan produk – produk industri lainnya.

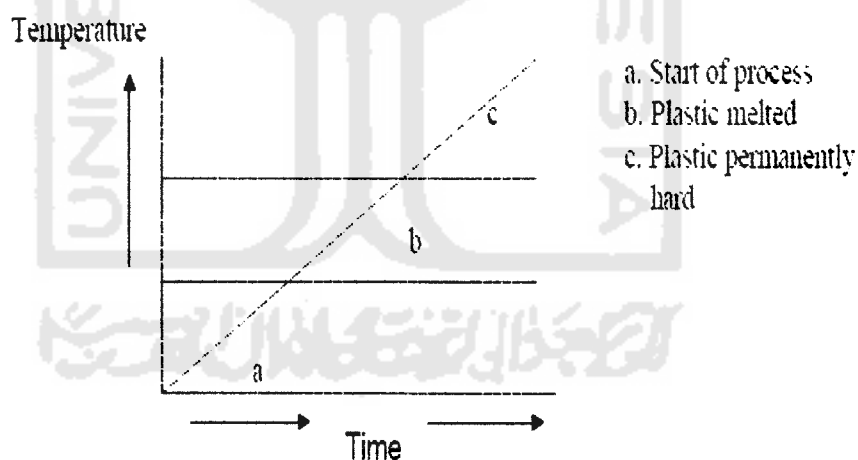
Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu : plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastic *thermoplast* antara lain : PE (*Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polysterene*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), nylon, PET (*Polyethylene Terephthalate*), PC (*Polycarbonate*) dan lain-lain.





**Gambar 2-12 Plastik *thermoplast***

Sedangkan plastik *thermoset* adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik *thermoset* adalah : PU (*Poly Urethane*), UF (*Urea Formaldehyde*), MF (*Melamine Formaldehyde*), *polyester*, *epoksi* dan lain-lain.



**Gambar 2-13 Plastik *thermoset***

Untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan atau aditif. Penggunaan bahan tambahan ini beraneka ragam tergantung pada bahan baku yang digunakan dan mutu produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan fungsinya, maka bahan tambahan atau bahan pembantu proses dapat dikelompokkan menjadi : bahan pelunak (*plasticizer*), bahan penstabil (*stabilizer*), bahan pelumas (*lubricant*), bahan pengisi (*filler*),

pewarna (*colorant*), *antistatic agent*, *blowing agent*, *flame retardant* dan sebagainya. (Surdia dan Saito, 1999).

### **POLYPROPYLENE (PP)**

*Polypropylene* adalah salah satu jenis plastik yang sangat baik bagi tubuh manusia. Plastik ini memiliki satu kelebihan dan satu kekurangan contohnya adalah:

1. Mampu menahan kimia meski dipanaskan dalam suhu tinggi (antara suhu 800° dan suhu 999°) inilah rekor terbaik bagi seluruh plastik.
2. Dapat pecah, meski tidak melukai diri sendiri dan orang lain. Plastik ini bisa pecah (bagi minuman yang dikemas dalam gelas plastik).



**Gambar 2-14 plastic jenis *polypropylene***

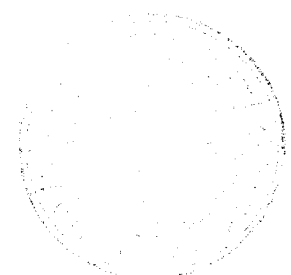
*Polypropylene* merupakan *polimer kristalin* yang dihasilkan dari proses *polimerisasi gas propilena*. *Propilena* mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Sebagai perbandingan terlihat pada Tabel 2-1. (Surdia dan Saito, 1999).

**Tabel 2-1 Perbandingan *specific gravity* dari berbagai material plastik**

<b>Resin</b>	<b><i>Specific gravity</i> Kg/ m<sup>3</sup></b>
PP	0,85-0,90
LDPE	0,91-0,93
HDPE	0,93-0,96
Polistirena	1,05-1,08
ABS	0,99-1,10
PVC	1,15-1,65
Asetil Selulosa	1,23-1,34
Nylon	1,09-1,14
Poli Karbonat	1,20

**Tabel 2-2 Temperature leleh proses termoplastik**

<b>Processing Temperature Rate</b>	
<b>Materia</b>	<b>oC</b>
ABS	180 – 240
Acetal	185 – 225
Acrylic	180 – 250
Nylon	260 – 290
Poly Carbonat	280 – 310
LDPE	160 – 240
HDPE	200 – 280
PP	200 – 300
PS	180 – 260
PVC	160 – 180



*Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190°C - 200 °C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130°C – 135 °C. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia ( *hemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah.

Penggunaan *polypropylene* dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. (Imam, 2005).

## 2.8 Produk Desain

Sebuah desain produk akan dikatakan baik jika sesuai dengan kebutuhan konsumen baik dari sisi fungsi dan maupun bentuknya, mudah untuk dibuat/dilakukan proses pemesinan, murah dan dapat memberikan peluang kepada perusahaan dalam persaingan yang menguntungkan dan yang paling terpenting yaitu selalu mengedepankan konsep KISS (*keep it super simple*. (Ulrich dan Eppinger, 1995).

Kemampuan ataupun aktifitas desain yang berhubungan dengan inovasi sangatlah luas, tergantung dari produk apa yang akan dihasilkan dan untuk siapa (pengguna). Inovasi dan ide-ide desain tidaklah terbatas pada awal perencanaan desain, tetapi sudah harus dipikirkan penerapannya pada kemampuan produksi yang meliputi diantaranya pembuatan *tool*, *jig*, *mold*, dan sistematika desain proses produksi, yaitu kemudahan di dalam menentukan proses kerja produksi secara efisien dan ekonomis. Kecepatan perubahan rancangan produk akan dipengaruhi oleh kecepatan perkembangan teknologi, kerumitan produk dan proses, pemendekan siklus perancangan dan faktor-faktor organisasi. (Kaebernick dkk, 1997).

Cara konvensional untuk mendesain cetakan berdasarkan desain dan pengembangan produk menghabiskan banyak waktu dan biaya yang mahal. Simulasi komputer bisa digunakan untuk proses pengembangan yang cepat sebelum suatu investasi penting dilakukan. (Risdiyono, 2007).