



**PENGARUH DFA PADA PERHITUNGAN KOMPLEKSITAS  
PRODUK DAN PROSES UNTUK INJECTION MOLDING.  
STUDI KASUS: CENTER PANEL**

**TESIS**

**WIBAWA PURABAYA  
0806424081**

**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**PENGARUH DFA PADA PERHITUNGAN KOMPLEKSITAS  
PRODUK DAN PROSES UNTUK INJECTION MOLDING.  
STUDI KASUS: CENTER PANEL**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**WIBAWA PURABAYA  
0806424081**

**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN PERANCANGAN MANUFAKTUR DAN PRODUK  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

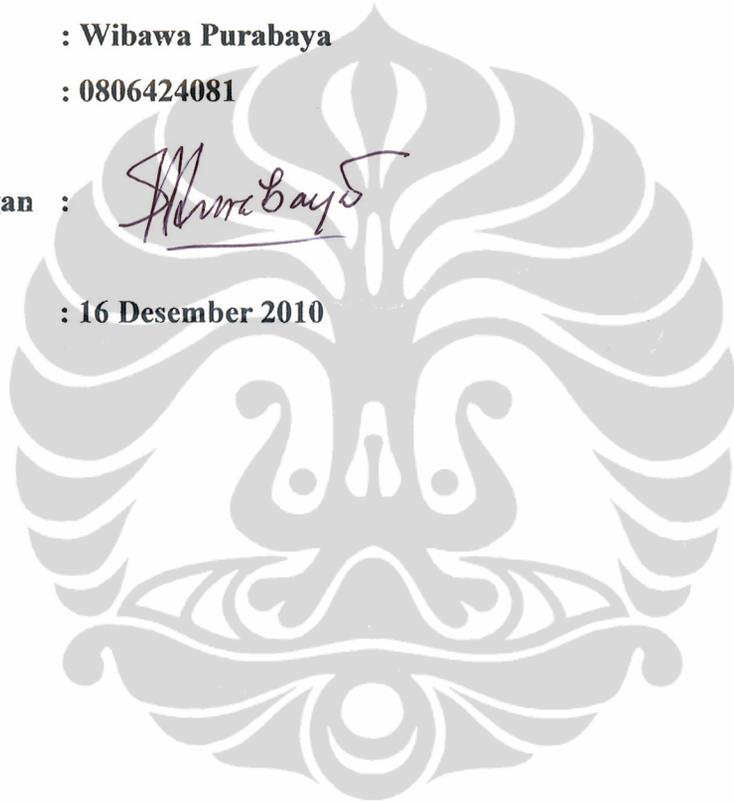
**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Wibawa Purabaya**

**NPM : 0806424081**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 16 Desember 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Wibawa Purabaya  
NPM : 0806424081  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tesis : **PENGARUH PERUBAHAN DFA PADA PERHITUNGAN KOMPLEKSITAS PRODUK DAN PROSES UNTUK INJECTION MOLDING. STUDI KASUS: CENTER PANEL**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Gandjar Kiswanto

(.....)

Pembimbing II : Ir. Hendri DS. Budiono, M.Eng

(.....)

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Tresna P. Soemardi, S.E., Msi (.....)

Penguji II : Ir. Hengky S. Nugroho, M.T.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, solawat serta salam semoga senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Atas berkat dan rahmat-Nya pula, kami dapat menyelesaikan tesis ini. Penyusunan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini pula kami ingin menghaturkan terimakasih kepada pihak pihak dibawah ini dan juga pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu atas bantuan; baik moril maupun materil, sehingga terwujudnya Tesis ini.

- 1) Bapak Ir. Hendri DS. Budiono, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, sekaligus berperan sebagai motivator dalam penyusunan Tesis ini;
- 2) Bapak Prianto, Bapak Giri Yasa, Bapak Albertus B. Ario, Bapak Muhamad Ridwan dari PT.X atas bantuannya sebagai fasilitator sekaligus nara sumber dalam pengisian kuesioner.
- 3) Bapak Wawan Wirwanto, beserta staf dari *vendor* PT. X atas bantuannya sebagai nara sumber dalam pengisian kuesioner dalam pengisian kuesioner.
- 4) Seluruh dosen , karyawan dilingkungan DTM FTUI yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama saya berkuliah di kampus ini
- 5) Hibah Riset Awal UI 2010
- 6) Istri dan anak anak dalam memberikan dukungan dan semangat dari awal hingga selesai .

Kami menyadari bahwa, tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wibawa Purabaya

NPM : 0806424081

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“ PENGARUH DFA PADA PERHITUNGAN KOMPLEKSITAS PRODUK  
DAN PROSES UNTUK INJECTION MOLDING. STUDI KASUS:  
CENTER PANEL”**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Desember 2010

Yang menyatakan



( WIBAWA PURABAYA )

## ABSTRAK

Nama : Wibawa Purabaya  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : **PENGARUH DFA PADA PERHITUNGAN KOMPLEKSITAS PRODUK DAN PROSES UNTUK INJECTION MOLDING. STUDI KASUS: CENTER PANEL**

*Design for Assembly* (DFA) membahas produk yang terdiri dari beberapa komponen. Tujuan dari DFA adalah merancang produk multi komponen sehingga proses perakitan akan menjadi lebih mudah dan waktu yang diperlukan semakin singkat. Sebab singkatnya waktu perakitan akan berimbas pada penurunan biaya produksi.

Disisi lain ElMaraghy membuat suatu model tentang kompleksitas sistem manufaktur. Menurut ElMaraghy sistem harus menyeimbangkan karakter manusia, kebutuhan, keahlian(skill) juga kemampuan di dalam teknik dan lingkungan bisnis, agar berjalan efektif. Dalam pemodelan tersebut, ElMaraghy menggunakan tiga elemen, yaitu: jumlah informasi (total), keberagaman informasi, dan kandungan informasi (information content). Dalam Pemodelan ini kompleksitas produk dan kompleksitas proses dapat dihitung masing masing.

Didalam tesis ini akan akan diperlihatkan bagaimana pengaruh perubahan DFA suatu produk terhadap kompleksitas produk dan prosesnya. Sebagai studi kasus, diambil komponen otomotif, yaitu CENTER PANEL yang merupakan hasil dari *Injection Molding* .

Kata kunci : Kompleksitas Produk, Kompleksitas Proses, *Injection Molding*, DFA,

## ABSTRACT

Name : Wibawa Purabaya

Study Program: Mechanical Engineering

Title : THE EFFECTS OF DFA ON PRODUCT AND PROCESS COMPLEXITY FOR INJECTION MOLDING. CASE STUDY: CENTER PANEL

*Design for Assembly* (DFA) deals a product which comprises of several elements. The aim of DFA is to design a multi-component product so that the assembly process is easier and the assembly time will be shorter. Because a shorter assembly time will result reducing production cost.

On the other side ElMaraghy has proposed a model which representing Manufacturing system Complexity. An effective system will be achieved if there is a balance human characteristics, needs, skills and capabilities within the technical and business. In that model, El Maraghy used three elements i.e.: total quantity of information, diversity if informations and the informaton content. Also in this model, product complexity and process complexity can be independently calculated

In this thesis it will be shown how product complexity as well as process complexity will vary as DFA is varied. As a case study. Automotif component, called CENTER PANEL which is an Injection molded part.

Key Word : *Product complexity, Process complexity, Injection Molding, DFA.*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 METODOLOGI PENULISAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	6
2.1 <i>DFMA</i>	6
2.1.1 <i>DFMA</i> Secara Umum	6
2.1.2 Parameter Penting dalam DFA Secara Manual	6
2.2 Indeks Kompleksitas Produk dan Kompleksitas Proses	7
2.2.1 Kompleksitas Produk	7
2.2.2 Kompleksitas Proses	8

2.3 Proses Injection Molding	9
2.3.1 Jenis Cacat Produk Injection Molding	11
2.3.2 Aturan Umum untuk mendesain produk <i>Mold</i>	11
2.3.3 Mold	12
2.3.4 Bahan Plastik yang digunakan	13
<b>BAB III RANCANGAN PENELITIAN</b>	14
3.1 Produk Injection molding	14
3.1.1 Pengumpulan Data Produk Injection molding	14
3.1.2 Penentuan Produk Injection molding	14
3.2 Penentuan Indeks Kompleksitas Produk dan Proses	14
3.3 Analisa Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk dan Proses Sebelum dan Setelah Perubahan Desain	19
3.4. Rekomendasi Perubahan Desain dan Proses Assembly	20
<b>BAB IV PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA</b>	21
4.1 Produk Injection molding	21
4.1.1 Produk	21
4.1.2 Mold	22
4.1.3 Proses Assembly	23
4.2 Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk, Indeks Kompleksitas Proses, dan Indeks Kompleksitas Desain	23
4.2.1.Center Panel A	24
4.2.2.Center Panel B	25
4.3 Analisa	27
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	30
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	31

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1</b> Informasi informasi yang mempengaruhi kompleksitas proses	8
<b>Gambar 2</b> Skema Mesin Injection Molding	9
<b>Gambar 3</b> Siklus proses <i>Injection Molding</i>	10
<b>Gambar 4a</b> Bagian bagian dari two plate mold.	12
<b>Gambar 4b</b> . <i>Cavity image, sprue , runner dan gate</i>	12
<b>Gambar 5</b> Bagan untuk mendapatkan kompleksitas proses (dari bawah ke atas)	15
<b>Gambar 6a</b> CTR Panel (sebelum modifikasi, tampak depan	21
<b>Gambar 6b</b> CTR Panel (sebelum modifikasi, tampak belakang)	21
<b>Gambar 7a</b> CTR Panel (setelah modifikasi, tampak depan	22
<b>Gambar 7b</b> CTR Panel (setelah modifikasi, tampak belakang	22
<b>Gambar 8a</b> Core plate	22
<b>Gambar 8b</b> Cavity Plate	22
<b>Gambar 9</b> Skema perakitan Center Panel ke dashboard , sebelum modifikasi	23

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
H	Entropy/Faktor kompresi	
$D_R$	Bobot variasi informasi yang unik	
$C_j$	Koefisien kompleksitas relatif untuk produk	
CI	Indeks kompleksitas produk	
PI	Indeks kompleksitas proses	
N	Total jumlah informasi	
J	Jumlah feature	
K	Jumlah spesifikasi	
n	Jumlah variasi informasi yang dipandang unik	
$C_f$	Koefisien kompleksitas feature relatif	
$F_N$	Jumlah aspek yang mempengaruhi feature	
$F_{CF}$	Faktor kompresi feature	
$S_N$	Jumlah aspek yang mempengaruhi spesifikasi	
$S_F$	Faktor kompresi spesifikasi	
Faktor_tingkat ke j	Faktor untuk kategori ke j yang ke sekian	
Faktor_tingkat ke k	Faktor untuk kategori ke k yang ke sekian	
$x_f$	Persentase bentuk ke sekian x yang tidak sama	
$pc_x$	Koefisien kompleksitas relatif untuk proses	
$c_{proses,x}$	Koefisien kompleksitas relatif per tiap jenis proses produksi terhadap keseluruhan total jenis proses yang digunakan untuk menghasilkan produk	

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** *Two Plate Mold* dan nama bagian-bagiannya , bahan :S50C (JIS Standar).
- Lampiran 2** Contoh Rekaman setting parameter dari sebuah *Injection Molding Machine*
- Lampiran 3** Panduan dalam mendesain produk *Injection Molding*.
- Lampiran 4** Beberapa Jenis baja yang digunakan untuk bahan baku Mold.
- Lampiran 5** Karakteristik dari beberapa bahan Plastik.
- Lampiran 6** Gambar Center Panel
- Lampiran 7** Klasifikasi *Insertion* berikut standard waktu masing masing (Sumber: Boothroyd).
- Lampiran 8** Klasifikasi Jenis *Handling* dan waktu standar masing masing. (Sumber: Boothroyd).
- Lampiran 9** Konversi dari Tabel kodifikasi dan klasifikasi Boothroyd ke dalam ranking didalam El Maraghy
- Lampiran 10** Tambahan Kasus setelah pengurangan komponen (sekrup) dalam DFA dan Kompleksitas Menurut ElMaraghy.

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pemerintah RI di dalam Kebijakan Pembangunan Industri Nasional (KIN).telah mencanangkan :”Penguatan industri manufaktur yang berkelas dunia”, sebagai salah satu tujuan pembangunan di tahun 2010-2025. Sebagai konsekuensi dari pernyataan tersebut diatas, maka pemerintah harus melakukan pembinaan terhadap industri manufaktur yang sudah ada, agar kemampuannya selalu meningkat. Selain itu juga pemerintah dapat menghimbau kepada pengusaha sehingga muncul industri baru.. Kedua cara ini ditempuh, agar Indonesia tidak terlalu bergantung pada negara lain. Kebijakan ini sangatlah tepat, karena Indonesia selama ini banyak mengimpor produk produk dari luar negeri.

Sementara itu, persaingan sangat ketat terjadi di bidang Industri Manufaktur di dunia saat ini, dengan berjalannya waktu, maka pelaku industri dihadapkan pada dua hal pokok, yaitu: bagaimana mempercepat proses produksi, sehingga produk bisa cepat dilempar ke pasar. Kedua, bagaimana menghasilkan barang yang berkualitas dengan harga yang relatif murah.

Persoalan yang pertama dapat diatasi dengan diterapkannya prinsip ”*concurrent engineering*” pada tahap desain menggantikan prinsip” *over the wall engineering*”. Prinsip yang pertama menuntut kerjasama antara desainer dan personal operator mesin perkakas dari sejak awal tahap perancangan produk. Hal ini dilakukan untuk mencegah agar sebuah desain yg telah diturunkan ke bengkel untuk dikerjakan, dikembalikan ke bagian desain karena pada saat merancang produk tsb, desainer tidak memikirkan keadaan di lapangan, sehingga pengerjaan produk tersebut sulit atau bahkan tidak mungkin. Hal ini sering terjadi pada prinsip ” *over the wall engineering*”, dimana para desainer melakukan apa yg dikehendaki tanpa meminta pertimbangan /masukan dari operator mesin.

Berbagai penelitian terus dilakukan konsultan industri maupun badan badan riset untuk menghadapi 2 tantangan besar tersebut diatas.

Boothroyd dalam penelitiannya telah berhasil mempersingkat waktu produksi dengan mempertimbangkan proses manufaktur dan perakitan suatu produk. Intinya adalah menghitung waktu dari setiap tahap produksi, termasuk juga bagaimana mengurangi jumlah komponen dari suatu produk.[1]. Dari setiap unit waktu yang diperlukan untuk produksi akan diperoleh biaya produksi, jika biaya per satuan waktu ditentukan (*man hour* dan *machine hour*).

ElMaraghy berpendapat bahwa harga sebuah produk dapat diturunkan lewat angka kompleksitasnya. Beliau membuat model kompleksitas, dimana disana dihitung secara terpisah kompleksitas produk dan prosesnya[4]. Dengan memodelkan kompleksitasnya, seseorang dapat mengubah informasi, sehingga mendapatkan angka kompleksitas yang optimal.

Dalam tesis ini akan menggabungkan konsep Boothroyd dan konsep ElMaraghy, dimana hasil penggabungannya merupakan kompleksitas total dari suatu produk.

Dengan alasan-alasan tersebut di atas terbuka peluang untuk mengkaji **“PERUBAHAN INDEKS KOMPLEKSITAS PRODUK DAN INDEKS KOMPLEKSITAS PROSES AKIBAT PENGURANGAN JUMLAH KOMPONEN. STUDI KASUS: CENTER PANEL”**

## **1.2. Perumusan Masalah**

Menentukan seberapa besar pengaruh perubahan yang dilakukan di tahap desain terhadap indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses untuk produk *injection molding* dengan mempertimbangkan efek DFA. Sehingga perlu diketahui terlebih dahulu beberapa hal berikut ini:

1. Parameter penting apa sajakah yang membentuk indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses untuk produk hasil *injection molding* ?
2. Parameter penting dalam DFA apa sajakah yang mempengaruhi proses perakitan untuk suatu produk hasil *injection molding* ?
3. Bagaimana menggabungkan parameter penting dalam DFA dengan indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses ?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Memperoleh suatu produk, yang merupakan komponen otomotif, yang telah mengalami perubahan desain, baik karena alasan penghematan waktu dan biaya produksi.
2. Menghitung indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses dari suatu komponen yang dihasilkan melalui injection molding.
3. Memasukkan proses perakitan yang dibahas dan dianalisa didalam DFA ke dalam kompleksitas produk/proses sehingga, dapat dimasukan sebagai unsur penambahan terhadap indeks kompleksitas proses. Perhitungan indeks kompleksitas tersebut akan dihitung dengan menggunakan software Excel.

### 1.4 Batasan Masalah

Luasnya ruang lingkup penelitian dan keterbatasan waktu, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Asumsi ElMaraghy yang menyatakan bahwa kompleksitas produk dan kompleksitas proses tidak saling berhubungan, masih berlaku.
- b. *Mold* yang digunakan adalah jenis *Two plate mold*. Dan dalam perhitungan indeks kompleksitas proses akan dibatasi hanya manufaktur *cavity plate* dan *core plat* saja. Untuk mengetahui bagian bagian dari mold, lihat lampiran 1.
- c. Perhitungan indeks kompleksitas proses (produk) dari *injection molded product* diawali dengan perhitungan kompleksitas *Mold*.
- d. Indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses dihitung dengan metode yang telah digunakan oleh ElMaraghy dengan bantuan software Excel.
- e. Jenis *gate* dan sistem pendingin pada *mold* diluar pembahasan tesis ini.
- f. Dalam proses *Injection Molding* parameter parameter sudah di set sedemikian rupa agar mendapatkan produk yang baik.
- g. Nilai kompleksitas yang diperoleh tidak berkaitan dengan jenis kegagalan (*defect*) dari produk.

- h. Parameter penting dalam DFA diperoleh dari Boothroyd dan hanya sebatas parameter *handling* dan *insertion* dari proses perakitan secara manual.
- i. Kompleksitas produk dari pelat logam tidak dihitung. Begitu juga dengan sekrup sekrup yang digunakan.

## 1.5 Metodologi Penelitian

### Pendekatan Masalah

Pengaruh perubahan desain terhadap indeks kompleksitas produk dan indeks kompleksitas proses dengan mempertimbangkan DFA. Oleh karena itu produk yang ingin diteliti bukanlah produk yang berdiri sendiri atau *subassembly*, namun produk yang berpasangan dengan produk lain sehingga ada proses assembly (*manual assembly*). Produk yang akan dijadikan objek penelitian berasal dari industri otomotif dan /atau vendornya. Kemudian berdasarkan produk yang ditemukan di industri. Dan memenuhi syarat syarat diatas , akan ditentukan *feature* dari produk tersebut dan dihitung kompleksitas produk maupun proses berdasarkan pemodelan dari El Maraghy [4]. Sebagai tambahan, kedalam kompleksitas tersebut akan dimasukan juga *handling* dan *insertion* sebagai bagian dari *manual assembly*.

### Sumber dan Metode Pengambilan Data

Produk yang akan dijadikan contoh kasus diperoleh melalui kunjungan ke Industri otomotif yang ada di Jakarta. Setelah ditemukan kasus yang diinginkan, kemudian data-data lebih lanjut yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dengan mewawancarai di PT. X dan vendor yang direkomendasikannya. Dan bila perlu dibuat kuesioner.

### Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari hasil wawancara dan penyebaran kuesioner akan dimasukkan sebagai parameter input di dalam model yang telah dikembangkan oleh El-Maraghy dengan bantuan software Excel.

### **Analisa Data**

Hasil pengolahan data berbentuk indeks (angka) untuk produk hasil *injection molding* sebelum perubahan desain dan sesudahnya akan mempermudah pengambilan kesimpulan yang baik atas pengaruh perubahan yang dilakukan di tahap desain.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Tesis ini disusun dalam urutan sebagai berikut :

### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan dilakukannya penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 : DASAR TEORI**

Pada bab ini dijelaskan tentang konsep proses *injection molding*, pemodelan kompleksitas produk dan kompleksitas proses, dan DFA untuk proses perakitan manual.

### **BAB 3 : RANCANGAN PENELITIAN**

Bagian ini memaparkan urutan penggunaan pemodelan kompleksitas khusus untuk produk hasil *injection molding* yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan menambahkan parameter-parameter DFA (*Handling* dan *Insertion*) ke dalam salah aspek *feature* dari penelitian terdahulu. Model kompleksitas dibangun dari informasi yang mempengaruhi produk hasil *injection molding*. Parameter pembentuk kompleksitas diperoleh dari hasil wawancara dan kuesioner.

### **BAB 4 : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Analisis hasil pengujian pemodelan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, serta gambar.

### **BAB 5 : KESIMPULAN**

Bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian pemodelan

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1. DFMA

#### 2.1.1. DFMA Secara Umum

*Design For Manufacture and Assembly* (DFMA) merupakan sebuah metode yang mula mula dikembangkan di Amerika Serikat . Metode tersebut berhasil membuahkan model ekonomi dari proses proses manufaktur, yang berbasis pada informasi desain produk dengan hanya berbekal pengetahuan tentang manufaktur yang minimal.[1]. Kekuatan DFMA terletak pada kemampuan untuk mengestimasi biaya biaya perakitan maupun biaya komponen pada awal fase desain produk

#### 2.1.2. Parameter Penting dalam DFA Secara Manual

*Design For Assembly* (DFA) adalah kegiatan dalam upaya terwujudnya kemudahan dalam perakitan (*assembly*). DFA digunakan sebaiknya pada tiap tahapan desain, terutama di bagian bagian awal desain.

Diperlukan perangkat DFA yang konsisten sehingga dapat menganalisa kemudahan perakitan dari produk produk ataupun *subassembly* yang didesain. Dengan perangkat tersebut maka komunikasi antara bagian manufaktur dan *design engineering* akan meningkat. Dan keputusan keputusan yang diambil selama proses perakitan dapat dengan baik didokumentasikan, untuk keperluan dimasa y.a.d. Dari hasil-hasil riset di universitas, disusun menjadi sebuah buku panduan (*handbook*) berjudul:” *Product Design for Assembly Handbook* “[1]. Versi lanjutan dari *handbook* tsb, dibuat *software* yang menyajikan prosedur yg sistematis untuk mengevaluasi dan memperbaiki desain produk dilihat dari kemudahan assembly nya. Prosedur tsb berfungsi sebagai perangkat bagi desainer desainer yang termotivasi, yang dengannya dapat melakukan evaluasi terhadap desain mereka sendiri dan bila memungkinkan, memperbaiki desain tersebut. Metode DFA mencapai tujuan tujuannya dengan:

1. Memberikan suatu perangkat (*tool*) kepada desainer yang menjamin bahwa pertimbangan kompleksitas produk dan perakitannya terjadi pada awal tahap dini dari desain. Hal ini mencegah bahaya terlalu focus pada fungsi produk selama tahap awal desain dengan ketidak-cukupan dalam memperhatikan harga produk dan persaingan..
2. Memandu desainer atau tim untuk menyederhanakan produk sehingga penghematan biaya perakitan dan biaya material tercapai..
3. Mengumpulkan informasi yang dimiliki *design engineer* yang berpengalaman dan menyusunnya untuk dipakai oleh desainer yang kurang berpengalaman.
4. Menerbitkan *database* yang terdiri dari waktu perakitan dan faktor-faktor biaya untuk berbagai kondisi desain dan kondisi produksi.

Analisa desain produk dari kemudahan perakitan sangat bergantung pada bagaimana produk tersebut dirakit, manual, dengan otomatisasi khusus atau otomatisasi umum (*robot*) .

Dalam tulisan ini, hanya akan dibahas perakitan secara manual. Proses perakitan manual terbagi dua kelompok terpisah, yaitu *handling* dan *insertion* dan *fastening*. Dan Boothroyd telah membuat tabel kodifikasi dan klasifikasi tentang manual handling dan insertion seperti terdapat pada lampiran 7 dan 8.. Tabel tersebut digunakan untuk perhitungan efisiensi.

## 2.2. Indeks kompleksitas produk dan Indeks kompleksitas proses

### 2.2.1. Kompleksitas Produk

Kompleksitas produk adalah suatu fungsi dari keaneka ragaman informasi ( $D_R$ ) dikombinasikan dengan upaya (*effort*) untuk merealisasi produk tersebut ( $c_j$ ), kemudian keduanya diskalakan dengan faktor yang mengandung jumlah informasi ( $H$ ). Atau dituliskan dalam bentuk rumus sbb:

$$CI_{product} = (D_{R_{product}} + c_{j,product}) * H_{product}$$

Dimana,

$$c_{j,product} = \sum_{f=1}^F x_f * c_{f,feature}$$

$C_{j,product}$  : kompleksitas relatif produk.

$X_f$  : prosentase dari feature ke f

Dan  $C_{f,feature}$  dihitung dari persamaan:

$$C_{j,feature} = \frac{F_N * F_{CF} + S_N * S_{CF}}{F_N + S_N}$$

$F_N$  dan  $S_N$  masing masing adalah jumlah dari feature dan jumlah cek spesifikasi. Dan  $F_{CF}$  dan  $S_{CF}$  diperoleh dari persamaan persamaan berikut:

$$F_{CF} = \frac{\sum_{j=1}^J factor\_level_j}{J} \quad S_{CF} = \frac{\sum_{k=1}^K factor\_level_k}{K}$$

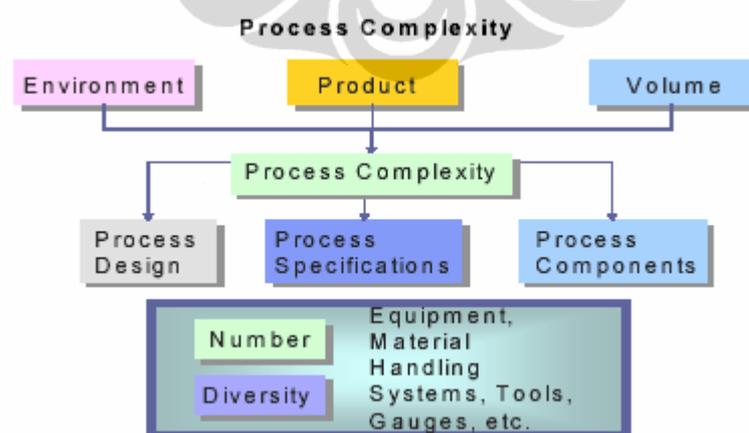
$J$  : jumlah kategori feature yang relevan.

$K$  : jumlah spesifikasi yang diperhitungkan.

$factor\_level_j$  : faktor untuk kategori ke-j.

$factor\_level_k$  : faktor untuk spesifikasi ke-k.

### 2.2.2. Kompleksitas Proses



Gambar 1. Informasi informasi yang mempengaruhi kompleksitas proses.

Kompleksitas proses dapat dimodelkan dengan persamaan dibawah ini:

$$PI_{process} = \sum pc_x + CI_{product}$$

Dimana  $pc_x$  dan  $CI_{product}$  masing masing adalah:

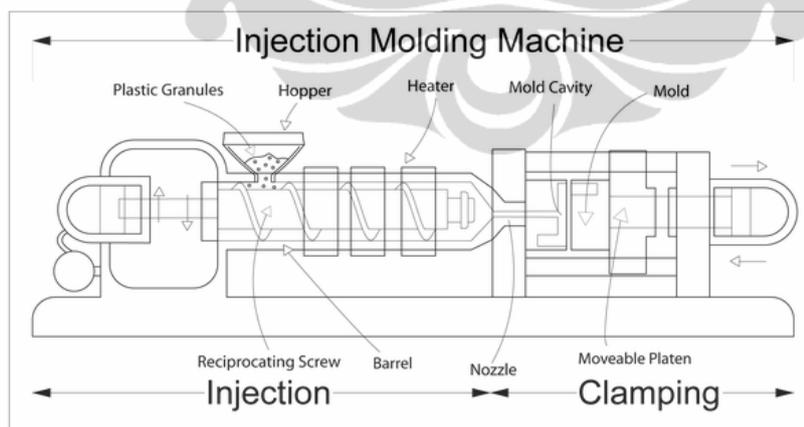
$$pc_x = (D_{R_{processx}} + c_{processx}) * H_{processx}$$

$$CI_{product} = (D_{R_{product}} + c_{j,product}) * H_{product}$$

### 2.3 Proses Injection Molding

*Injection Molding* adalah suatu proses dimana bahan plastik dipanaskan sehingga cukup lunak untuk dorong (ditekan) ke dalam  *mold*. Setelah suhu menjadi dingin maka plastik tadi akan kembali padat dengan bentuk mengikuti cetakannya ( *mold*). Proses tersebut dilakukan oleh sebuah mesin yang dikenal dengan mesin  *injection molding*.

Dibawah ini terdapat skematisasi dari sebuah mesin  *injection molding* :



Gambar 2. Skema Mesin Injection Molding.

Bagian depan adalah bagian  *injection* dan bagian belakang adalah bagian  *clamping*.

### Siklus Molding:

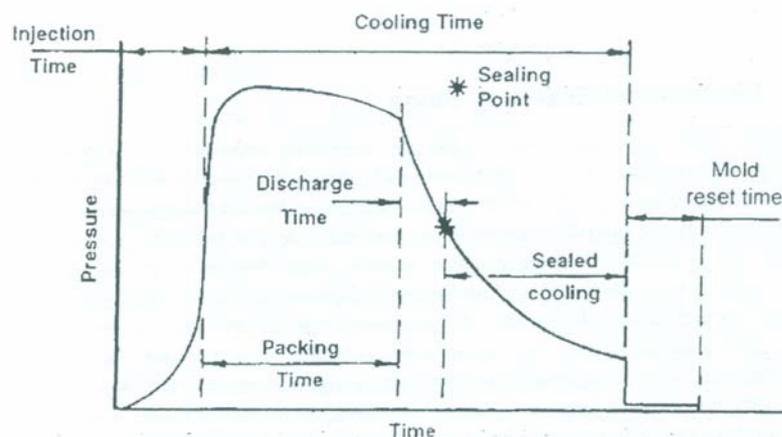
Siklus dari proses injection molding terdiri dari tiga tahap yang utama, yaitu (1) injeksi atau pengisian, (2) pendinginan (*cooling*), dan (3) *ejection* dan *resetting*. Pada tahap satu dimulai dengan gerakan maju dari *screw* untuk mengalirkan material yang meleleh dari *barrel* melalui *nozzle* kedalam  *mold*. Volume material yg dipindahkan kedalam  *mold* disebut dengan *shot*.

Tahap satu, Tahap injeksi (*injection*). Ditandai dengan kenaikan tekanan secara perlahan. Segera setelah cavity terisi penuh, tekananpun akan naik dengan cepat dan terjadilah pemampatan. Selama pemampatan aliran material masih terus terjadi, walau dengan debit yang rendah. Waktu pemampatan disesuaikan dengan material plastik yang diproses. Setelah pemampatan berakhir, *screw* ditarik kembali dan tekanan di dalam  *mold* mulai berkurang. Pada tahap inilah material dimasukkan kedalam barrel sebagai persiapan proses *molding* berikutnya.

Tahap dua, tahap pendinginan (*cooling* atau *freezing* ). Tahap ini bermula saat pengisian  *mold* berlangsung dengan cepat kemudian berlanjut sampai pemampatan dan diakhiri dengan penarikan *screw* yang menyebabkan tekanan pada  *mold* tidak ada. Penurunan tekanan tersebut dapat mengakibatkan aliran balik sampai material sekitar *gate* menjadi padat.

Tahap ketiga, tahap *resetting*. Pada tahap ini komponen dikeluarkan. Setelah itu,  *mold* kembali menutup untuk mempersiapkan siklus yang berikutnya.

Dibawah ini diperlihatkan kurva tekanan terhadap waktu selama satu siklus injeksi.



Gambar 3. siklus proses *Injection Molding*.

### 2.3.1. Jenis Cacat Produk Injection Molding

Produk *injection molding* yang baik ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu *setting parameter* mesin *injection molding*, *mold* dan jenis polimer (plastik) yang digunakan. Untuk mendapatkan hasil yang baik diperlukan operator yang berpengalaman. Tidak hanya itu, setiap produk baru yang dibuat harus terlebih dahulu dilakukan percobaan agar kegagalan dapat diminimalkan..

Beberapa jenis kerusakan yang umum ditemui pada produk *injection molding* adalah [2]:

1. *Shrinkage*, disebabkan suhu Mold terlalu tinggi
2. *Warpage*, disebabkan karena tekanan injeksi tidak sesuai atau waktu injeksi terlalu lama.
3. *Short shot*, disebabkan kekurangan pengisian dari mold
4. *Flashing*, disebabkan oleh tekanan Injeksi terlalu tinggi
5. *Sink mark* dan *void*,
6. *Weldline*, disebabkan oleh suhu material yang terlalu rendah,

Di dalam lampiran 2 diperlihatkan setting parameter dari mesin *injection molding* saat memproduksi center panel.

### 2.3.2. Aturan Umum untuk mendesain produk *Mold*

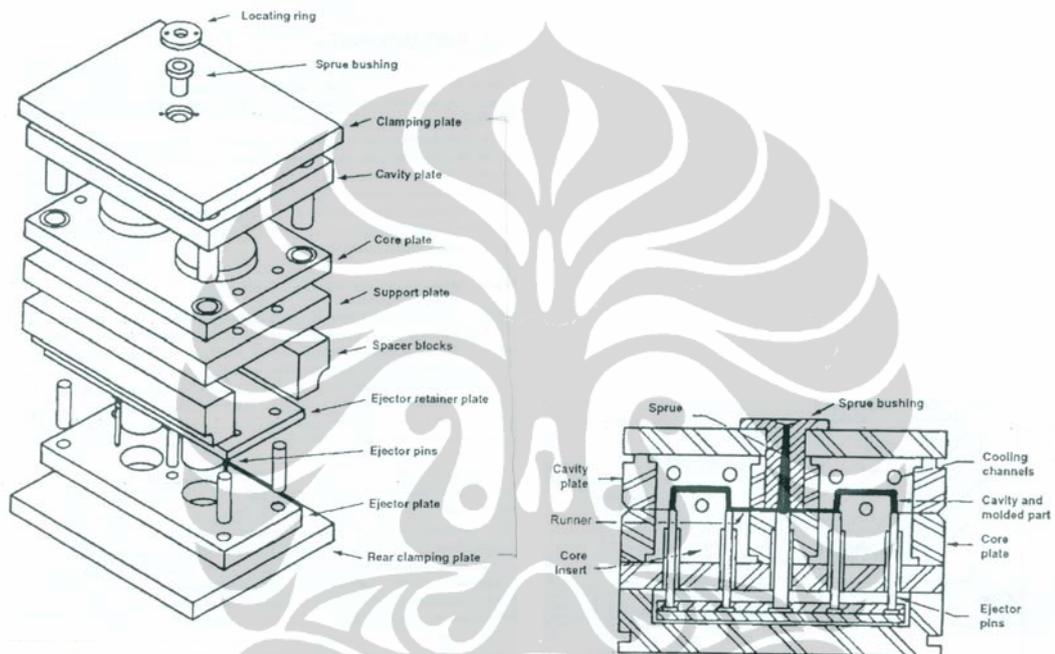
Sebagaimana telah dibahas sebelumnya bahwa desain produk yang akan dibuat dengan mesin *injection molding* punya peluang gagal. Untuk meminimalisir kegagalan yang disebabkan desain, berikut adalah aturan umum untuk mendesain *injection molded product*:

- Ketebalan produk harus seragam
- Dinding tipis
- *Draft angle* yang memadai
- Luas *ejection pin* yang memadai
- Sederhanakan *Mold*
- Rancang *parting line* agar produk dapat dikeluarkan dari *Mold*
- Tempatkan *Weldline* di tempat yang tersembunyi.

Pada lampiran 3 diperlihatkan proporsionalitas features seperti *rib*, *gusset* dan *boss* serta radius bagian dalam dan luar terhadap tebal dinding.

Juga pada lampiran yang sama diperlihatkan bagaimana mendesain sudut *draft* yang benar, agar produk tidak menempel pada mold (*core*).

### 2.3.3. Mold



Gambar 4a. Bagian bagian dari *two plate mold*.

Gambar 4b. *Cavity image, sprue, runner dan gate*.

Dari Mesin *Injection Molding*, plastik masuk ke dalam *Mold* mold melalui *sprue bushing*, kemudian masuk kedalam saluran yang dinamakan *runner*. Dan akhirnya memasuki *cavity* melalui suatu *gate*. *Gate* adalah penghubung antara *runner* dengan *cavity*, ukuran penampangnya lebih kecil dibanding luas penampang *runner*. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi efek kembalinya plastik dari *cavity*.

Ada berbagai macam tipe *mold* disesuaikan dengan produk yang akan dibuat. *Mold* yang paling simpel yang disebut *Two Plate Mold*. *Mold* ini terdiri dari

beberapa bagian seperti terdapat pada gambar diatas. Adapun ruang (*image*) yang merupakan cetakan produk terdapat pada bagian *cavity plate* dan *core plate*. Bidang kontak kedua pelat tersebut dinamakan *parting line/ parting surface*.

Mold terbuat dari baja dengan berbagai tingkat kekuatan. Pemilihan bahan ini disesuaikan umur pakai yang dikehendaki atau dengan jumlah permintaan produk dalam periode waktu tertentu. Biasanya, untuk produk yang berukuran kecil dan jumlah yang banyak . Lampiran 4 memperlihatkan jenis baja yang digunakan untuk bahan baku Mold dan juga nama pabrik pembuatnya.

#### **2.3.4. Bahan Plastik yang digunakan**

Bahan yang digunakan akan ditentukan oleh jenis produk apa yang akan dibuat. Setiap bahan plastik memiliki karakteristik yang unik seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Diantaranya sifat sifat mekanik dan titik lelehnya yang penting untuk *injection molding*.

## **BAB 3**

### **RANCANGAN PENELITIAN**

#### **3.1. Produk *Injection molding***

##### **3.1.1. Pengumpulan Data Produk *Injection molding***

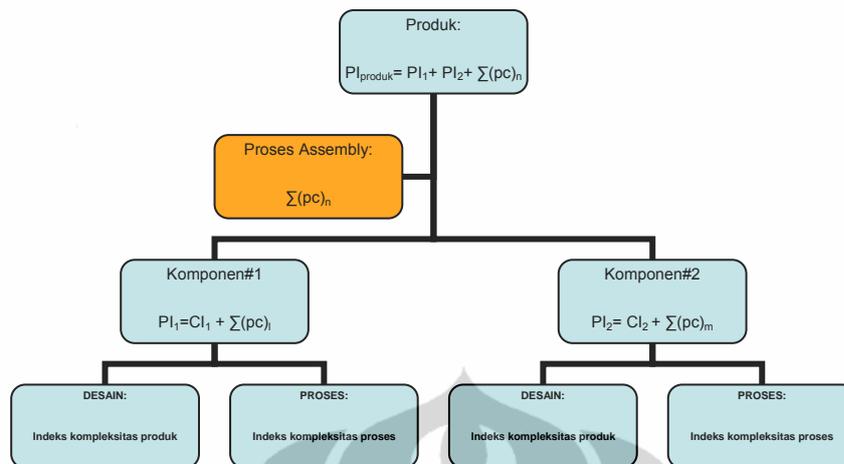
Merupakan tahapan persiapan berupa pengumpulan seluruh parameter yang berhubungan dengan produk *injection molding*, proses *injection molding*, dan proses *assembly*.

##### **3.1.2. Penentuan Produk *Injection molding***

Produk *injection molding* yang diambil sebagai obyek penelitian adalah produk yang mengalami perubahan desain dan nantinya di-assembly dengan produk lain untuk menjadi suatu komponen otomotif. Penentuan produk *injection molding* dilakukan dengan cara wawancara dengan pihak produsen otomotif tentang produk yang mengalami perubahan desain dilatarbelakangi oleh masalah di produksi ataupun sewaktu *assembly* termasuk didalamnya adalah tahapan proses pembuatan produk *injection molding*, dan tahapan proses *assembly*.

#### **3.2. Penentuan Indeks Kompleksitas Produk dan Proses**

Kompleksitas produk seperti telah dikemukakan dipandang dari aspek *feature* dan spesifikasi. Sedangkan untuk masalah kerumitan perakitan telah dilakukan oleh Boothroyd. Parameter *handling* dan *insertion* dimasukkan ke dalam aspek *feature* dari kompleksitas produk, mengingat ketika melakukan perakitan yang dijadikan dasar penyatuan adalah sinkronisasi antar *feature* dari suatu komponen dengan komponen lain. Gambar 5 menjelaskan penggabungan antara konsep ElMaraghy dan konsep Boothroyd dalam suatu produk 2 komponen.



Gambar 5. Bagan untuk mendapatkan kompleksitas proses (dari bawah ke atas)

Tahapan yang harus dilakukan dalam penentuan indeks kompleksitas produk dan proses adalah sebagai berikut:

1. Kumpulkan semua informasi berkenaan dengan produk *injection molding* baik dari sisi *feature* maupun spesifikasi, melalui *text book* dan jurnal,
2. Kumpulkan semua informasi berkenaan dengan produk *injection molding* baik dari sisi *feature* maupun spesifikasi, melalui metode wawancara. Kuesioner I diberikan tanpa melalui pendampingan. Wawancara II dilakukan untuk memperoleh seluruh parameter yang mempengaruhi produk hasil *injection molding* yang telah dipilih. Kuesioner I diberikan dengan tujuan untuk mengujikan informasi yang diperoleh dari *text book* dan jurnal untuk produk hasil *injection molding* secara umum,
3. Seleksi informasi penting dari keseluruhan informasi yang diperoleh dari *text book*, jurnal, dan wawancara II dan kuesioner I, dengan menggunakan kuesioner II. Pengisian kuesioner II didampingi bertujuan untuk memperoleh parameter penting yang mempengaruhi produk *injection molding* yang telah ditentukan,
4. Memasukkan parameter penting yang diperoleh ke dalam model kompleksitas produk dan proses ElMaraghy,

5. Perhitungan indeks kompleksitas produk sebelum dan setelah modifikasi desain. Indeks kompleksitas produk *injection molding* dan dihitung berdasarkan tahapan berikut ini:

- a. Tentukan metode *perankingan*/peringkatan untuk setiap aktivitas berdasarkan tingkat kerumitan pembuatan produk dari setiap komponen yang akan digunakan. Metode *perankingan* yang dapat dipergunakan diantaranya adalah: (1) Sistem peringkat dengan yang membagi aktivitas ke dalam 3 kelompok, 0(mudah), 0,5(sedang) dan 1(rumit); (2) Sistem peringkat dengan skala 1-10 berdasarkan tingkat kerumitan dari aktivitas, dengan menentukan aktivitas yang memiliki tingkat kerumitan tertinggi sebagai patokan nilai maksimum dari skala tersebut. Metode *perankingan* yang diambil adalah sistem peringkat dengan membagi aktivitas ke dalam 3 kelompok.
- b. Tentukan total jumlah informasi yang berhubungan dengan produk (N), yang berisikan keseluruhan informasi *feature* produk, komponen, sub-komponen, dan lainnya. selanjutnya hitung *entropy* (H) untuk pembobotan informasi dengan persamaan:

$$H = \log_2(N + 1)$$

dimana:

N = total jumlah informasi

H = faktor kompresi/entropy dari informasi

- c. Tentukan jumlah variasi informasi yang dipandang unik (n), kemudian hitung bobot rasio variasi informasi yang unik ( $D_R$ ) terhadap total jumlah informasi (N), dengan persamaan:

$$D_R = \frac{n}{N}$$

Dimana:

n = jumlah variasi informasi yang dipandang unik

- d. Tentukan masing-masing jumlah dan jenis aspek yang dipandang benar-benar mempengaruhi *feature* (J) dan spesifikasi (K) berdasarkan masing-

masing komponen pembentuk produk, sehubungan dengan usaha untuk memproduksi suatu produk sampai capaian kualitas yang diinginkan.

- e. Aspek *feature* (J) terbagi menjadi *shape*, geometri, toleransi, *tolerance stack up*. Sedangkan aspek spesifikasi (K) terbagi menjadi *General surface finish*, *side core*, *draft angle* dan *No surface discontinuity*.
- f. Buat matrik hubungan antara komponen dengan *feature* (J) dan begitu pula antara komponen dengan spesifikasi (K) dengan menerapkan sistem peringkat yang telah dipilih pada langkah awal.
- g. Hitung koefisien kompleksitas *feature* relatif ( $C_f$ ) merupakan pembobotan rata-rata dari sisi pengaruh variasi *feature* dan spesifikasi pada masing-masing komponen suatu produk, dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{f.feature} = \frac{F_N \cdot F_{CF} + S_N \cdot S_{CF}}{F_N + S_N}$$

dimana:

$F_N$  = jumlah aspek yang mempengaruhi *feature*

$F_{CF}$  = faktor kompresi *feature*

$S_N$  = jumlah aspek yang mempengaruhi pemeriksaan spesifikasi

$S_{CF}$  = faktor kompresi spesifikasi

Dengan:

$$F_{CF} = \frac{\sum_{j=1}^J \text{Faktor\_tingkat ke } j}{J}$$

Dimana:

J = jumlah aspek yang mempengaruhi *feature*

Faktor\_tingkat ke j = faktor untuk kategori ke j yang sekian ( $j^{\text{th}}$ )

Dan dengan:

$$S_{CF} = \frac{\sum_{k=1}^K \text{Faktor\_tingkat ke } k}{K}$$

Dimana:

K = jumlah aspek yang mempengaruhi spesifikasi

Faktor\_tingkat ke k = faktor untuk kategori ke k yang sekian ( $k^{\text{th}}$ )

- h. Hitung koefisien kompleksitas relatif ( $C_{j, \text{produk}}$ ), dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{j, \text{produk}} = \sum_{f=1}^F x_f \cdot C_{f, \text{feature}}$$

dimana:

$C_f$  = koefisien kompleksitas *feature* relatif

$X_f$  = prosentase bentuk ke sekian  $X^{\text{th}}$  yang tidak sama

- i. Hitung indeks kompleksitas produk ( $CI_{\text{produk}}$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$CI_{\text{produk}} = (D_{R \text{ produk}} + C_{j \text{ produk}}) * H_{\text{produk}}$$

atau

$$CI_{\text{produk}} = \left( \frac{n}{N} + C_{j \text{ produk}} \right) * \log_2(N + 1)$$

6. Perhitungan indeks kompleksitas proses manufaktur *mold* dan proses *injection molding* sebelum dan setelah modifikasi. Indeks kompleksitas masing-masing proses tersebut diatas dihitung berdasarkan tahapan berikut ini:
- Tetapkan sistem *perankingan*. Sistem perankingan yang diambil seragam dengan yang diterapkan pada kompleksitas produk.
  - Tentukan total jumlah informasi yang berhubungan dengan produk (N), yang berisikan keseluruhan informasi proses machining mold / injection molding. selanjutnya hitung *entropy* (H).
  - Tentukan jumlah variasi informasi yang dipandang unik (n), kemudian hitung bobot rasio variasi informasi yang unik ( $D_R$ ) terhadap total jumlah informasi (N)
  - Hitung indeks kompleksitas proses ( $PI_{\text{proses}}$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$PI_{proses} = \sum pc_x + CI_{produk}$$

dengan:

$$pc_x = (D_{R.proses} + c_{proses.x}) * H_{proses.x}$$

Dimana:

$C_{proses,x}$  = koefisien kompleksitas relatif per tiap jenis proses produksi terhadap keseluruhan total jenis proses yang digunakan untuk menghasilkan produk *injection molding*. Untuk sementara dianggap nol.

Sehingga:

$$PI_{proses} = D_{R.proses} * H_{proses.x} + CI_{produk}$$

7. Perhitungan indeks kompleksitas proses assembly, yaitu proses pemasangan center panel ke dashboard. Pada kasus pertama (center panel A), komponen yang lain adalah pelat penutup, dua jenis sekrup yang masing masing berjumlah dua buah. Pada kasus kedua (center panel B), komponen lainnya adalah dua buah sekrup yang mengencangkan panel tersebut pada dashboard. Untuk perhitungan kompleksitas proses perakitan, digunakan tabel konversi yang terdapat pada lampiran 9. Tabel ini akan memetakan klasifikasi yang telah disusun Boothroyd ke dalam system penentuan ranking di dalam pemodelan ElMaraghy.
8. Indeks kompleksitas produk dan proses dari tiap tahap, termasuk proses assembly, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan indeks kompleksitas Proses total. ( $PI_{total}$ )

### 3.3. Analisa Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk dan Kompleksitas Proses Sebelum dan Setelah Perubahan Desain

Hasil perhitungan sebelum dan setelah perubahan desain produk disandingkan indeksnya dan dilihat apakah dengan perubahan desain yang dilakukan akan menyebabkan indeks kompleksitas meningkat atau menurun. Indeks kompleksitas membesar menandakan semakin rumitnya dan sulitnya proses pembuatan suatu produk. Sehingga biaya produksipun akan semakin meningkat apabila indeks kompleksitas membesar

### **3.4. Rekomendasi Perubahan Desain dan Proses *Assembly***

Dari hasil analisa akan dikeluarkan perubahan desain produk yang baru yang memiliki indeks kompleksitas lebih rendah.



## BAB 4

### PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA

#### 4.1. Produk Injection Molding

##### 4.1.1. Produk

Produk ini dinamakan Center Panel (CTR Panel) Panel dan dibuat melalui proses *injection molding*. CTR Panel merupakan salah satu komponen yang ditempel ke *dashboard* dalam kabin kendaraan niaga Mitsubishi T120 SS. Komponen ini terbuat dari bahan ABS. Desain awal komponen ini adalah untuk difungsikan dengan *Air conditioner*. Namun karena di Indonesia digunakan sebagai kendaraan niaga yang tak ber AC maka celah memanjang di bagian tengah dari komponen Center Panel ditutup pelat logam yang dikencangkan oleh dua buah sekrup ke *dashboard*. Selanjutnya, center panel pertama disebut center panel A (lihat gambar 6a dan 6b).



Gambar 6a. CTR Panel A  
(sebelum modifikasi, tampak depan)



Gambar 6b. CTR Panel A  
(sebelum modifikasi, tampak belakang)



Gambar 7a. CTR Panel B  
(setelah modifikasi, tampak depan)



Gambar 7b. CTR Panel B  
(setelah modifikasi, tampak belakang)

Untuk menghemat biaya material dan produksi (*cost down*), maka pelat logam yang digunakan untuk menutup celah-celah tadi digantikan oleh plastik yang menjadi satu kesatuan dengan center panel setelah dilakukan modifikasi pada *molonya*. Center panel tersebut dinamakan center panel B.

Lampiran 6 memperlihatkan gambar center panel setelah ditutup.

#### 4.1.2. Mold



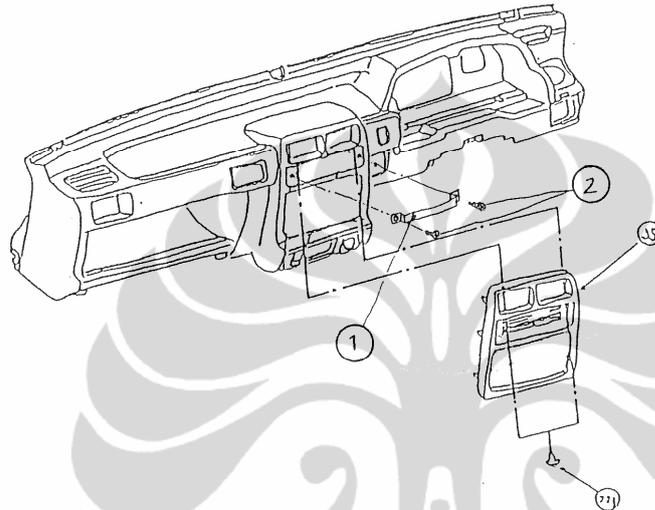
Gambar 8a. Core plate



Gambar 8b. Cavity Plate

Gambar diatas merupakan Mold dari Center Panel. *Mold* terbuat dari Plastik Mold *Steel*.

#### 4.1.3. Proses Assembly



Gambar 9. Skema perakitan Center Panel ke dashboard , sebelum modifikasi.

Gambar diatas menunjukkan *assembly* center panel ke dashboard sesuai dengan sebelum modifikasi terhadap center panel dilakukan. Pada gambar terlihat pelat logam penutup celah ditempelkan pada *dashboard* dengan menggunakan dua buah sekrup. Setelah itu kemudian center panelnya dipasang juga menggunakan dua buah sekrup.

#### 4.2. Hasil Perhitungan Indeks Kompleksitas Produk, Indeks Kompleksitas Pattern dan Indeks Kompleksitas Proses Sebelum Desain

Kompleksitas Produk sebelum desain dihitung berdasarkan seluruh informasi yang berhasil dikumpulkan melalui studi literatur, jurnal, wawancara, dan kuesioner. Seleksi informasi dilakukan melalui kuesioner menghasilkan parameter penting yang menjadi input untuk pembuatan matrik pengaruh aspek *feature* dan spesifikasi terhadap bagian dari center panel.

#### 4.2.1 Center Panel A:

	Feature Complexity	Weighted feature complexity
Boss	0.06	0.00
Gusset	0.00	0.00
C'lever snap elmnt	0.19	0.01
Hook	0.21	0.01
Rectnglr cuts	0.06	0.00
Slotted hole	0.15	0.01
Ejector holes	0.15	0.03
Mounting hole	0.25	0.01
(sur) faces	0.31	0.13
rel prod complexity,		0.21

$N = 364$   
 $n = 168$   
 $H = 8.51$   
 $D_R = 0.46$

CI= 5.74

#### Proses Manufaktur Mold

	Total informasi (N)	Informasi yang unik(n)	$H_{process,x}$	$D_{R process,x}$	$pc_x$
Drilling hole	13	3	3.81	0.23	0.88
Primary (roughing + semi finishing)	2	2	1.58	1.00	1.58
Secondary (Finishing)	2	2	1.58	1.00	1.58
Matching	1	1	1.00	1.00	1.00
Surface Etching	1	1	1.00	1.00	1.00
	<b>Total pcx</b>				<b>6.05</b>

CI= 5.74

CI : product complexity Index

PI= 11.78

PI : Proses Complexity Index

### Proses dalam Injection Molding

	Total (N)	unik (n)	Hprocess,x	DR process,x	pcx
Pengisian Barrel	1	1	1.00	1.00	1.00
Pemanasan material	1	1	1.00	1.00	1.00
Injection	2	2	1.58	1.00	1.58
Cooling	1	1	1.00	1.00	1.00
Ejection	1	1	1.00	1.00	1.00
	<b>Total pcx</b>				<b>5.58</b>

PI(awal)= 11.78 CI : product complexity Index

PI(akhir)= 17.37 PI : Proses Complexity Index

### Kompleksitas Proses pada saat Perakitan (Assembly):

#### Kasus 1:

N=	6
n=	4

H=	2.81
D <sub>R</sub> =	0.67

	Number	alpha/beta symmetry	Alignment	holding req'rd	access difficulties	vision restriction	SUM	AVG
CTR Panel	1	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.40
cover plate	1	0.50	1.00	1.00	0.00	0.00	2.50	0.50
screw_1	2	0.00		1.00	0.00	0.00	1.00	0.25
screw_2	2	0.00		1.00	0.50	0.50	2.00	0.50
	6							

	Feature Complexity	Weighted feature complexity
CTR Panel	0.40	0.07
cover plate	0.50	0.08
screw_1	0.25	0.08
screw_2	0.50	0.17
process complexity		0.40

PI= 2.99

#### 4.2.2 Center Panel B:

	Feature Complexity	Weighted feature complexity
Boss	0.06	0.00
Gusset	0.00	0.00
C'lever snap elmnt	0.19	0.01
Hook	0.21	0.01
Rectnglr cuts	0.06	0.00
Ejector holes	0.15	0.03
Mounting hole	0.25	0.01
(sur) faces	0.31	0.16
rel prod complexity,		0.23

$N = 355$   
 $n = 162$   
 $H = 8.48$   
 $D_R = 0.46$

CI= 5.79

#### Proses Manufaktur Mold

	Total informasi (N)	Informasi yang unik(n)	$H_{process,x}$	$D_{R process,x}$	$pc_x$
Drilling hole	13	3	3.81	0.23	0.88
Primary (roughing + semi finishing)	2	2	1.58	1.00	1.58
Secondary (Finishing)	2	2	1.58	1.00	1.58
Matching	1	1	1.00	1.00	1.00
Surface Etching	1	1	1.00	1.00	1.00
	<b>Total pcx</b>				<b>6.05</b>

CI= 5.79

CI : product complexity Index

PI= 11.84

PI : Proses Complexity Index

#### Proses dalam Injection Molding

	Total (N)	unik (n)	Hprocess,x	DR process,x	pcx
Pengisian Barrel	1	1	1.00	1.00	1.00
Pemanasan material	1	1	1.00	1.00	1.00
Injection	2	2	1.58	1.00	1.58
Cooling	1	1	1.00	1.00	1.00
Ejection	1	1	1.00	1.00	1.00
	<b>Total pcx</b>				<b>5.58</b>

PI(awal)= 11.84 CI : product complexity Index

PI(akhir)= 17.43 PI : Proses Complexity Index

#### Kompleksitas Proses pada saat Perakitan (Assembly):

##### Kasus 2:

N=	3	H=	2.00
n=	2	D <sub>R</sub> =	0.67

	Number	alpha/beta symmetry	Alignment	holding req'd	access difficulties	vision restriction	SUM	AVG
CTR Panel	1	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.40
cover plate	0	0.50	1.00	1.00	0.00	0.00	2.50	0.50
screw_1	0	0.00		1.00	0.00	0.00	1.00	0.25
screw_2	2	0.00		1.00	0.50	0.50	2.00	0.50
	3							

	Feature Complexity	Weighted feature complexity
CTR Panel	0.40	0.13
cover plate	0.00	0.00
screw_1	0.00	0.00
screw_2	0.50	0.33
process complexity		0.47

PI= 2.27

### 4.3. Analisa

Indeks kompleksitas proses (total) adalah sbb:

Center Panel A:

CI	pcx(1)	pcx(2)	pcx(3)	PI,total
5.74	6.05	5.58	2.99	20.36

Center Panel B

CI	pcx(1)	pcx(2)	pcx(3)	PI,total
5.79	6.05	5.58	2.27	19.69

Waktu perakitan center panel (sebelum modifikasi)

	No. of items	Tool acquire time	Handling code	Handling time	Insertion code	Insertion time	Total time	Minimum part count
	RP	TA		TH		TI	$TA+RP*(TH+TI)$	
Center Panel	1		30	1.95	04	1.8	2.75	
Screw	2	2.9	11	1.80	31	5.3	17.10	
Cover plate	1		20	1.80	03	5.2	7.00	
screw	2	2.9	11	1.80	50	9.0	24.50	
						$\Sigma$	<b>51.35</b>	

## Waktu perakitan center panel (setelah modifikasi)

	No. of items	Tool acquire time	Handling code	Handling time	Insertion code	Insertion time	Total time	Minimum part count
	RP	TA		TH		TI	$TA+RP*(TH+TI)$	
Center Panel	1		30	1.95	04	1.8	2.75	
screw	2	2.9	11	1.8	50	9.0	24.50	
						$\Sigma$	<b>27.25</b>	

1. Kompleksitas proses center panel A **lebih besar** dari B. Hasil ini diperoleh dari perbedaan pada kompleksitas produk masing masing komponen. Perbedaan nilai kompleksitas akan semakin jelas, jika kompleksitas produk dari pelat penutup tidak diabaikan. (Disini, perhitungan kompleksitas produk hanya dilakukan terhadap produk injection molding saja )
2. Kompleksitas proses *machining mold* dan proses *injection molding* untuk kedua komponen adalah **sama**.
3. Indeks kompleksitas proses assembly menurut metode ElMaraghy menurun dari 2.99 (sebelum modifikasi) ke 2.27 (setelah modifikasi). Ini berarti penurunan sebesar  $\approx 24.1\%$  dari kompleksitas sebelumnya. Untuk mengetahui lebih jauh mengenai angka kompleksitas proses perakitan, penulis mencoba menghitung kasus tambahan dimana dua sekrup pengencang center panel ditiadakan. Perhitungan dilakukan pada lampiran 10. Kompleksitas yang dihasilkan pada kasus ini adalah 1.40. Jadi prosentase terhadap kompleksitas proses perakitan awal adalah sebesar 53.2%.
4. Dari perhitungan waktu perakitan panel A membutuhkan waktu 51.35 detik, sedangkan untuk panel B adalah 27.25 detik. Ini berarti setelah dilakukan penyempurnaan waktu perakitan hampir 2x lebih cepat.
5. Dari analisa DFA juga terjadi pengurangan biaya komponen; yang semula 6 item, menjadi 3 item saja.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan pengamatan nilai indeks kompleksitas center panel A dan center panel B, dapat ditarik kesimpulan :

1. Kenyataan bahwa kompleksitas proses (total) panel B (modifikasi) lebih kecil dari panel A (awal) memberi sinyal bhw kompleksitas suatu produk dapat diperkirakan pada tahap awal perancangan.
2. Pernyataan pada butir diatas, masih hrs dibuktikan kekonsistenannya dengan diterapkan kepada produk lain.
3. Perhitungan kompleksitas diatas belum mencakup waktu serta biaya yang dapat dihemat. Untuk itu tidak dapat menggantikan peran DFA dalam tahap desain.

**DAFTAR REFERENSI**

Boothroyd, G., Dewhurst P., Product Design for Manufacture . Marcel Dekker Inc, NewYork , USA, 2002.

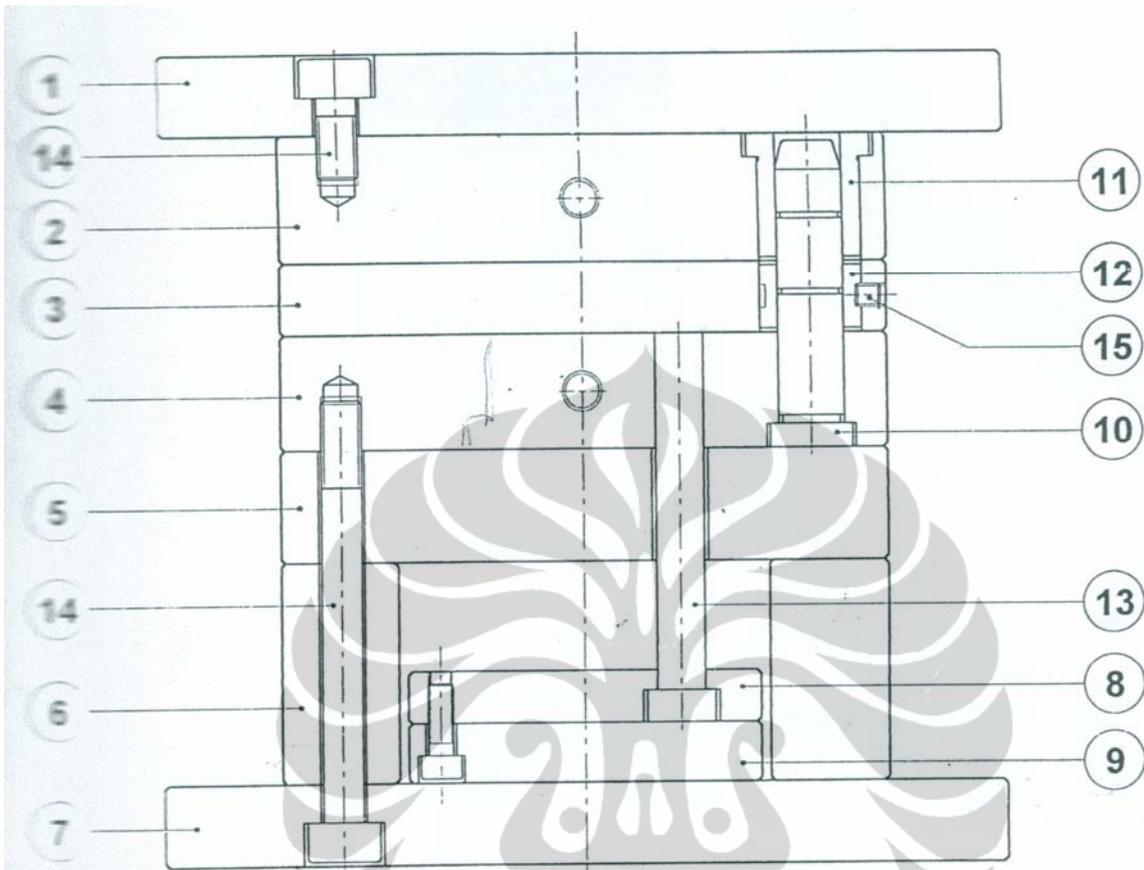
Bryce, Douglas M., Plastic Injection Molding ; material Selection and Product Design Fundamental, Volume II: Fundamentals of Injection Molding series, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn , Michigan, USA, 1997.

Pye, R.G.W., Injection Mold Design, Longman Scientific & Technical, Singapore, 1989.

ElMaraghy, W.H., Urbanic, R.. J., Modeling of Manufacturing Systems Complexity, IMS Center, Faculty of Engineering , University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, .....

Urbanic, R. J., ElMaraghy, W. H., Assessing the complexityof a recovered Design and its Potential Reesign Alternatives, roceedings of the 19th CIRP Design Conference-Competitive Design, Cranfield University, 30-31 March 2009, pp202.

**Lampiran 1:** *Two Plate Mold* dan nama bagian-bagiannya , bahan :S50C (JIS Standar)



ITEM NO.	DESCRIPTION	MATERIAL (JIS)
1	TOP CLAMPING PLATE	S50C
2	CAVITY PLATE (A)	S50C
3	STRIPPER PLATE	S50C
4	CORE PLATE (B)	S50C
5	INTERMEDIATE PLATE	S50C
6	SPACER BLOCK	S50C
7	BOTTOM CLAMPING PLATE	S50C
8	EJECTOR RETAINER PLATE (A)	S50C
9	EJECTOR PLATE (B)	S50C
10	GUIDE PIN	SUJ-2
11	GUIDE BUSH (A)	SUJ-2
12	GUIDE BUSH (B)	SUJ-2
13	RETURN PIN	SUJ-2
14	SOCKET HEAD CAP SCREW	-
15	SOCKET HEAD SET SCREW	-

PARAMETER SETTING : MACHINE CINCINNATI VT. 440 ( 396 Ton ) VT. 300 ( 275 Ton )

CUSTOMER	PT. KTB	M/C NO	04	CYCLE TIME	80 - 85 SEC	PREPARED BY	CHECKED BY
PART NAME	CENTRE PANEL	SORT WEIGHT	150,10 GR	CAVITY	1 ( SATU ) PCS	<i>Yuswandi</i> YUSWANDI	<i>F. Sustianto</i> F. SUSTIANTO
PART NO	MB 680467	RUNNER WEIGHT	5.35 GR	DATE	19 APRIL 2005		
MATERIAL	ABS TORAY 100 MPF	COLOUR	BLACK	MC RUN	SEMI AUTO		

#### HEATER. 15

NOZZLE	OLI	ALARM BAND	FEED THROAT
200 °C	45°C	20 %	45°C

ZONE I	ZONE II	ZONE III
235 °C	230 °C	220 °C

#### EJECTOR.13

FWD SPD1	FWD POS2	FWD SPD2	FWD LIMIT
40 Mm/S	33 Mm/S	45 Mm/S	54 Mm/S
RETRACT LIMIT	RETRACT SPEED	PULSE RETRACT	DWELL
25,5 Mm/S	200 Mm/S	- Mm/S	- Sec

#### INJECTION. 17

X. FER POSITION	SHORT SIZE
10 Mm	55 Mm

5	4	3	2	1
Mm/S	Mm/S	Mm/S	Mm/S	Mm/S
		22	24	15

#### EXTRUDER.19

DEC BEFORE	SHORT SIZE	DEC. AFTER
Mm	55 Mm	1,5 Mm

1	2	3	4	5
95 %	- %	- %	- %	- %
33 Bar	- Bar	- Bar	- Bar	- Bar

#### CLAMPING. 12

CLOSE SPEED	SLOW DOWN	MOULD	PROTECT
180 Mm/S	275 Mm	35 Bar	15 Sec

OPEN LIMIT	OPEN FAST	BREAK AWAY	MOULD TOUCH
450 Mm/S	275 Mm/S	38,5 Mm/S	105 Mm/S
SLOW DOWN			
435 Mm/S			
FAST			
38,5 Mm/S			

#### FILL PRESURE HI LIMIT.18

155 Bar	HYD X FER
	Bar

HOLD	PACK
4 Sec	3,5 Sec
135 Bar	145 Bar
135 Bar	145 Bar
120 Bar	140 Bar
- Bar	- Bar
- Bar	- Bar

#### EJECTOR. 13

PULSE NO.	1 X
START EJECT	450 Mm
RETRACT OVERRI	550 Mm

#### TIME COUNTER.16

INJECT HIGH	10 Sec
PACK	4,5 Sec
HOLD	4,5 Sec
COOLING	40 Sec
EXTRUDER DELAY	Sec
SLED RETRACT	Sec
OPEN DWELL	Sec

#### REMARKS

Material Oven : 80 - 85°C  
Mould Cooling Core used Cooling Tower. Cavity used MTC : 55 - 65°C  
Material resin 100%

Lampiran 2: Contoh Rekaman setting parameter dari sebuah *Injection Molding Machine*



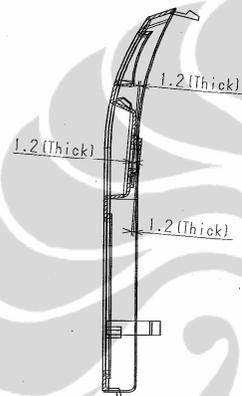
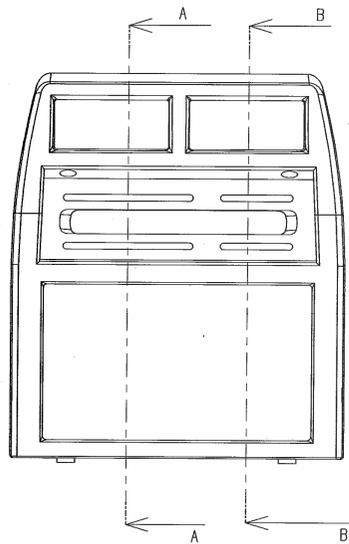
BOHLER TOOL STEELS	AISI	DIN	ASSAB	SIS	DAIDO	JIS	HITACHI	KRUPP	THYSSEN	WERKSTOFF	AF NOR
<b>COLD WORK TOOL STEELS</b>											
K-460 AMUTIT S	O1	100Mn Cr W 43	DF-2	-2140		SKS 3	SGT	2510	2842	t.2510	90 MWCV 5
K-100 SPECIAL K.	D3	X 210 Cr 12	XW-5			SKD 1	CRD	2436	2080	t.2080	Z 200 C 12
K-105 SPECIAL KNL.	-D2	-X 165 Cr Mo 12	XW-41	-2310		SKD 11	-SLD	2379	2379	t.2601	-Z 160 GDV 12
K-110 SPECIAL KNL EXTRA	D2	X 155 Cr V Mo 121								t.2379	
K-455 MY EXTRA	S1	60 W Cr V7	M-4	2710		SKD 41	YSR	2550	2550	t.2550	-55 WC 20
<b>HOT WORK TOOL STEELS</b>											
W-302 US ULTRA 2	H13	X 40 Cr Mo V51	8407	2247		SKD 61	DAC	2344	2344	t.2344	Z35 GDV 2 L
<b>MACHINERY STEELS</b>											
V-155 VCN 150	4337	34 Cr Ni 6	705	2347		SNCM 1		6582	TEW 6582	t.6582	-35 NCD 6
V-320 VCL 140	4140	41 Cr Mo 4	709	2244		SCM 4		7225	TEW 7225	t.7223	42 CD 4
K-945 EMS 45	C 1045	C 45 W	760	1650	DAK S45	S 45 C		1191	1730	t.1730	C 45 D
<b>STAINLESS STEELS</b>											
A-120 AS 4 W	316	X5 Ni Mo 18 10	926	2347		SUS 316		NR 4401	REM 4401	t.4401	Z5 CND 1711
A-500 AS 2 W	304	X5 Cr Ni 18 9	911	2332		SUS 304		NR 4301	REM 4301	t.4301 LW	Z5 CN 1809
N-350 K W B	431	X23 Cr Ni 17		1650		SUS 431		NR 4057	REM 4057	t.4057	Z15 Cn 16.02
<b>HEAT RESISTANT STEELS</b>											
H-525 ANITHERM FFB	-314	X15 Cr Ni Si 2520		2361		SUH 310		FT 4841	TM 4841	t.4841	Z10 CNS 2520
H-550 ANITHERM FF	-308/305	X15 Cr Ni Si 2012						FT 4864	TM 4864	Z15 CNS 2012	
<b>PLASTIC MOULDING STEELS</b>											
M-300 WKW 35 M	420	X35 Cr Mo	STAVAC		PAK 90	SUS 538	HPM 38	2083	2083	t.4127	
M-201 ECO PLUS K 456	P 20	40 Cr Mn Mo 7	718	2541	PX 4		HPM 22	2311	2311	t.2311	40 CMD 8

Lampiran 4: Beberapa Jenis baja yang digunakan untuk bahan baku Mold.

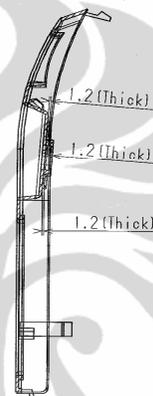
1	Plastic Materials	Polypropylene		Polyvinyl chloride		Polyethyl methacrylate (acrylic)	Polycarbonate			Polyamide (nylon)					
2	Grade	General		Soft	Hard		General			Nylon 6		Nylon 66		Nylon 11-12	Nylon-46
3	Filler	—	Glass fiber 40%	—	—	—	—	Glass fiber 10% or less	Glass fiber 10~40%	—	Glass fiber 30%	—	Glass fiber 30%	—	Glass fiber 45%
4	Abbreviations	PP	PP-GF	S-PVC	H-PVC	PMMA	PC	PC-GF	PC-GF	PA6	PA6-GF	PA66	PA66-GF	PA11-12	PA46-GF
5	Drying temperature (°C)	—	—	—	—	70~100	120	120	120	80	80	80	80	70~80	80
6	Drying time (hr)	—	—	—	—	2~6	>4	>4	>4	8~15	8~15	8~15	8~15	8~15	8
7	Injection forming cylinder temperature (°C)	200~300	200~300	160~190	170~210	190~290	270~380	270~380	270~380	240~290	240~290	260~300	260~300	190~270	280~320
8	Injection molding tool temperature (°C)	20~90	20~90	10~20	10~60	40~90	80~120	80~120	80~120	40~120	40~120	40~120	40~120	20~100	80~120
9	Injection molding pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	703~1410	703~1410	562~1760	703~2810	703~1410	700~1410	700~1410	1050~2310	—	—	—	—	—	—
10	Compression molding temperature (°C)	171~288	171~288	140~176	140~204	149~218	249~326	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Compression molding pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.35~0.70	0.35~0.70	35.2~141	52.7~141	141~703	0.70~1.41	—	—	—	—	—	—	—	—
12	Molding shrinkage rate (%)	1.0~2.5	0.2~0.8	1~5	0.1~0.5	0.1~0.4	0.5~0.7	0.2~0.5	0.1~0.2	0.5~1.5	0.4~0.6	0.8~1.5	0.5	0.3~1.5	0.2~0.9
13	Specific gravity (density)	0.90~0.91	1.22~1.23	1.16~1.35	1.30~1.58	1.17~1.20	1.19~1.20	1.27~1.28	1.24~1.52	1.12~1.14	1.35~1.42	1.13~1.15	1.38	1.03~1.08	1.82
14	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	210~400	560~1000	100~240	400~500	470~770	550~700	630~675	840~1760	700~850	1650	770~850	1850	530~550	2040
15	Tensile elongation (%)	100~800	2~4	200~450	40~80	2~10	100~130	5~10	0.9~5.0	200~300	3~6	150~300	3	300~500	—
16	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	260~562	387~492	63~120	562~914	844~1270	844	984	914~1480	914	1340	1050	2070	—	—
17	Flexure strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	352~492	492~773	—	703~1120	914~1340	949	1050	1200~2250	—	1270~2320	429~1200	471~1260	—	—
18	Izot impact strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.2~110	7.6~11	2.2~100	Wide variation	1.6~2.7	75~100	6.5	11	3.3~5.4	16	4.3~5.4	12	10~30	130~150
19	Rockwell hardness	R50~110	R102~111	A50~100	D68~85	M85~105	R115~125	M75~85	M88~95	R119	M101	R120	M100	R106~109	R107~120
20	Heat resistance temperature (continuous) (°C)	88~115	121~138	—	54.2~79.2	59.8~93	121	135	135	82~121	93~149	82~121	82~121	82~149	—
21	Deflection temperature under load (°C)	a) bending stress 18.6kgf/cm		—	59.8~76.5	73.7~99	129~140	142	143~149	68.1	210	74.8	77.0	54.2	290
		b) bending stress 4.6kgf/cm		—	57.0~82	79.2~107	132~143	146	149~154	203	239	208	236~239	167	—
22	Applications	Washing machines Rotors (Washing tub)		Electric wires	Telephones (body)	Transparent covers	Insulating bolts and nuts Valves Keyboard cases			Gears, cams, bearings Packaging materials					Connectors
		Battery cases TV set and tape recorder housings Terminal bed		Hoses	Pipes	Lighting fixtures	Electric tool housings Medical devices			Switches Fasteners					Electronic parts
		Wiring accessories		Gaskets Sandal shoes	Insulating plates	Laminated panels Buttons	Cocks Cellular phone housings			Combs					
				Boots		Lenses									

Lampiran 5 : Karakteristik dari beberapa bahan Plastik

CL	EO NO.	DESCRIPTION	DATE	CHKD	CL	EO NO.	DESCRIPTION	DATE	CHKD
△	CJ-P079-10	RELEASE OF DRAWING	30.09.10	HENDRO					

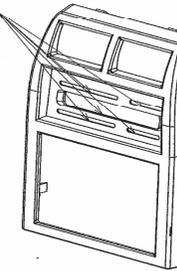


SECTION A-A



SECTION B-B

CLOSED THIS HOLES BY PLASTIC INJECTION



SKETCH

2. FOR OTHERS DIMENSION REFER TO MB680467 EXCEPT DIMENSION SHOWN.

NOTE : 1. THIS DRAWING SHOWN ONLY MODIFICATION AT HEATER PANEL HOLES AREA.

QTY	PART NAME	PART NO.	SYM	MATERIAL	SIZE	REMARKS
Σ	FINISH	SURF. ROUGHNESS	APPROVED	CHECKED		DRAWN
						DATE: 30.09.10
	HEAT TREATMENT	MATERIAL	MASS	CLASSIFICATION		
		TOLERANCES UNLESS SPECIFIED	SCALE	PART NAME		
	CASE DEPTH		THIRD ANGLE PROJECTION			PANEL . CENTER
	HARDNESS	SURF	UPC NO.	PART NO.		
		CORE				

Lampiran 6: Gambar Center Panel

**Lampiran 7:** Klasifikasi *Insertion* berikut standard waktu masing masing (Sumber: Boothroyd).

**part inserted but not secured immediately or secured by snap fit**

		secured by separate operation or part				secured on insertion by snap fit	
		no holding down required		holding down required		easy to align	not easy to align
		easy to align	not easy to align	easy to align	not easy to align		
		0	1	2	3	4	5
no access or vision difficulties	0	1.5	3.0	2.6	5.2	1.8	3.3
obstructed access or restricted vision	1	3.7	5.2	4.8	7.4	4.0	5.5
obstructed access and restricted vision	2	5.9	7.4	7.0	9.6	7.7	7.7

**part inserted and secured immediately by screw fastening with power tool**  
*(times are for 5 revs or less and do not include a tool acquisition time of 2.9s)*

		easy to align		not easy to align	
		0	1	0	1
no access or vision difficulties	3	3.6	5.3		
restricted vision only	4	6.3	8.0		
obstructed access only	5	9.0	10.7		

	screw tighten with power tool	manipulation, reorientation or adjustment	addition of non solids
	0	1	2
6	5.2	4.5	7

**Lampiran 8.:** Klasifikasi Jenis *Handling* dan waktu standar masing masing. (Sumber: Boothroyd).

for parts that can be grasped and manipulated with one hand without the aid of grasping tools

sym (deg) = (alpha+ beta)	no handling difficulties			part nests or tangles			
	thickness > 2mm		< 2mm	thickness > 2mm		< 2mm	
	size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm	size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm	
	0	1	2	3	4	5	
sym < 360	0	1.13	1.43	1.69	1.84	2.17	2.45
360 <= sym < 540	1	1.5	1.8	2.06	2.25	2.57	3.0
540 <= sym < 720	2	1.8	2.1	2.36	2.57	2.9	3.18
sym = 720	3	1.95	2.25	2.51	2.73	3.06	3.34

for parts that can be lifted with one hand but require two hands because they severely nest or tangle, are flexible or require forming etc.

	alpha <= 180		alpha = 360
	size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm
	0	1	2
4	4.1	4.5	5.6

**Lampiran 9:** Konversi dari Tabel kodifikasi dan klasifikasi Boothroyd ke dalam ranking didalam El Maraghy.

Tabel *Handling* dan *Insertion* (manual) yang disusun oleh Boothroyd dapat dikonversikan dalam penentuan ranking dalam model kompleksitas ElMaraghy sbb:

Alpha, Beta symmetry	Alignment	Holding down required	Insertion by snap	Access difficulties	Restricted Vision	Separate operations
0	0	0	0	0	0	0
0.5	-	-	-	0.5	0.5	0.5
1	1	1	1	1	1	1

Penjelasan:

Spesifikasi	Ranking (ElMaraghy)	Boothroyd
Alpha, beta symmetry	0	Sym $\leq$ 360
	0.5	360 < sym $\leq$ 540
	1	540 < sym $\leq$ 720
Alignment	0	Easy
	1	Not easy
Holding down required	0	Not required
	1	Required
Insertion by snap	0	Yes
	1	No
Access difficulties	0	No difficulties
	0.5	Medium
	1	Difficult
Restricted Vision	0	No
	0.5	Medium
	1	Difficult
Separate operations	0	Manipulation, reorientation or adjustment
	0.5	Screw tighten w/ pwr tool
	1	Addition of non solid

**Lampiran 10:** Tambahkan Kasus setelah pengurangan komponen (sekrup) dalam DFA dan Kompleksitas Menurut ElMaraghy.

**Kompleksitas Proses pada saat Perakitan (Assembly):**

**Kasus 3:**

N=	1
n=	1

H=	1.00
D <sub>R</sub> =	1.00

	Number	alpha/beta	holding	access	vision	SUM	AVG
		symmetry	Align ment req'd	difficulties	restriction		
CTR Panel	1	1.00	0.00	1.00	0.00	2.00	0.40
cover plate	0	0.50	1.00	1.00	0.00	2.50	0.50
screw_1	0	0.00		1.00	0.00	1.00	0.25
screw_2	0	0.00		1.00	0.50	2.00	0.50
	1						

	Feature Complexity	Weighted feature complexity
CTR Panel	0.40	0.40
cover plate	0.00	0.00
screw_1	0.00	0.00
screw_2	0.00	0.00
process complexity		0.40

PI= 1.40