

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Nusyirwan (2007) melakukan penelitian, perancangan dan pembuatan mesin *thermoforming* dengan menggunakan lembaran plastik Polystyrene (HIPS) dan *Polyethylene tereftalat* (PET) sebagai bahan uji cobanya dengan ketentuan sebagai berikut: Suhu proses pemanasan 120 °C, waktu proses pemanasan 3 detik, waktu untuk vakum dan proses pendinginan 2 detik, dan tekanan proses vakum 0,05 Mpa. Maka, diperoleh kapasitas produksi maksimum dengan mesin ini adalah 360 proses/jam atau ± 720 produk/jam.

Ghani et al (2014) melakukan penelitian mampu bentuk plastik pada proses *vacuum forming* dengan variasi tekanan 0.979 bar, 0.959 bar, 0.929 bar, 0.909 bar pada temperatur 200 °C dengan bahan uji digunakan lembaran plastik *polyethylene terephthalate* (PET) berukuran 30 cm x 34 cm dengan ketebalan 0,25 mm dan 0,35 mm. Dari hasil penelitian diperoleh tekanan vakum terbaik untuk mencetak plastik dengan tebal 0,25 mm adalah 0,909 bar dan hasil yang sama juga di peroleh untuk plastik dengan ketebalan 0,35 mm yaitu untuk tekanan terbaiknya adalah 0,909 bar.

Hassan et al (2016) Melakukan penelitian dngan membuat wadah plastik dari lembaran polypropylene (PP) dengan proses thermoforming vakum. Disain dan fabrikasi cetakan pertama kali dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Catia V5 dan mesin CNC milling. Proses thermoforming kemudian dilakukan pada berbagai suhu mulai dari 160⁰C sampai 200⁰C pada PP lembar untuk membentuk wadah. Dari percobaan, dapat disimpulkan bahwa hasil dari wadah termoplastik secara signifikan tergantung pada temperatur selama proses thermoforming dan juga desain lubang ventilasi dari cetakan.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Plastik

Plastik adalah suatu bahan polimer (biasanya bahan organik) yang memiliki berat molekul besar, bentuk padat, menjadi lunak jika dipanaskan secara perlahan-lahan dan kemudian dapat dibentuk dan dicetak menjadi bentuk yang diinginkan. (Nusyirwan, 2007). Meskipun istilah plastik dan polimer seringkali dipakai secara sinonim, namun tidak berarti semua polimer adalah plastik. Pada dasarnya polimer secara umum digolongkan ke dalam 3 (tiga) macam, yakni : (Stevens, 2001)

1. Bahan Termoplastik (*Thermoplastic*), yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Termoplastik disebut juga *plastic* komoditi dan sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai-buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas (Stevens, 2001, hal 33). Contoh bahan termoplastik adalah : polistiren, polietilen, polipropilen, nilon, plastik Akrilat (*flexiglass*) dan teflon.
2. Bahan Termoseting (*Thermosetting*), yaitu plastik dalam bentuk cair dan dapat dicetak sesuai yang diinginkan serta akan mengeras jika dipanaskan dan tetap tidak dapat dibuat menjadi plastik lagi. *Thermosetting* disebut juga plastic teknik, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan daya tahan yang lebih baik (Stevens, 2001, hal 33). Contoh bahan thermosetting adalah : bakelit, silikon dan epoksi.
3. Karet (*Elastomer*) yaitu polimer yang memperlihatkan resiliensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat (Stevens, 2001, hal 36). Contoh elastomer, yaitu : karet sintetis.

2.2.2. Polystyrene (PS)

Polystyrene dibuat dengan proses polidisi dan mengandung ring bensin (aromatic) yang mengurangi kemampuan rantai untuk dilipat dalam kristalisasi sehingga PS 100% amorphous. Sifat fisik PS bergantung pada berat molekul dan adanya bahan aditif. Sementara PS dengan berat molekul lebih tinggi memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik tetapi memiliki kemampuan proses yang buruk. PS dengan berat molekul rendah memiliki kemampuan proses yang baik namun kekuatan dan ketangguhannya lebih rendah. Umumnya, keseimbangan dicari di mana panjang rantai menengah digunakan. Panjang rantai yang digunakan secara tipikal berada pada orde 1500-3500 dengan MWD standar sekitar 2,2-3,5. Sejumlah kecil plasticizer sering digunakan untuk meningkatkan kemampuan proses. (Carraher, 2006).

PS digunakan dalam berbagai hal antara lain untuk kemasan dan kotak makanan, mainan, wadah makanan sekali pakai, peralatan elektronik, peralatan rumah tangga, dan peralatan lainnya. PS dapat juga digunakan untuk mengemas peralatan elektronik, seperti TV, komputer, dan peralatan stereo. (Carraher, 2006).

2.2.3. Proses Pembentukan Plastik

Secara umum teknologi pemrosesan plastic banyak melibatkan operasi yang sama seperti proses produksi logam. Plastik dapat dicetak, dituang, dan dibentuk serta diproses permesinan (machining) dan disambung (joining). (Mervat, 2010).

Bahan baku plastik banyak dijumpai dalam bentuk pellet atau serbuk. Plastik juga tersedia dalam bentuk lembaran, plat, batangan dan pipa. (Firdaus dan Soejono, 2002).

Plastic Molding merupakan metode proses produksi massal yang cenderung menjadi pilihan untuk digunakan dalam menghasilkan atau memproses komponen-komponen yang kecil dan berbentuk rumit. Ada dua proses pencetakan dasar, yaitu cetak injeksi dan cetak kompresi. Dalam cetak injeksi, polimer leburan dikompresi ke dalam suatu ruang cetakan tertutup. Cetak kompresi menggunakan panas dan tekanan untuk menekan polimer cair, yang dimasukkan antara permukaan cetakan, sehingga membentuk pola yang sesuai. Cetak injeksi umumnya lebih cepat dari pada cetak kompresi. (Stevens, 2001).

2.2.4. *Thermoforming*

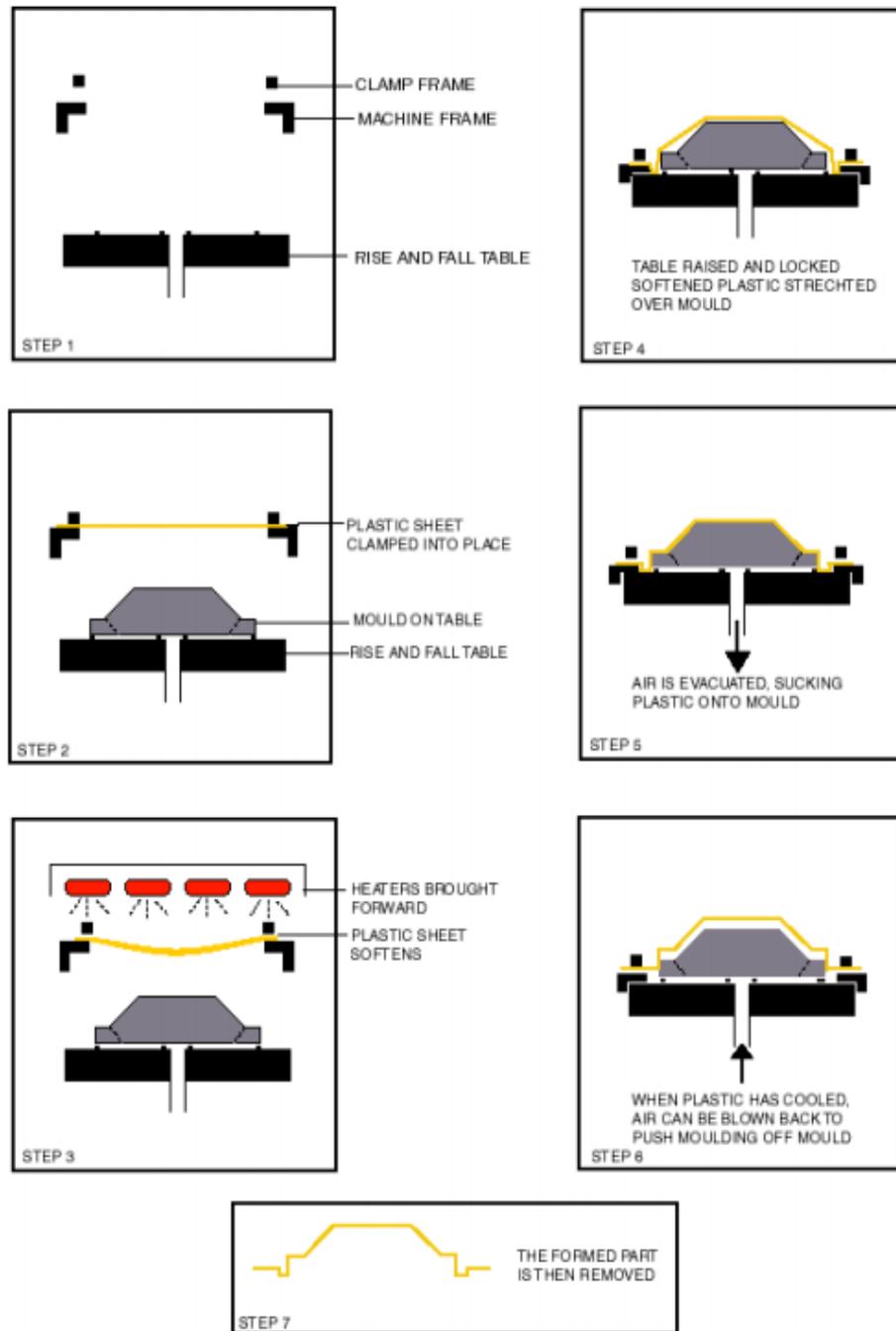
Thermoforming adalah proses pembentukan lembaran plastik dengan cara dilakukan pemanasan terlebih dahulu terhadap lembaran plastik yang kemudian dilakukan pembentukan lembaran plastik dengan cara *vacuum* (penghisapan) atau *pressure* (penekanan) ke cetakan (*mold*) sesuai dengan produk yang ingin diproduksi.

1. *Thermoforming Pressure*

Thermoforming pressure adalah proses manufaktur dimana lembaran plastik yang sudah dipanaskan kemudian ditekan kedalam rongga cetakan (*mold*). Kemudian ditahan beberapa saat sampai lembaran plastik membentuk sempurna rongga cetakan.

2. *Thermoforming Vacuum*

Thermoforming vacuum adalah proses manufaktur dimana lembaran plastik yang sudah dipanaskan kemudian diisap ke dalam rongga cetakan (*mold*). Pengisapan dilakukan dengan cara membuat kondisi vakum (hampa udara) di dalam rongga cetakan. Pengisapan udara dilakukan melalui lubang-lubang kecil yang terdapat dalam rongga cetakan dengan bantuan mesin sehingga proses tersebut bisa dilakukan dengan cepat. Perhatikan proses *vacuum forming* pada (Gambar 2.1) dibawah ini:



Gambar 2.1 Proses *Vaccum Forming*
(Sumber: Formech International Ltd)

Proses pembentukannya dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti: temperatur pemanasan, jenis dan ketebalan plastik dan tekanan vakum yang digunakan. Pada proses termoforming vakum ini memiliki beberapa keuntungan :

- a. Tidak perlu tekanan tinggi
- b. Kekuatan cetakan tidak terlalu tinggi
- c. Mudah mencetak berbagai bentuk, dari bentuk sederhana sampai yang berbentuk rumit.
- d. Mudah di Automasi
- e. Produksi dapat dilakukan dengan amat cepat
- f. Produk yang dihasilkan relatif amat seragam

2.3. Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu tentang energi (kemampuan untuk menyebabkan perubahan). Termodinamika berasal dari bahasa Yunani, yaitu : *therme* (*heat/kalor*) dan *dynamics* (*power/daya*).

2.3.1. Hukum I Termodinamika

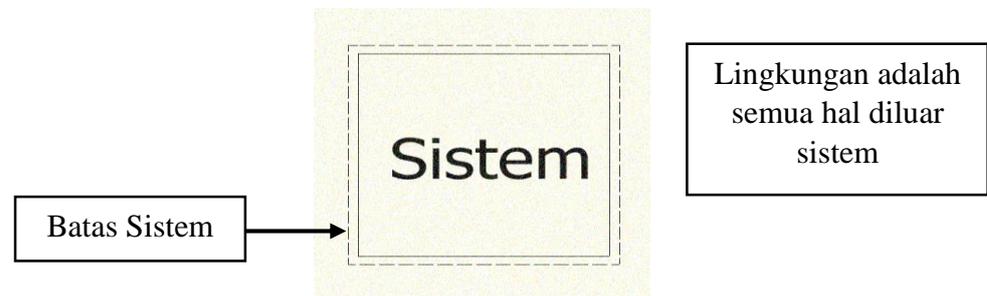
Hukum I Termodinamika yaitu “prinsip kekekalan energi” dimana “Energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Energi dapat berubah bentuk dari suatu energi tertentu, tapi jumlah total energi tetap (tidak dapat berubah).”

2.3.2. Sistem Tertutup dan Sistem Terbuka

Sistem adalah kuantitas zat atau suatu daerah ruang yang dipilih untuk dianalisis. Sistem dibedakan menjadi :

1. Sistem Tertutup dimana massa (m) tidak dapat keluar-masuk sistem
2. Sistem Terbuka dimana massa (m) dapat keluar-masuk sistem.

Interaksi antara sistem dengan lingkungan dapat terjadi dalam bentuk kalor (Q) dan kerja (W) karena dapat menembus batas sistem.



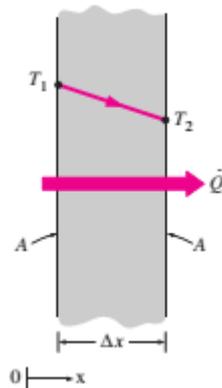
Gambar 2.2 Sistem Tertutup

2.4. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material. Didalam termodinamika telah diketahui bahwa energi yang dipindahkan itu dinamakan kalor (heat). Perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan bagaimana energi kalor berpindah dari satu benda ke benda yang lain, tetapi juga untuk mengetahui laju perpindahan yang terjadi pada kondisi tertentu. Laju perpindahan kalo dibagi menjadi tiga macam yaitu konduksi (hantaran), konveksi dan radiasi.

2.4.1. Konduksi

Perpindahan Kalor secara konduksi adalah perpindahan kalor melalui suatu zat perantara (Padat, Cair dan Gas) tanpa disertai perpindahan partikel – partikel zat tersebut secara permanen. Contohnya adalah ketika kita memanaskan salah satu ujung logam, maka ujung logam lainnya akan ikut panas karena terjadi hantaran kalor dari suhu tinggi ke suhu rendah. Ketika memanaskan salah satu ujung logam, maka partikel yang terdapat pada ujung logam tersebut akan bergetar dan membuat getaran terjadi pada partikel lain yang terhubung dengannya. Sehingga seluruh partikel logam tersebut akan bergetar walaupun hanya satu ujung logam yang dipanaskan yang mengakibatkan terjadinya perpindahan kalor. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada (Gambar2.2) di bawah ini:



Gambar 2.3 Laju Perpindahan Kalor Konduksi
(Sumber: Cengel, 2003)

Adapun Perpindahan panas konduksi dapat dirumuskan dibawah ini :

$$\text{Laju Perpindahan konduksi} \propto \frac{(\text{Luas Penampang})(\text{Perbedaan Temperatur})}{(\text{Ketebalan Material})}$$

Atau,

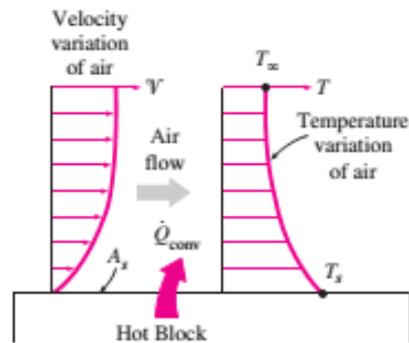
$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta X} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2.1)$$

(Sumber: Cengel, 2003)

| | |
|--------------------|--|
| Dimana: Q_{cond} | = Laju perpindahan panas konduksi (Watt) |
| K | = Konduktivitas termal ($W/m \cdot ^\circ C$) |
| A | = Luas perpindahan kalor (m^2) |
| T_1 | = Temperatur pada titik 1 ($^\circ C$) |
| T_2 | = Temperatur pada titik 2 ($^\circ C$) |
| ΔT | = Perbedaan temperatur ($^\circ C$) |
| ΔX | = Jarak yang ditempuh oleh perpindahan kalor (m) |

2.4.2. Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan/transfer energi antara permukaan padat dan cair yang berdekatan atau gas yang bergerak, dan ini melibatkan efek gabungan dari perpindahan konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada (Gambar 2.3) dibawah ini:

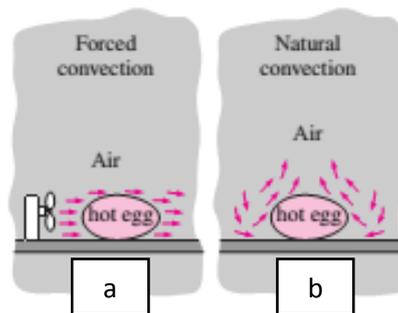


Gambar 2.4 Laju Perpindahan Kalor Konveksi
(Sumber: Cengel, 2003)

Pendinginan balok panas dengan cara meniup udara dingin di atas permukaannya (Gambar 2.3). Energi pertama ditransfer ke lapisan udara yang berdekatan dengan balok dengan konduksi. Energi ini kemudian terbawa dari permukaan oleh konveksi, yaitu dengan efek gabungan dari konduksi dalam udara yang disebabkan oleh gerakan acak molekul udara atau makroskopik gerakan udara yang menghilangkan udara panas di dekat permukaan dan menggantikannya dengan udara dingin.

Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi karena adanya pengaruh faktor luar (contoh tekanan) dan perpindahan kalor dilakukan dengan sengaja/dipaksakan. Artinya aliran panas kalor dipaksa menuju ke tempat yang ingin dituju dengan bantuan faktor luar seperti kipas angin, pompa atau blower. Contohnya adalah pada kipas angin yang akan membawa udara dingin ke tempat yang panas, dan radiator mobil yang memiliki sistem pendingin mesin.

Konveksi alami adalah konveksi yang dipengaruhi gaya apung tanpa faktor luar, dan disebabkan oleh karena adanya perbedaan massa jenis benda. Contohnya adalah pada pemanasan air, massa jenis partikel air yang sudah panas akan naik menjauh dari api dan digantikan dengan partikel air lain yang suhunya lebih rendah. Proses ini membuat seluruh partikel zat cair tersebut akan panas sempurna. Untuk lebih jelasnya bisa kita lihat pada (Gambar 2.4) dibawah ini:



Gambar 2.5 (a) konveksi paksa dan (b) konveksi alami
(Sumber: Cengel, 2003)

Pada (Gambar 2.4a) konveksi terjadi secara paksa dimana udara ditiup/dipaksa melewati sebuah telur yang memiliki temperatur tinggi oleh semua kipas. Sebaliknya, pada (Gambar 2.4b) terjadi konveksi alami karena gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan kepadatan karena variasi suhu. Perpindahan panas konveksi dapat dirumuskan dibawah ini :

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad \text{jika:} \quad T_s > T_\infty \quad (2.2a)$$

Atau,

$$Q_{conv} = hA(T_\infty - T_s) \quad \text{jika:} \quad T_\infty > T_s \quad (2.2b)$$

(Sumber: Cengel, 2003)

| | |
|---------------------|---|
| Dimana : Q_{conv} | = Laju perpindahan panas konveksi (Watt) |
| h | = Koefisien perpindahan panas fluida ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) |
| A | = Luas penampang (m^2) |
| T_s | = Temperatur permukaan ($^\circ C$) |
| T_∞ | = Temperatur fluida ($^\circ C$) |

2.5. Tekanan

Suatu bidang kecil A melintasi sebuah titik dalam fluida diam. Fluida dalam satu sisi bidang tersebut mengalami gaya tekan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang, F_{normal} . Suatu gaya yang sama besar tetapi dengan arah yang berlawanan akan diberikan pada bidang oleh fluida pada sisi lain.

Karena fluida dalam keadaan diam, maka tidak ada gaya lain yang bekerja pada fluida. Tekanan p pada titik tertentu didefinisikan dalam bentuk limit sebagai,

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left(\frac{F_{normal}}{A} \right)$$

Dengan A' adalah luas bidang pada “titik” dengan pemahaman limit yang sama pada definisi densitas.

Jika bidang A' diberikan orientasi baru dengan memutar bidang tersebut terhadap suatu titik, dan tekanan ditentukan untuk setiap orientasi baru, maka akan diperoleh bahwa tekanan pada titik tersebut akan sama disegala arah selama fluida dalam keadaan diam. Hal ini merupakan konsekuensi dari kesetimbangan gaya yang bekerja pada suatu elemen volume disekeliling titik. Tetapi, tekanan dapat berbeda dari suatu titik ke titik yang lain dalam fluida diam; misalnya perubahan tekanan atmosfer terhadap ketinggian dan perubahan tekanan air terhadap kedalaman laut, danau, atau benda lain yang terisi air.

Selanjutnya dibahas mengenai fluida mengalir. Dalam hal ini gaya yang bekerja pada bidang yang melintasi suatu titik dalam fluida dapat diuraikan menjadi tiga komponen yang saling tegak lurus (normal) terhadap bidang disebut tegangan normal (normal stress), sedangkan dua komponen yang sejajar bidang disebut sebagai tegangan geser (shear stress). Besarnya tegangan umumnya berubah sesuai dengan orientasi bidang. Kajian mengenai tegangan pada fluida mengalir merupakan topik pada mekanika fluida (fluid mechanics). Perbedaan antara tegangan normal dengan tekanan – yaitu tegangan normal yang terjadi jika fluida dalam keadaan diam, umumnya sangat kecil.

2.5.1. Satuan Tekanan

Satuan tekanan (pressure) dan tegangan (stress) adalah pascal.

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

Namun, dapat ditulis dengan satuan yang merupakan turunan dari pascal, yaitu kilopascal, bar, dan megapascal.

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

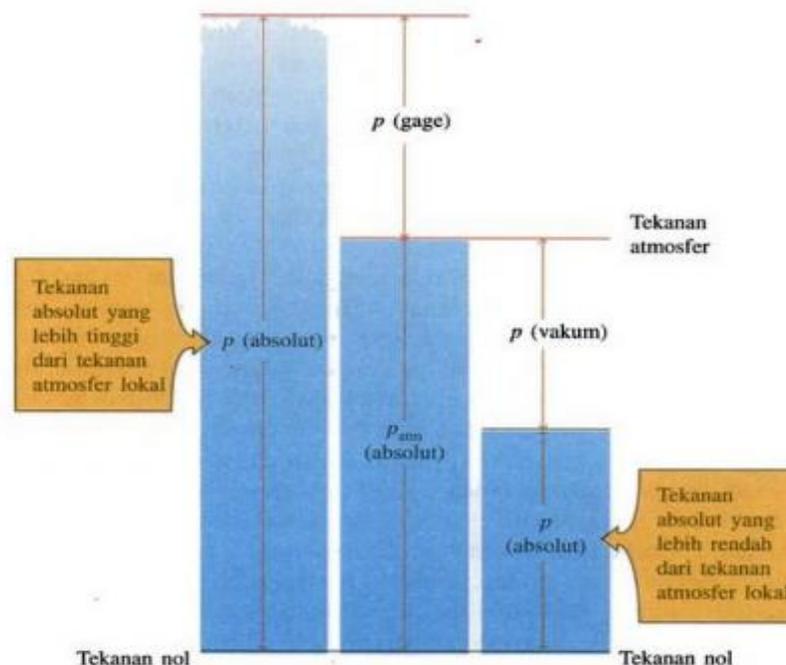
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

Satuan british untuk tekanan dan tegangan yang umum dipergunakan adalah pound gaya per feet luas (lbf/ft^2) dan pound gaya per inci luas (lbf/in^2). Meskipun tekanan atmosfer berubah terhadap lokasi dipermukaan bumi, nilai referensi standar untuk atmosfer dan dibandingkan dengan satuan tekanan yang lain adalah :

$$1 \text{ standar atmosfer (atm)} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 14,696 \text{ lbf/in}^2$$

Tekanan seperti yang telah dibahas sebelumnya adalah tekanan absolut (absolute pressure). Disini tekanan yang dimaksud adalah tekanan absolut, kecuali jika diberi penjelasan lain. Meskipun tekanan absolut harus digunakan dalam analisi hubungan termodinamika, peralatan ukur tekanan umumnya memberikan perbedaan antara tekanan absolut dalam sistem dengan tekanan dari atmosfer yang berada di luar alat kur. Besarnya perbedaan tekanan ini disebut sebagai tekanan gage (gage pressure) atau tekanan vakum (vacuum pressure).



Gambar 2.6 Hubungan antara tekanan absolut, tekanan atmosfer, tekanan gage dan tekanan vakum.
(sumber: Moran, 2004)

Istilah tekanan gage digunakan jika tekanan sistem lebih tinggi dari tekanan atmosfer setempat, P_{atm} .

$$P(\text{gage}) = P(\text{absolut}) - P_{atm}(\text{absolut})$$

Jika tekanan atmosfer setempat lebih tinggi dari tekanan sistem, maka digunakan istilah vakum.

$$P(\text{vakum}) = P_{atm}(\text{absolut}) - P(\text{absolut})$$

Hubungan antara berbagai istilah pengukuran tekanan ditunjukkan pada (Gambar 2.5). insiyur diamerika serikat seringkali menambahkan huruf a dan g untuk membedakan antara tekanan absolut dengan tekanan gage. Contoh, tekanan absolut dan gage adalah satuan pound gaya per inci luas ditulis masing-masing sebagai psia dan psig.

2.6. Software Perancangan

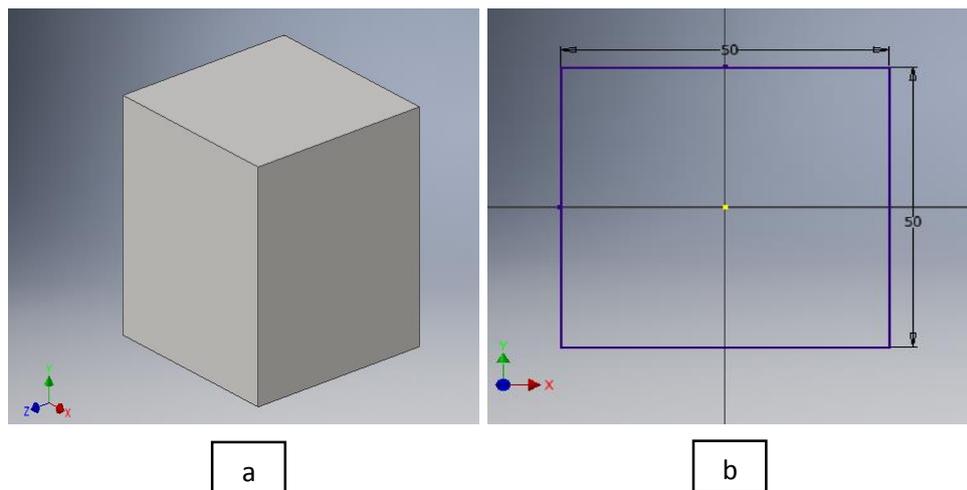
Perancangan ulang merupakan proses yang rumit dan memerlukan waktu yang panjang untuk menyelesaikan suatu perancangan pada saat teknologi (aplikasi) dalam perancangan belum berkembang. Dimana proses perancangan dilakukan seluruhnya secara manual dengan menggambar menggunakan pensil dan kemudian digambar ulang menggunakan tinta agar tahan lebih lama. Namun, saat ini sudah banyak berkembang aplikasi-aplikasi yang diperuntukkan dalam bidang perancangan mesin atau disebut dengan CAD (*Computer Aided Design*) dimana sangat membantu dalam proses perancangan atau mendisain sebuah buah produk atau komponen seperti:

1. *Autodesk Inventor*
2. *Autodesk Fusion 360*
3. *Solidworks*
4. *Pro Engineer*
5. *CATIA*
6. *Autocad*
7. *ZWCAD*
8. *Unigraphics*
9. Dan lain-lain..

Software disain yang akan penulis gunakan untuk mendisain mesin *Vacuum forming* adalah *software Autodesk Inventor Professional 2016* yang merupakan *software Computer Aided Design 3D* yang dikembangkan oleh *Autodesk Corporation*.

2.6.1. *Software Autodesk Inventor Professional 2016*

Adalah salah satu *software CAD* yang mampu membuat gambar 3Dimensi *solid* dengan cara menggambar 2 Dimensi atau sketsa terlebih dahulu. Pada Autodesk Inventor lebih mudah dalam mengakses tools untuk digunakan dalam proses disain, penggambaran 3 Dimensi yang baik dan paling penting memiliki keunggulan dalam proses analisa (*stress analysis*) dalam perhitungan material. Perhatikan penampilan *software aurodesk inventor* pada (Gambar 3.1) dibawah ini:



Gambar 2.7 Disain *Software Autodesk Inventor*; a) 3D dan b) 2D