

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Desain produk pada dasarnya adalah sebuah cara untuk membuat perencanaan, menentukan analisis pengukuran, material dan cara pengoperasiannya. Desain produk tidak hanya menggambar sebuah produk tetapi hal yang paling penting adalah pedoman cara kerjanya (Siswantoro, 2003).

Analisis kegagalan didefinisikan sebagai sebuah teknik yang digunakan untuk mendefinisikan, mengenali dan yang diketahui atau potensial dari sebuah sistem, desain, proses atau servis sebelum mencapai konsumen (Stamatis, 2003). Hasil dari analisis kegagalan dimungkinkan untuk dilakukannya prosedur *redesign* suatu produk (Simonovic, 2008).

Thermoforming adalah metode pengolahan plastik yang paling umum dan paling tua. Produk-produk hasil *thermoforming* dapat kita temukan di sekitar kita dan memegang peranan yang cukup penting dan memegang peranan yang cukup penting dalam kehidupan kita. (Sumber: *A Vacuum Forming Guide*, *Formech International LTD*).

Nugraha (2010) membuat mesin *thermoforming* yang mampu menghasilkan cetakan cokelat berbahan baku plastik sehingga diperoleh produk jadi cokelat yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan pelanggan (cokelat mengkilat, tidak ada cacat, harga cetakan lebih murah dari cetakan *silicone rubber*). Metode yang digunakan untuk merancang mesin *thermoforming* adalah metode rasional.

Setyawan (2013) membuat mesin *thermoforming* yang lebih handal dalam menghasilkan cetakan plastik *polyvinyl chloride rigid sheet* sehingga dapat menekan jumlah produk reject dan waktu pengerjaan menjadi lebih optimal. Metode yang digunakan untuk merancang mesin *thermoforming* adalah metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

Pada tugas akhir ini akan dirancang mesin *thermoforming* yang dapat mengatasi kelemahan mesin *thermoforming* generasi 1 dan 2 dan dapat diandalkan dalam industri kecil kemasan makanan yang *customized*. Metode yang digunakan untuk merancang mesin *thermoforming* adalah *systematic approach* (pendekatan sistematis).

Perbandingan penelitian terdahulu dan sekarang tampak pada tabel 2.1. dibawah ini.

Tabel 2.1. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Kriteria	Penelitian Nugraha (2010)	Penelitian Setyawan (2013)	Penelitian sekarang
Judul	Mesin <i>Thermoforming</i> Untuk Pembuatan cetakan Coklat	Pengembangan Mesin <i>Thermoforming</i> Kapasitas 2000 Watt	Perancangan Mesin <i>Thermoforming</i> untuk Kebutuhan Kemasan Yang <i>Costumized</i>
Tujuan Penelitian	Mendapatkan hasil perancangan mesin <i>thermoforming</i> beserta spesifikasinya, sampel produk jadi cokelat dan hasil perhitungan harga cetakan plastik per lembar	Mendapatkan hasil evaluasi terhadap mesin <i>thermoforming</i> hasil rancangan Nugraha (2009), spesifikasi dan hasil ujicoba dari hasil pengembangan	Mendapatkan hasil rancangan mesin <i>thermoforming</i> yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan kemasan makanan yang <i>costumized</i> .
Metode Penelitian	Metode rasional, diagram panah	<i>Functional Decomposition Diagram, Failure Mode and Effect Analysis</i>	<i>Systematic approach (Pendekatan sistematis)</i>
Target Penelitian	Mendapatkan hasil perancangan mesin <i>thermoforming</i> beserta spesifikasinya, sampel produk jadi cokelat dan hasil perhitungan harga cetakan plastik per lembar	Mendapatkan hasil evaluasi terhadap mesin <i>thermoforming</i> hasil rancangan Nugraha (2009), spesifikasi dan hasil ujicoba dari hasil pengembangan	Mendapatkan hasil perancangan mesin <i>thermoforming</i> generasi 3 beserta spesifikasinya dengan menyesuaikan mesin <i>Formech 508FS</i> dan hasil perhitungan biaya produksi

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Thermoforming

Thermoforming adalah proses pembentukan dimana lembaran plastik yang setelah mengalami proses pemanasan, plastik ini berubah strukturnya menjadi lunak dan lentur, yang kemudian dilakukan proses *pressure* atau *vaccum*, yang sesuai dengan bentuk cetaknya (Crawford, 1987, *Plastic Engineering, second edition*, Amsterdam:Pergamon Press).

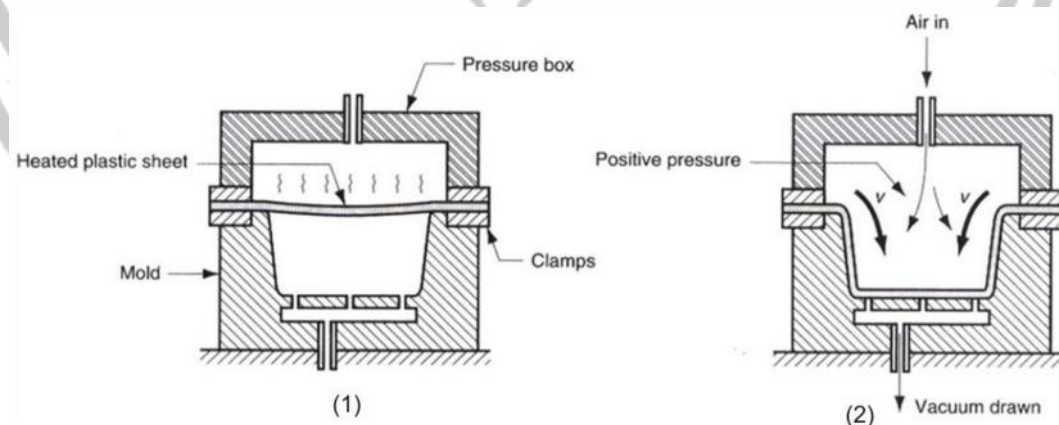
Thermoforming adalah metode pengolahan plastik yang paling umum dan paling tua. Produk-produk hasil *thermoforming* dapat kita temukan di sekitar kita dan memegang peranan yang cukup penting dalam kehidupan kita. Contoh produk yang diproses secara *thermoforming* adalah nampan biskuit, es krim, kemasan makanan, wadah telur, piring, gelas dan lain-lain.(Sumber: *A Vacuum Forming Guide, Formech International Ltd*).

Ada beberapa cara melakukan proses thermoforming, yaitu:

a. *Pressure Thermoforming*

Vacuum forming merupakan *thermoforming* yang menggunakan tekanan udara dari atas. Prosesnya ditunjukkan pada gambar berikut:

1. Lembaran plastik ditempatkan di atas rongga mold.
2. Tekanan positif mendorong lembaran ke dalam rongga mold.



Gambar 2.1. Pressure Thermoforming

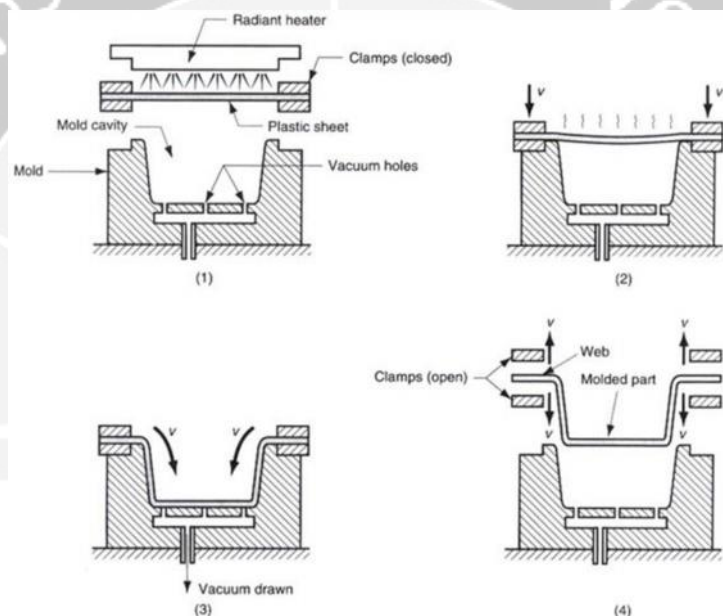
(Sumber: Groover, M.P, 2002, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, New York: John Wiley and Sons)

b. Vacuum Thermoforming

Sesuai dengan namanya, teknik *thermoforming* yang satu ini menggunakan sistem vakum untuk menghisap plastik. Ada dua cara melakukan *vacuum thermoforming* yaitu:

1. Cara pertama :plastik yang bergerak ke arah *mold*.
2. Cara kedua : *mold* yang bergerak ke arah plastik.

Cara pertama ditunjukkan pada gambar 2.2 dan 2.3, sedangkan cara kedua ditunjukkan pada gambar 2.4.

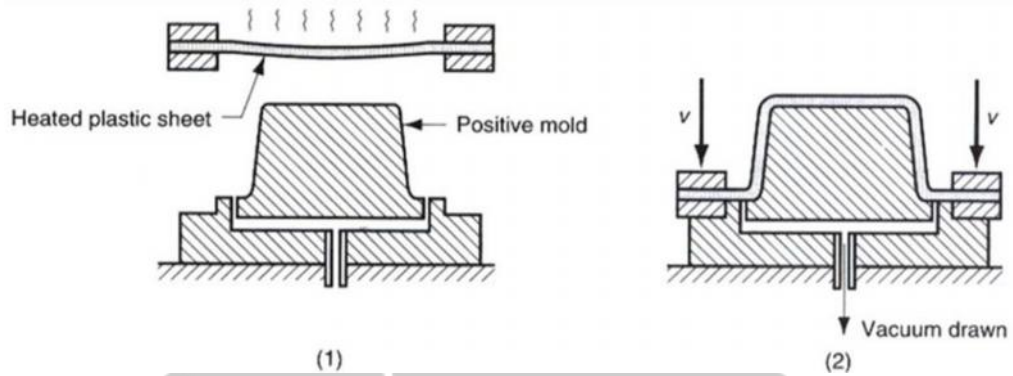


Gambar 2.2. Vacuum Thermoforming Cara Pertama (Negative Mold)

(Sumber: Groover, M.P, 2002, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, New York: John Wiley and Sons)

Gambar 2.2 adalah contoh *vacuum thermoforming* cara pertama untuk *mold* negatif, berikut penjelasan langkah-langkahnya:

1. Lembaran plastik datar dihaluskan melalui pemanasan.
2. Lembaran yang sudah halus ditempatkan di atas rongga *mold* cekung.
3. Tekanan *vacuum* menarik lembaran ke dalam rongga
4. Plastik mengeras akibat kontak dengan permukaan *mold* yg dingin, produk jadi diambil.



Gambar 2.3. Vacuum Thermoforming Cara Pertama (Positive Mold)

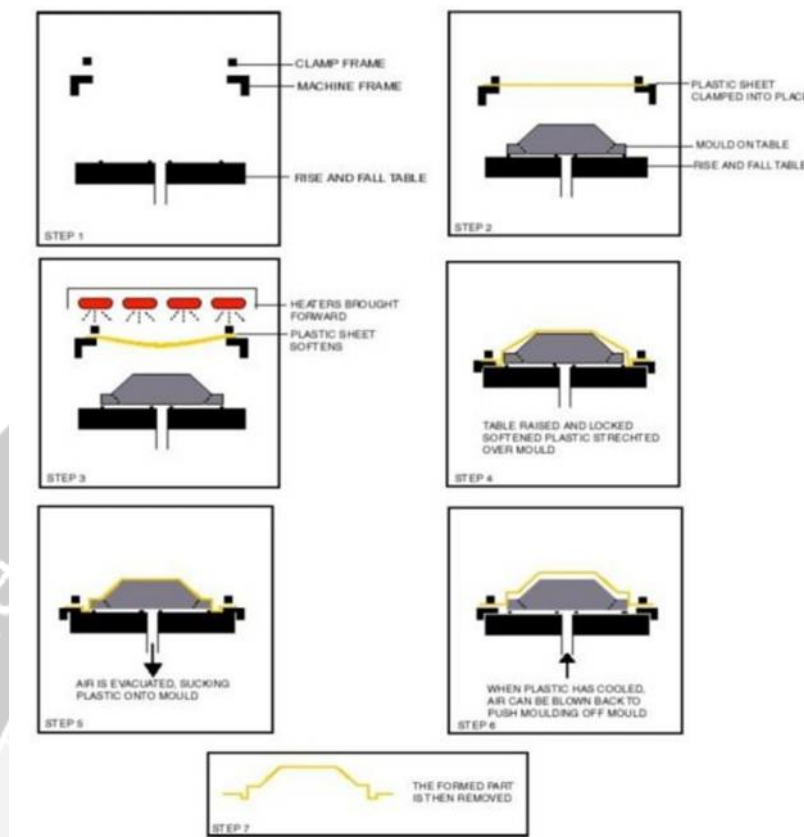
(Sumber: Groover, M.P, 2002, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, New York: John Wiley and Sons)

Gambar 2.3 adalah contoh *vacuum thermoforming* cara pertama untuk *positive mold*, berikut penjelasan langkah-langkahnya:

1. Plastik yang telah dipanaskan ditempatkan di atas cetakan cembung.
2. *Clamp* diturunkan, menutupkan lembaran pada cetakan akibat adanya tekanan *vacuum*.

Sedangkan gambar 2.4 adalah cara *vacuum thermoforming* yang kedua, berikut penjelasan langkah langkahnya:

1. Mempersiapkan mesin *thermoforming*.
2. Menyiapkan mold dan menjepit plastik.
3. Memanaskan plastik.
4. Menaikkan *mold* ke arah plastik.
5. Menyedot plastik dengan sistem vakum.
6. Melakukan pendinginan pada plastik.
7. Hasil jadi dilepas.



Gambar 2.4. Vacuum Thermoforming Cara Kedua

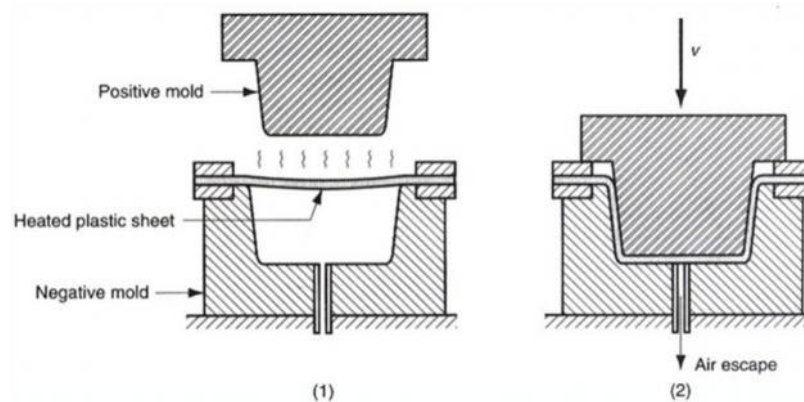
(Sumber: A Vacuum Forming Guide, Formech International Ltd)

c. *Mechanical Thermoforming*

Teknik *thermoforming* yang satu ini tidak menggunakan tekanan udara ataupun sistem *vacuum*, tetapi dengan menggunakan *mold* positif dan *mold* negatif.

Caranya ditunjukkan pada gambar 2.5.

1. Plastik yang telah dipanaskan ditempatkan di atas *mold* negatif.
2. *Mold* positif dimasukkan ke *mold* negatif untuk membentuk lembaran.

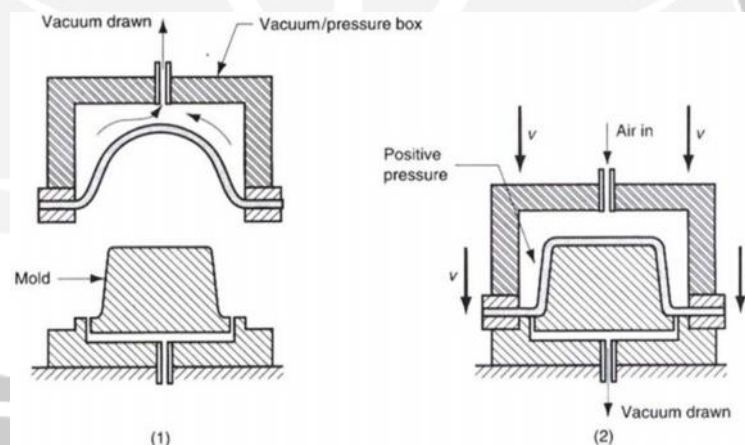


Gambar 2.5. Mechanical Thermoforming

(Sumber: Groover, M.P, 2002, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, New York: John Wiley and Sons)

d. Cara Gabungan (*Vacuum dan Pressure*)

Cara yang satu ini adalah menggabungkan cara *vacuum thermoforming* dengan *pressure thermoforming*, dimana ada tekanan udara dari atas yang menekan plastik dan ada sistem *vacuum* dari bawah yang menghisap plastik.



Gambar 2.6. Cara Gabungan

(Sumber: Groover, M.P, 2002, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, New York: John Wiley and Sons)

2.2.2. Cacat Thermoforming

Cacat yang biasa terjadi pada proses *thermoforming* adalah sebagai berikut:

1. *Bubbles*: gelembung yang terjadi pada plastik karena plastik terlalu panas.
2. *Webbing*: permukaan plastik menjadi mengerut atau kusut. Hal ini terjadi karena pemanasan yang terlalu tinggi dan tidak merata serta daya hisap (*vacuum*) nya masih lemah.

3. *Postforming distortion*: penyusutan pada cetakan karena *mold* diambil pada saat plastik masih dalam keadaan panas.
4. Plastik gosong: hal ini terjadi karena temperatur yang terlalu tinggi atau waktu pemanasan yang terlalu lama.
5. Permukaan kurang detail: hal ini terjadi karena pemanasan yang tidak merata dan daya hisap (*vacuum*) nya masih lemah.
6. Tebal plastik cetakan tidak merata: hal ini terjadi karena pemanasan yang tidak merata.
7. Perubahan warna pada plastik: hal ini terjadi karena pemanasan yang terlalu lama.

(Sumber: Degussa, 2001, *Extrusion and Thermoforming Of Polymer and Cyrolite*, Cyro Industries, USA)

2.2.3. Karakteristik Plastik

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. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting di bidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, *furniture*, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak-anak dan produk-produk industri lainnya.

Keunggulan plastik adalah :

- a. Proses pembentukan plastik memungkinkan untuk geometri yang sangat beragam.
- b. Umumnya dibentuk menggunakan cetakan sehingga langsung menghasilkan bentuk akhir produk (tidak perlu proses lanjutan).
- c. Energi (panas) yang dibutuhkan untuk pembentukan plastik lebih rendah daripada logam.
- d. Karena temperatur proses pembentukannya rendah dan jumlah mesin yang dibutuhkan hanya mesin *molding*, alat penanganan material lebih sederhana dan sedikit.
- e. Pada umumnya tidak memerlukan proses pengecatan atau pelapisan

permukaan.

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, saat proses pemanasan struktur molekul tidak berubah dan tidak mengalami proses pengerasan (*curing*). Yang termasuk plastik *thermoplast* antara lain: PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, *Polyacetal* (POM), PC dan lain-lain. Jenis plastik *thermoplast* inilah yang sering dipakai dalam proses *thermoforming*.

Sedangkan plastik *thermoset* adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun *polimer*-nya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik *thermoset* adalah : PU (*Poly Urethane*), UF (*Urea Formaldehyde*), MF (*Melamine Formaldehyde*), *Polyester*, Epoksi, *Phenol-Formaldehyde resin* dan lain-lain. 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 beranekaragam 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.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.1. Polystyrene (PS)

Polystyrene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer *stirena*, dimana monomer *stirena*-nya didapat dari hasil proses *dehidrogenasi* dari *etil benzene* (dengan bantuan katalis), sedangkan *etil benzene*-nya sendiri merupakan hasil reaksi antara *etilena* dengan *benzene* (dengan bantuan katalis).

Plastik jenis *polystyrene* banyak digunakan untuk keperluan seperti mainan anak, *fitting* lampu, wadah makanan beku, sendok, garpu, aksesoris komputer, nampan, *body blender* dan aksesoris kulkas. Jenis plastik ini melunak pada suhu 95°C (Budiyanoro, 2010, *Thermoplastik Dalam Industri*, Yogyakarta, Teknik Media).

Polystyrene merupakan polimer aromatik yang dapat mengeluarkan bahan *styrene* ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan. Selain tempat makanan, *styrene* juga bisa didapatkan dari asap rokok, asap kendaraan dan bahan konstruksi gedung. Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, dan pertumbuhan dan sistem syaraf, juga karena bahan ini sulit didaur ulang. Pada produk teraloga daur ulang dengan angka 6 di tengahnya dengan tulisan PS.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile Butadiene Styrene termasuk kelompok engineering thermoplast yang berisi tiga monomer pembentuk. *Akrilonitril* bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. *Butadiene* memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan pukul dan sifat liat (*toughness*). Sedangkan *stirena* menjamin kekakuan (*rigidity*) dan mudah diproses. Beberapa grade ABS ada juga yang mempunyai karakteristik yang bervariasi, dari yang tinggi sampai rendah dan dari yang mempunyai *impact resistance* tinggi sampai rendah. Berbagai sifat lebih lanjut juga dapat diperoleh dengan penambahan aditif sehingga diperoleh grade ABS yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi, tahan terhadap sinar UV, tahan korosi dan lain-lain. ABS bersifat *higroskopis*, oleh karena itu harus dikeringkan dulu sebelum proses pelelehan.

Plastik jenis ABS ini digunakan untuk keperluan seperti *hair dryer*, korek api gas, telepon, intercom, body dan komponen mesin ketik elektronik maupun mekanik, mesin hitung, radiator grill, tempat kaca spion,udukan kloset, uudukan kipas angin, kran air, gantungan handuk, *body* kulkas dan *spare parts* kendaraan.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.3. Acrylic

Plastik *Acrylic* memiliki dua jenis, yaitu *Extruded Acrylic* dan *Cast Acrylic*. Hanya jenis *extruded Acrylic* yang dapat digunakan dalam proses *thermoforming*. Berbeda dengan *Cast Acrylic* yang memiliki warna transparan,

Extruded Acrylic memiliki warna pastel, kelam dan solid.

Extruded Acrylic digunakan untuk membuat peralatan dapur, rem kendaraan,udukan lampudanbak mandi.

(Sumber: *A Vacuum Forming Guide*, Formech International Ltd)

2.2.3.4. Polyacetal atau Polyoxymethylene (POM)

Polyacetal (poliasetal) merupakan salah satu *engineering* plastik yang penting yang banyak digunakan di bidan elektronika, bangunan dan sektor alat-alat teknik. Ada 2 tipe poliasetal yaitu homopolimer dan kopolimer. *Asetal* homopolimer merupakan polimer kristalin yang dibuat dari formaldehida. Resin ini secara teknis disebut *polioksi metilena* (POM).

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.5. Polyvinylchloride (PVC)

Polyvinyl chloride (polivinil klorida) merupakan hasil polimerisasi monomer vinil klorida dengan bantuan katalis. Pemilihan katalis tergantung pada jenis proses polimerisasi yang digunakan. Pada produk tertera logo daur ulang (terkadang berwarna merah) dengan angka 3 di tengahnya, serta huruf V. PVC memiliki karakteristik seperti kuat, keras, jernih dan melunak pada suhu 120-170°C (Budiyantoro, 2010, *Thermoplastik Dalam Industri*, Yogyakarta, Teknik Media).

Jenis PVC yang aman untuk makanan adalah PVC jenis *food grade*. Di Yogyakarta PVC jenis *food grade* ini diproduksi oleh PT. Starlight Prime Thermoplast. Plastik ini bisa ditemukan pada plastik pembungkusan makanan dan botol-botol.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.6. Polypropylene (PP)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Propilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. *Polypropylene* melunak pada suhu 140°C jenis plastik fleksibel, kuat, permukaan berkilau, tidak jernih tetapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak (Budiyantoro, 2010, *Thermoplastik Dalam Industri*, Yogyakarta, Teknik Media).

Polypropylene digunakan untuk peralatan medis, kotak makanan, botol minuman, mainan anak-anak, sedotan, pembungkus biskuit dan lain-lain. Pada produk tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP (*polypropylene*). (Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.7. Polycarbonate (PC)

Polycarbonate (polikarbonat) merupakan jenis plastik yang dibuat dari reaksi kondensasi bisphenol A dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali. Polikarbonat mempunyai sifat-sifat: jernih seperti air, keras, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, tahan panas. Penggunaan PC diberbagai sektor sangat luas, antara lain:

- a. Sektor otomotif: PC memberi performansi tinggi pada lensa lampu depan/belakang. PC digunakan untuk rumah lampu dan komponen elektrik.
- b. Sektor makanan: PC digunakan untuk galon air minum, mangkuk, pengolahan makanan, alat makan/minum, botol susu, alat masak *microwave*, khususnya yang memerlukan produk yang jernih. Tetapi, bahan plastik ini dapat mengeluarkan bahan utamanya yaitu Bisphenol-A ke dalam makanan dan minuman. Zat ini berpotensi merusak sistem hormon, kromosom pada ovarium, penurunan produksi sperma, dan mengubah fungsi imunitas. Sebaiknya plastik jenis ini tidak digunakan untuk tempat makanan ataupun minuman.
- c. Bidang medis: *filter housing*, *tubing connector*, peralatan operasi yang harus disterilisasi.
- d. Industri elektrik: PC digunakan untuk membuat konektor, pemutus arus, tutup baterai, *light concentrating panels* untuk display kristal cair dan lain-lain.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.8. Poliamida (Nylon)

Nylon merupakan istilah yang digunakan terhadap poliamida yang mempunyai sifat-sifat dapat dibentuk serat, film dan plastik. Strukturnya menunjukkan oleh gugus amida yang berkaitan dengan unit hidrokarbon ulangan yang panjangnya berbeda-beda dalam suatu polimer. *Nylon* digunakan untuk keperluan elektronik, pelampung tangki bahan bakar, blok bantalan, komponen

motor, speedometer, gear, pengisi udara karburator, kerangka kaca, penutup tangki bahan bakar, reflector lampu depan, penutup stir, dop roda mobil, bobbin (gelondong benang), perkakas tenun, furniture, peralatan dapur, folding door, komponen mesin jahit, kancing, pegangan pisau dan kerangka pencukur elektrik.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.9. Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)

Polyethylene terephthalate Glycol yang sering disebut PETG dibuat dari glycol (EG) dan terephthalic acid (TPA) atau dimethyl ester atau asam terephthalat (DMT). PETG merupakan keluarga polyester seperti halnya PC. PETG bersifat jernih, kuat, liat, kedap gas dan air dan melunak pada suhu 80°C (Budiyantoro, 2010, *Thermoplastik Dalam Industri*, Yogyakarta, Teknik Media).

Penggunaan PETG sangat luas antara lain: botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak goreng. Botol plastik jenis PETE/PET ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Bila digunakan untuk menyimpan air hangat apalagi panas, akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik. Pada produk tertera logo daur ulang dengan angka 1 berada di tengahnya, serta tulisan PETE atau PET.

(Sumber: Mujiarto, Iman, 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Semarang: AMNI.)

2.2.3.10. Polyethylene (PE)

Jenis plastik ini sering kita jumpai dan kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Ada dua jenis polyethylene, yaitu Low Density Polyethylene (LDPE) dan High Density Polyethylene (HDPE). LDPE lebih murah daripada HDPE, sehingga LDPE adalah jenis yang paling digunakan dan orang sering menyebutnya polythene.

HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, kedap gas dan melunak pada suhu 75°C.

Plastik jenis ini direkomendasikan hanya untuk sekali pemakaian karena pelepasan senyawa antimony trioksida terus meningkat seiring waktu. Pada produk tertera logo daur ulang dengan angka 2 di tengahnya, serta tulisan HDPE di

bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, galon air minum, wadah es krim dan tutup plastik.

Plastik jenis LDPE baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, kedap air, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70°C. Barang berbahan LDPE ini sulit dihancurkan, tetapi baik untuk tempat makan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini. Pada produk tertera logo daur ulang dengan angka 4 di tengahnya, serta tulisan LDPE. LDPE biasa dipakai untuk tempat makan, plastik kemasan, dan botol-botol yang lembek.

(Sumber: Budiyanoro, 2010, Thermoplastik Dalam Industri, Yogyakarta, Teknik Media)

2.2.4. Systematic Engineering Design

Systematic engineering design memiliki tahapan kerja sebagai berikut :

2.2.4.1. Task Clarification

Tahap ini tidak hanya berisi rumusan mengenai produk, seperti fungsi dan kinerja, namun juga terdiri dari pernyataan mengenai waktu penyelesaian dan target biaya. Tujuan dari tahap ini adalah mendeskripsikan requirements agar tercapai solusi dan *embodiment*-nya serta formulasi dan dokumentasinya secara *quantitatif* sejauh kemungkinan yang dapat dicapai. Hasil dari tahap ini adalah *requirement list*. Dokumen inilah yang memiliki peran penting dalam keberhasilan proyek *design* sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan oleh konsumen.

Pada tahap pertama eksplorasi, pernyataan (*statements*) dan kebutuhan (*requirement*) konsumen diterjemahkan menjadi produk parameter yang lebih relevan sehingga dapat diaplikasikan oleh perancang dan teknisi. Adanya kebutuhan eksplisit yang terlibat relatif sulit sebab tidak diucapkan oleh konsumen namun pemenuhan kebutuhan ini menjadi sangat penting.

Menurut Phal dkk (2007) konsumen dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- a. Konsumen anonim adalah konsumen yang terdapat di segmen pasar tertentu, kebutuhan diidentifikasi oleh bagian penjual tanpa ada permintaan dari konsumen.
- b. Konsumen spesifik adalah konsumen yang meminta produsen untuk membuat suatu produk teknik namun tidak terbatas pada konsumen tunggal.

Menurut Kramen ada tiga jenis kebutuhan konsumen yaitu :

- a. Kebutuhan dasar adalah kebutuhan konsumen yang selalu implisit, sebagai contoh, kebutuhan tersebut tidak diucapkan oleh konsumen. Pemenuhan kebutuhan tersebut menjadi bukti dan vital bagi keberhasilan sebuah produk. Sebagai contoh, konsumen pada umumnya mengharapkan pengurangan konsumsi energi dan biaya operasional.
- b. Kebutuhan daya guna teknik adalah kebutuhan konsumen yang eksplisit, sebagai contoh, kebutuhan tersebut diucapkan oleh konsumen dan biasanya dipaparkan secara rinci. Sebagai contoh, mesin memiliki tenaga 15 kW dengan berat tidak lebih dari 40 kg.
- c. Kebutuhan penarik-perhatian adalah kebutuhan yang implisit. Konsumen biasanya tidak sadar akan kebutuhan ini. Namun, kebutuhan ini digunakan sebagai pembeda antara produk yang saling bersaing. Sebagai contoh warna-warna pada kendaraan.

Tahapan kerja dalam menyusun daftar kebutuhan (*requirement list*):

1. Menetapkan kebutuhan nyata konsumen yakni kebutuhandasar, penarik-perhatian, dan kebutuhan daya gunateknik.
2. Memilah dan memperluas atau menjabarkan kebutuhan.

Pada tahap ini kebutuhan dipilah dan diperluas menggunakan *checklist* dan *scenarioplanning*.



Gambar 2.7. Skenario Planning (Kremenr, 1997)

Main headings	Examples
Geometry	Size, height, breadth, length, diameter, space requirement, number, arrangement, connection, extension
Kinematics	Type of motion, direction of motion, velocity, acceleration
Forces	Direction of force, magnitude of force, frequency, weight, load, deformation, stiffness, elasticity, inertia forces, resonance
Energy	Output, efficiency, loss, friction, ventilation, state, pressure, temperature, heating, cooling, supply, storage, capacity, conversion.
Material	Flow and transport of materials. Physical and chemical properties of the initial and final product, auxiliary materials, prescribed materials (food regulations etc)
Signals	Inputs and outputs, form, display, control equipment.
Safety	Direct safety systems, operational and environmental safety.
Ergonomics	Man-machine relationship, type of operation, operating height, clarity of layout, sitting comfort, lighting, shape compatibility.
Production	Factory limitations, maximum possible dimensions, preferred production methods, means of production, achievable quality and tolerances, wastage.
Quality control	Possibilities of testing and measuring, application of special regulations and standards.
Assembly	Special regulations, installation, siting, foundations.
Transport	Limitations due to lifting gear, clearance, means of transport (height and weight), nature and conditions of despatch.
Operation	Quietness, wear, special uses, marketing area, destination (for example, sulphurous atmosphere, tropical conditions).
Maintenance	Servicing intervals (if any), inspection, exchange and repair, painting, cleaning.
Recycling	Reuse, reprocessing, waste disposal, storage
Costs	Maximum permissible manufacturing costs, cost of tooling, investment and depreciation.
Schedules	End date of development, project planning and control, delivery date

Gambar 2.8. Checklist to Setting Up Requirement List

3. Menetapkan *Demand dan Wishes*.

Pada tahap ini, *requirements* yang sudah digali dari konsumen ditentukan tingkat kepentingannya. Phal dkk (2007) menyatakan bahwa *demands* adalah *requirements* yang harus dipenuhi bagaimanapun juga keadaannya. Demands menjadi dasar evaluasi pada tahap disain selanjutnya agar solusi yang diinginkan tercapai.

Sedangkan *wishes* adalah *requirement* yang sebaiknya diperhatikan dan dipenuhi jika memungkinkan. Mereka menambahkan bahwa, jika memungkinkan, *wishes* dapat dikelompokkan kedalam katagori utama, menengah, dan *minor* (Phal dkk, 2007).

2.2.4.2. Conceptual Design

Conceptual design dilakukan untuk memperoleh solusi dasar (*principles solution*) melalui langkah-langkah sebagai berikut:

a. Abstraksi untuk mengidentifikasi permasalahan pokok

Hal yang dilakukan dalam fase ini adalah melakukan analisis *Requirements list* yang mengacu pada fungsi yang dibutuhkan dan batasan-batasannya dengan tujuan menyaring dan menetapkan hal-hal terpenting/pokok dari permasalahan yang muncul. Analisa ini dilakukan, abstraksi bertahap, untuk mengungkap aspek umum dan permasalahan pokok.

Langkah analisis *Requirements list* yang dilakukan adalah:

1. Eliminasi pendapat/penilaian personal
2. Menghilangkan *requirements* yang tidak berkaitan/mengarah secara langsung terhadap fungsi dan batasan pokok.
3. Merubah data kuantitatif kedalam data kualitatif dan ringkas menjadi pernyataan pokok.
4. Sejauh menguntungkan, generalisasikan hasil langkah sebelumnya.
5. Formulasikan permasalahan kedalam *solution-neutral term*.

b. Menetapkan struktur fungsi (Fungsi keseluruhan – sub fungsi)

Pada tahap ini penulis mencari struktur fungsi produk yang ingin dibuat dengan cara membedah *Overall Function* menjadi beberapa *Sub functions*, mendefinisikan *main flow* dari energi, material, dan *signal*, mendefinisikan *main functions*, *auxiliary functions*, *elementary functions*. Hal ini dilakukan dengan tujuan menyederhanakan permasalahan besar ke persoalan yang lebih mudah untuk dikelola.

c. Mencari prinsip kerja yang sesuai dengan sub fungsi

Solusi dari permasalahan dicari menggunakan metode pustaka dan melakukan pengukuran-pengukuran atau percobaan.

Secara teknis salah satu jenis konfersi (energi, material, atau signal) bisa jadi lebih dominan dibandingkan yang lainnya, bergantung pada permasalahan atau tipe solusi. Jenis konversi ini disebut *main flow*.

Pada umumnya, subfungsi merupakan aplikasi proses fisis, benda-benda teknik dibuat dengan memanfaatkan proses fisis. Sebuah proses fisis adalah realisasi dari *Physical effects* (hukum fisika) terpilih yang dilengkapi dengan geometri dan karakteristik materialnya sehingga fungsi dapat terpenuhi sesuai dengan tugas yang diinginkan. Beberapa hukum fisika dapat dikombinasikan agar sebuah subfungsi dapat bekerja sesuai tujuan yang diinginkan.

d. Mengombinasikan prinsip kerja menjadi struktur kerja

Pada tahapan ini konsep disain dapat diperoleh dengan bantuan *matriks morfologi* yang berisi variasi disain sub fungsi. Dengan demikian dapat dibentuk beberapa variasi disain produk yang disusun dari variasi sub fungsi yang diperoleh dari *matriks morfologi*.

e. Memilih kombinasi yang sesuai

Secara umum struktur kerja atau kombinasi prinsip kerja yang muncul tidak begitu konkrit dan properti yang diketahui, sangat sedikit, pada tahap ini alat seleksi yang digunakan adalah *schematic selection*.

Dalam pendekatan sistimatis, sebaiknya pencarian varian solusi tidak dibatasi. Dengan memperhatikan semua kemungkinan dari kriteria klasifikasi yang ada, disainer sering dihadapkan pada jumlah solusi yang besar. Hal ini menjadi kelemahan sekaligus kekuatan metode ini. Sederhana mungkin solusi teoritis yang muncul dalam jumlah besar tersebut harus dikurangi, sebab secara praktiknya tidak semua solusi yang muncul dapat diaplikasikan. Eliminasi ini hanya sebatas pada kombinasi antar solusi yang muncul dari struktur kerja yang sudah diketahui, bukan pada varian solusi (prinsip kerja). Meski tidak ada prosedur atau metode yang benar-benar aman, pemakaian sebuah prosedur seleksi sistimatis dan verifikatif dapat membantu pemilihan solusi yang menjanjikan dari sekian banyak varian yang muncul.

Prosedur seleksi ini melibatkan dua tahapan, yakni *elimination* dan *preference*. Pertama solusi yang benar-benar tidak sesuai dieliminasi. Jika masih terlalu banyak kemungkinan solusi yang tersisa dibawa pada tahap *preference* dan dipilih mana yang paling menarik. Hanya solusi yang paling menjanjikan yang dievaluasi pada akhir fase konseptual.

Kriteria yang dipakai pada tahap eliminasi adalah:

1. Kesesuaian varian solusi (*Solution variant*) dengan tugas keseluruhan (*overall task*) dan antara satu dengan lainnya

2. Pemenuhan *demands* dalam *requirements list*.
3. Dapat diwujudkan dari segi perforata, *layout*(susunan), *Form design* (bentuk dan material)
4. Biaya
5. *Direct safety* dan ergonomi
6. Ketersediaan faktor pendukung, seperti *know-how*, material, prosedur kerja yang sudah dimiliki.

Kriteria tambahan dapat digunakan jika dapat membantu proses penetapan keputusan. Untuk mengurangi waktu dan perhatian yang berlebihan terhadap evaluasi yang dilakukan pada suatu varian solusi, proses ini tidak dilanjutkan pada kriteria selanjutnya apabila varian tereliminasi oleh kriteria evaluasi sebelumnya.

Terkadang, bagaimanapun juga, informasi atau data yang dimiliki kurang, (sedikit informasi yang dapat digali) menyebabkan solusi yang dipilih tidak meyakinkan. Untuk meminimalkan celah tersebut, proposal (varian solusi) yang memenuhi kriteria A dan B dievaluasi ulang untuk memastikan tidak ada varian solusi bagus yang tereliminasi.

f. Evaluasi menggunakan kriteria teknik

Evaluasi atau penilaian variasi disain ditinjau dari dua sudut pandang yakni teknik dan ekonomi menggunakan *guideline* VDI 2225 (Phal dkk, 2007).

2.2.4.3. Embodiment of Design

Pada tahap ini *design* dikembangkan sesuai dengan kriteria teknik dan ekonomi dan informasi lanjut lainnya seperti informasi mengenai material, proses produksi, pengulangan *part*, dan penyesuaian *design* dengan standart yang dipakai (Phal dkk, 2007). Langkah kerja yang dilakukan pada tahap ini adalah:

- a. Mengidentifikasi kebutuhan penentu *embodiment*
- b. Membuat gambar berskala
- c. Mengidentifikasi penentu *embodiment* pembawa fungsi utama
- d. Mengembangkan *layout* sementara dan disain bentuk untuk penentu *embodiment* pembawa fungsi utama
- e. Mencari solusi bagi fungsi pendukung
- f. Mengembangkan *layout detail* dan bentuk disain untuk fungsi pembantu dan melengkapi *layout* keseluruhan.
- g. Menetapkan *layout* sementara

- h. Mengoptimalkan dan melengkapi disain bentuk
- i. Periksa kesalahan dan faktor pengganggu
- j. Persiapkan komponen sementara, dokumen produksi dan perakitan
- k. *Layout* akhir

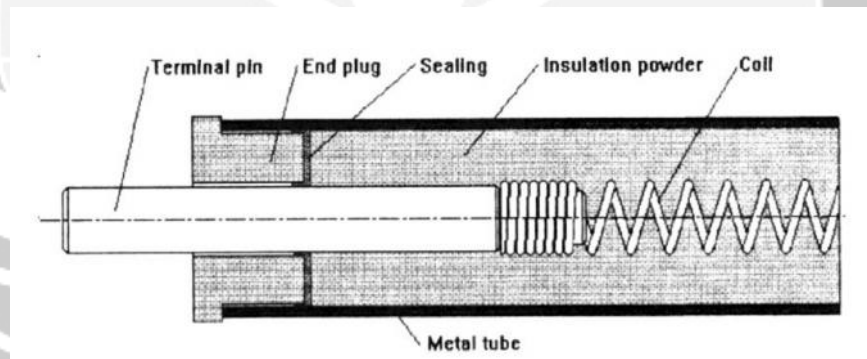
2.2.4.4. Detail Design

Tahap ini berisikan persiapan produksi dan dokumen operasional, gambar rinci dan daftar komponen, perakitan, instruksi operasional, dan pengecekan kembali kelengkapan dokumen (Phal dkk, 2007).

2.2.5. Komponen listrik

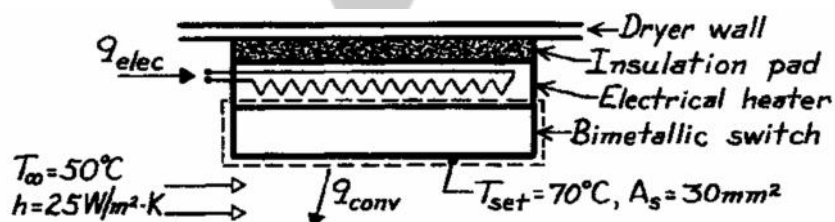
2.2.5.1. Metal-Sheathed Tubular Element

Elemen pemanas jenis *metal-sheathed tubular* biasanya memiliki *coil* (besi pemanas yang berbentuk berliku-liku atau bergelombang) yang saling berhubungan dan memiliki ujung terminal pin yang dibungkus dengan pipa metalik. Di antara coil dan pipa terdapat keramik yaitu bubuk MgO kering yang berfungsi sebagai isolator. Ujung dari pipa sering dilengkapi dengan isolator yang terbuat dari keramik atau *silicone rubber*. Tujuannya adalah menjaga umur pemakaian dari pipa dan terminal pin.



Gambar 2.9. Metal-Sheathed Tubular Element

(Sumber: Hegbom, Thor, 1997, *Integrating Electrical Heating Elements In Appliance Design*, CRC Press, USA)



Gambar 2.10. Elemen Pemanas

(Sumber: Incropera, Frank P., 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Son, USA)

2.2.5.2. Pompa Vakum

Pompa vakum adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menghisap udara yang berada di dalam ruang tertutup rapat menjadi hampa. Jenis-jenis pompa vakum, yaitu:

- a. *Reciprocating piston pump*
- b. *Diaphragm pump*
- c. *Sliding vane rotary pump*
- d. *Eccentric rotor pump*
- e. *Liquid ring pump*
- f. *Scroll pump*

Pompa vakum kurang mampu menyedot udara yang banyak dengan cepat, karena itu agar dapat menyedot sejumlah udara yang banyak dengan cepat biasanya pompa vakum dilengkapi dengan tanki vakum. Tanki vakum ini berfungsi sebagai akumulator vakum atau cadangan ruangan vakum sehingga dapat menyedot udara yang banyak dengan cepat. Volume tanki vakum yang dibuat harus lebih besar dari volume ruangan hisap vakum, minimal dua kali volume ruangan hisap vakum.

(Sumber: Gruenwald, G., 1998, *Thermoforming; A Plastics Processing Guide*, Second Edition, New Holland: Technomic Publishing Company.)

2.2.5.3. Thermostat

Thermostat adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengatur temperatur/suhu dari suatu sistem. Thermostat mengatur aliran energi panas yang masuk dan yang keluar dari sistem. Thermostat inilah yang mengatur alat pemanas atau alat pendingin sesuai dengan kebutuhan suhu yang diinginkan.

Thermostat dapat dikatakan sebagai sebuah unit kontrol dari sistem pemanas atau sistem pendingin, thermostat dapat dikatakan sebagai komponen bagian dari *heater* atau *air conditioner* (AC). Thermostat dapat dibuat dengan banyak cara dan menggunakan berbagai macam sensor untuk mengukur temperatur/suhu. *Output* dari sensor inilah yang mengatur alat pemanas atau alat pendingin.

- a. Pada umumnya sensor mencakup :
- b. *Bi-metallic mechanical* atau sensor elektrik

- c. *Expanding waxpellets*
- d. Thermistor elektrik dan peralatan semikonduktor
- e. Thermocouple elektrik

(Sumber: Harten, setiawan, 1985, instalasi listrik arus kuat jilid2, Bandung, Bina Cipta)

2.2.5.4. Thermocouple

Termokopel (*thermocouple*) adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C.

Termokopel untuk pengukuran temperatur/suhu dibuat dari campuran yang khusus, yang mana memiliki hubungan yang baik antara temperatur/suhu dengan tegangan. Campuran yang berbeda digunakan untuk tingkat temperatur/suhu yang berbeda dan mencegah karat.

Termokopel banyak digunakan untuk kebutuhan ilmiah dan industri, seperti pengukuran temperatur/suhu untuk proses pengeringan, pengukuran temperatur/suhu gas pembuangan pada mesin diesel dan masih banyak proses industri lainnya.

(Sumber: Kissel, 2003, *Industrial Electronics 3*, Ohio, Prentice Hall)

2.2.5.5. Contactor

Contactor adalah sebuah alat *electro-magnetic switching* yang digunakan untuk menghidupkan tenaga atau *control circuit*. *Contactor* diaktifkan oleh *control input* yang mana akan memberitahukan apakah tegangan yang diberikan besar atau kecil. Berbeda dari *circuit breaker*, *contactor* tidak berfungsi untuk mencegah terjadinya arus pendek.

Contactor banyak digunakan sebagai control untuk *electric motor*, lampu, *heater* dan lain-lain.

(Sumber: Kissel, 2003, *Industrial Electronics 3*, Ohio, Prentice Hall)

2.2.5.6. Pengukur Tekanan (*Pressure Gauges*)

Pengukur tekanan adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan *fluida* (cairan dan gas) yang terdapat dalam bejana atau ruang tertutup. Pengukur tekanan yang umum digunakan ada dua tipe yaitu *manometer* dan *bourdon tube*.

Manometer adalah tipe alat yang menggunakan tinggi cairan untuk mengukur tekanan sama halnya dengan *barometer*. Tinggi cairan menunjukkan besarnya tekanan cairan yang digunakan dalam *manometer* biasanya air dan air raksa. Bila air yang digunakan maka *manometer*nya disebut *manometer* air sedangkan yang menggunakan air raksa disebut *manometer* air raksa.

Untuk mengukur tekanan yang lebih dari 1 atmosfer maka *manometer* akan membutuhkan pipa yang sangat panjang, sehingga akan kurang praktis, oleh sebab itu *manometer* jarang digunakan untuk mengukur tekanan yang tinggi. Sebagai penggantinya digunakan alat ukur *bourdon tube*.

Bourdon tube ini terbuat dari pipa baja yang terbentuk kurva eliptis. Pipa ini akan meluruskan apabila tekanan fluida di dalam pipa naik dan akan melengkung kembali apabila tekanan dalam pipa turun. Perubahan lengkungan dari pipa ini ditransmisikan pada sebuah *pointer* dengan sistem roda gigi. Besar dan arah gerakan *pointer* tergantung pada besar dan arah lengkungan pipa. Alat ukur *bourdon tube* dapat digunakan untuk mengukur tekanan baik di atas maupun di bawah tekanan atmosfer. *Bourdon tube* yang dirancang untuk mengukur tekanan di atas tekanan atmosfer disebut *pressure gauges*. Sedangkan yang dirancang untuk mengukur tekanan di bawah tekanan atmosfer disebut *vacuum gauges*. Dalam banyak hal kadang-kadang dirancang pula satu alat ukur yang dapat mengukur tekanan baik di atas maupun di bawah tekanan atmosfer dan disebut dengan *compound gauges*.

(Sumber: Elemen Dasar Sistem Refrigerasi, Departemen Pendidikan Nasional).

2.2.6. Bahan Material

2.2.6.1. Besi

Besi adalah unsur kimia logam dengan simbol Fe dan nomor atom 26. Besi dan paduan besi (baja) adalah logam yang paling umum yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Permukaan besi berwarna abu-abu mengkilat, tetapi jika teroksidasi di udara maka akan membentuk warna merah atau lapisan coklat. Paduan besi dengan jumlah yang tepat (hingga beberapa persen) dari logam lain dan karbon akan menghasilkan baja yang dapat memiliki kekuatan 1000 kali lebih keras daripada besi murni. Besi adalah unsur paling berlimpah di inti merah raksasa, dan merupakan logam paling berlimpah zat besi meteorit dan di dalam inti logam padat seperti planet Bumi.

(Sumber: Surdia, Shinroku, 1985, Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta, Pradya

Paramita)

2.2.6.2. Kayu

Kayu adalah jenis material organik yang berasal dari pohon. Dalam sebuah pohon hidup terjadi transfer air dan nutrisi ke daun dan jaringan pohon yang lain yang memungkinkan tanaman berkayu untuk mencapai ukuran besar atau untuk membelah diri sendiri.

Kayu digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari memasak, membuat perabot (meja, kursi), bahan bangunan (pintu, jendela, rangka atap), bahan kertas, dan banyak lagi. Kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai hiasan-hiasan rumah tangga dan sebagainya.

(Sumber: PIKA, 2012, Mengenal Sifat-Sifat Dan Penggunaannya, Yogyakarta, Kanisius)

2.2.6.3. Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. (Hartomo, 1992, Memahami Polimer Perekat, Yogyakarta, Andi Offset)

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, aluminium memiliki keunggulan dibandingkan tembaga, yang saat ini merupakan logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat. (Surdia, Saito, 1985, Pengetahuan Bahan Teknik 4, Jakarta, Pradya Paramita)

2.2.6.4. Bearing

Bearing adalah komponen yang menyangga komponen lain yang bergerak atau berputar. Terdapat gerakan relatif antara bearing dengan komponen yang disangganya, karena gerakan ini, sebagian daya akan hilang karena adanya gesekan dua permukaan. Untuk mereduksi gesekan maka diantara dua permukaan diberikan *lubricant fluid*.

Bearing diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu: menurut arah beban yang disangga, terdapat dua macam yaitu *radial bearing* dan *thrust bearing*, serta menurut *nature of contact*, terdapat dua macam yaitu *sliding contact bearing* dan *rolling contact bearing*.

- a. *Radial bearing*, arah gaya tegak lurus terhadap arah gerakan komponen.
- b. *Thrust bearing*, beban kerja sepanjang sumbu rotasi komponen.
- c. *Sliding contact bearing*, *sliding* terjadi sepanjang permukaan kontak antara komponen yang bergerak dengan komponen yang diam.
- d. *Rolling contact bearing*, bola baja atau batang baja disisipkan diantara dua *ring*. Dimana satu *ring* bergerak dan *ring* lainnya posisi diam.

(Sumber: Surdia, Shinroku, 1985, Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta, Pradya Paramita).

2.2.6.5. Karet

Karet adalah polimer hidrokarbon yang terkandung pada lateks beberapa jenis tumbuhan dan merupakan polimer dari *isoprene* yang tersusun dari 5000-10.000 satuan dalam rantai cabang.

Karet dibedakan dua jenis yaitu, karet alam (*Natural Rubber*) dan karet sintetik (*polysoprene*).

Karet alam adalah jenis karet pertama yang ditemukan oleh manusia. Struktur dasar karet alam adalah rantai linear unit isoprene (C_5H_8) yang berat molekul rata-ratanya tersebar antara 10.000 – 400.000. Manfaat dari karet alam banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya: sepatu karet, pipa karet, isolator, kabel, roda kendaraan, bahan-bahan pembungkus logam. Sedangkan karet sintetik adalah karet yang sebagian besar dibuat dengan mengandalkan bahan baku minyak bumi, sehingga memiliki sifat – sifat tersendiri yang khas. Ada jenis yang tahan terhadap panas, minyak, pengaruh udara bahkan kedap gas. Karena sifatnya yang khas, maka karet sintetik banyak digunakan untuk pembuatan pipa karet minyak dan bensin, gasket, sabuk pengangkut.

(Sumber: Surdia, Shinroku, 1985, Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta, Pradya Paramita)

2.2.7. Biaya Permesinan

Ada beberapa komponen yang masuk dalam perhitungan biaya permesinan:

a. Depreciation Cost

$$\frac{(\text{price} \times 1.5) - (0.1 \times \text{price})}{\text{age limit} \times \text{operational}} \quad 2.1$$

b. Electricity Cost

$$\text{Power} \times \text{hour} \times 500/\text{kwh} \quad 2.2$$

c. Maintenance Cost

$$0.4 \times (\text{depreciation} + \text{electricity}) \quad 2.3$$

d. Machine Cost

$$C_m = \text{Depreciation} + \text{Electricity} + \text{Maintenance} \quad 2.4$$

C_m = Biaya Mesin

(Sumber: Anggoro, Hanandoko, 2003, Diktat Kuliah Proses Produksi 1, Yogyakarta, FTI UAJY)