

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu terkait mesin injeksi molding skala laboratorium menggunakan sistem pneumatik menunjukkan adanya keterbatasan dalam kontrol tekanan dan daya tahan, terutama dalam penggunaan jangka panjang. Ini mendorong perlunya perbaikan dengan memodifikasi sistem penggerak [7]. Penelitian lain juga menegaskan bahwa meskipun pneumatik lebih sederhana, presisi yang kurang sering menjadi kelemahan dalam kontrol operasi. Di sisi lain, sistem hidrolik telah terbukti lebih unggul dalam hal presisi dan daya tahan, terutama dalam aplikasi industri bertekanan tinggi [8].

#### **2.2 Prinsip Dasar Mesin Injeksi *Moulding***

Prinsip ini merupakan landasan teori yang penting dalam penelitian ini. Mesin injeksi moulding adalah teknologi manufaktur yang digunakan untuk membentuk produk dari bahan plastik melalui proses injeksi. Pada dasarnya, mesin ini bekerja dengan mencairkan plastik di dalam *barrel* melalui proses pemanasan, kemudian plastik cair tersebut diinjeksikan ke dalam cetakan (*mold*) dengan tekanan tinggi. Setelah cetakan terisi, plastik didinginkan hingga mengeras dan terbentuk menjadi produk sesuai bentuk cetakan.

Proses injeksi ini terdiri dari beberapa tahap utama yaitu:

1. **Plastifikasi:** Plastik mentah berupa biji plastik dipanaskan hingga mencair dalam *screw barrel*.
2. **Injeksi:** Plastik cair diinjeksikan ke dalam mold yang bertekanan tinggi.

3. **Pendinginan:** Setelah cetakan terisi penuh, plastik didinginkan agar mengeras dan menjadi produk.
4. **Pembukaan Mold:** Setelah plastik mengeras, cetakan dibuka dan produk dilepas.

Dalam penelitian ini, sistem pneumatik yang digunakan untuk membuka dan menutup cetakan digantikan oleh sistem hidrolik. Sistem pneumatik menggunakan udara bertekanan untuk membuka cetakan, tetapi sistem ini memiliki masalah dengan kekuatan dan kestabilan tekanan. Sebaliknya, sistem hidrolik menggunakan cairan bertekanan, yang memberikan kestabilan dan kontrol tekanan yang lebih baik. Akibatnya, sistem hidrolik memungkinkan pembukaan dan penutupan cetakan lebih mudah.

### **2.3 Pneumatik pada Mesin Injeksi *Moulding***

Sistem ini adalah teknologi yang menggunakan udara bertekanan sebagai penggerak mekanis untuk menjalankan proses buka tutup cetakan (*mold*) pada mesin injeksi. Prinsip dasar sistem ini adalah memanfaatkan tekanan udara yang dikompresi dan diarahkan melalui katup-katup untuk menggerakkan aktuator pneumatik. Sistem pneumatik memiliki kelebihan berupa kesederhanaan, kecepatan, dan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem hidrolik [9].

Dalam konteks mesin injeksi *moulding*, sistem pneumatik digunakan terutama untuk menggerakkan bagian cetakan agar bisa membuka dan menutup selama siklus injeksi berlangsung. Meskipun memiliki respons yang cepat, sistem ini memiliki kelemahan dalam hal kestabilan dan kekuatan tekanan, terutama pada aplikasi yang memerlukan daya tahan dan kontrol tekanan yang lebih tinggi. Ketika

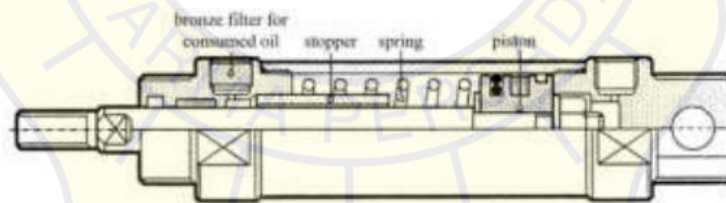
tekanan udara berubah atau fluktuasi terjadi, sistem pneumatik mungkin tidak memberikan kontrol yang presisi dalam pengoperasiannya, yang dapat mempengaruhi kualitas produk akhir.

## 2.4 Sistem Hidrolik pada Mesin Injeksi *Moulding*

Silinder kerja hidrolik adalah komponen utama yang berperan dalam mengubah dan meneruskan daya dari tekanan. Komponen ini satu-satunya yang bergerak untuk menghasilkan gerak translasi, yang kemudian diteruskan ke bagian mesin melalui batang piston. Berdasarkan konstruksinya, silinder kerja hidrolik dibedakan menjadi dua tipe dalam sistem hidrolik, yakni sebagai berikut:

### 2.4.1 Silinder Penggerak Tunggal (*Single Acting*)

Silinder kerja ini memiliki satu ruang fluida, yang terletak di atas atau di bawah piston. Kondisi ini membuat silinder kerja hanya dapat melakukan satu jenis gerakan, yaitu gerakan tekan. Untuk kembali ke posisi semula, ujung batang piston didorong oleh gravitasi atau tenaga dari pegas.

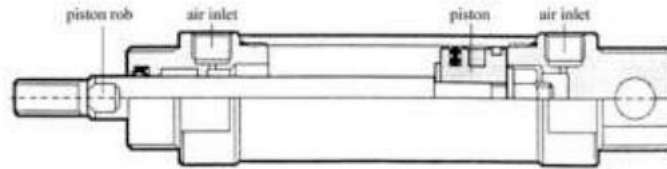


Gambar 2.1 Konstruksi Silinder Penggerak Tunggal.

### 2.4.2 Silinder Penggerak Ganda (*Double Acting*)

Silinder kerja ini terdiri dari dua ruang fluida, yaitu ruang di atas dan di bawah piston. Ruang di atas piston memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan ruang di bawahnya, karena sebagian ruangnya sudah digunakan oleh batang piston

itu sendiri. Dengan kondisi ini, silinder kerja dapat melakukan gerakan bolak-balik atau maju mundur dengan efektif.



Gambar 2.2 Konstruksi Silinder Penggerak Ganda.

Ukuran silinder ditentukan oleh besar gaya yang harus dihadapi serta panjang langkah yang diperlukan untuk memindahkan beban. Pemilihan ukuran yang tepat sangat penting, karena hal ini dapat menghemat biaya operasional maupun biaya pembelian. Jika ukuran silinder terlalu besar, penggunaan fluida akan menjadi lebih boros dan dapat merugikan [9]. Sebaliknya, ukuran yang terlalu kecil dapat menyebabkan kerusakan akibat beban yang berlebih. Oleh karena itu, penentuan ukuran silinder harus dilakukan dengan cermat dan disesuaikan dengan kebutuhan yang ada. Rumus dasar hidrolik adalah:

A. Rumus Hidrolik

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \quad (2.1)$$

Di mana,

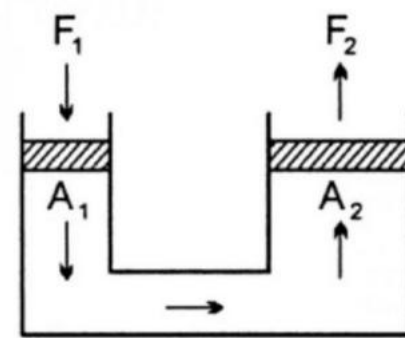
p = Tekanan kerja sistem hidrolik (N/mm<sup>2</sup>)

F = Gaya penampang diterima torak (N)

A = Luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>)

d = Diameter torak (mm)

## B. Hukum Pascal



$$p_1 = p_2 = p_e$$

$$\Leftrightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (2.2)$$

$$\Leftrightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (2.3)$$

Keterangan: Bila diketahui Gaya dan Luas penampang

$$\Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (2.4)$$

Keterangan: Bila diketahui luas penampang dan diameter piston/torak

$$\Leftrightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (2.5)$$

Keterangan: Bila diketahui Gaya dan diameter piston/torak

Bila  $V_1 = V_2$ , maka: (2.6)

$$\Leftrightarrow A_1 S_1 = A_2 S_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (2.7)$$

Keterangan: Bila diketahui Luas penampang dan Panjang piston/Torak

$$\Leftrightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (2.8)$$

Keterangan: Bila diketahui Gaya dan Panjang Piston/Torak

Di mana,

F = Gaya (N)

A = Luas penampang torak/piston (mm<sup>2</sup>)

d = Diameter torak/piston (mm)

S = Panjang langkah piston/torak

C. Debit Aliran Fluida (Q)

$$Q_1 = Q_2 = Q, \text{ di mana: } Q = A v \quad (2.9)$$

$$\Leftrightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (2.10)$$

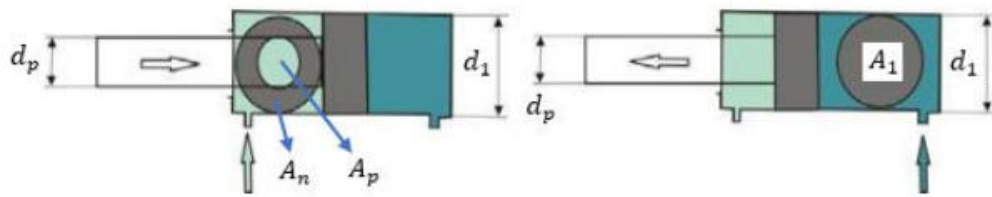
Di mana,

Q = Debit Aliran Fluida

A = Luas penampang torak/piston (mm<sup>2</sup>)

v = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

D. Kecepatan Maju dan Mundur pada Hidrolik



$$\Leftrightarrow v_{maju} = \frac{Q}{A_1} \quad (2.12)$$

$$\Leftrightarrow v_{mundur} = \frac{Q}{A_n} ; \text{ di mana: } A_n = A_1 - A_p = \left( \frac{\pi d_1^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi d_p^2}{4} \right) = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_p^2) \quad (2.13)$$

$$\Leftrightarrow A_n = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_p^2) \quad (2.14)$$

Di mana,

Q = Debit Aliran Fluida

A = Luas penampang torak/piston (mm<sup>2</sup>)

d = Diameter torak/piston (mm)

E. Gas Tekanan Absolut

$$\Leftrightarrow p_{abs1} V_1 = p_{abs2} V_2 \quad (2.15)$$

$$\Leftrightarrow W = F S = p A S = p V \quad (2.16)$$

$$\Leftrightarrow P = \frac{W}{t} = \frac{p V}{t} = p Q \quad (2.17)$$

Di mana,

V = Volume (m<sup>3</sup>)

W = Usaha atau Kerja (J atau Nm)

$S$  = Panjang Langkah Piston (m)

$A$  = Luas penampang torak/piston ( $\text{mm}^2$ )

$t$  = Waktu (s)

Sistem hidrolik cocok untuk mesin injeksi molding yang membutuhkan kekuatan dan kestabilan tekanan tinggi karena menggunakan cairan (biasanya minyak hidrolik) untuk menghasilkan tenaga melalui tekanan. Prinsip kerjanya adalah untuk menggerakkan piston melalui tekanan fluida yang dipompakan, yang menghasilkan gaya yang stabil untuk membuka dan menutup cetakan ( *mold*).

Keunggulan sistem hidrolik terletak pada daya tekan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pneumatik. Hal ini memungkinkan pengendalian yang lebih presisi dan konsisten, terutama dalam proses injeksi di mana stabilitas sangat penting untuk menjaga kualitas produk akhir [10]. Selain itu, sistem hidrolik memiliki kemampuan untuk mempertahankan tekanan dalam waktu yang lebih lama, yang diperlukan dalam proses pembuatan cetakan yang kompleks.

Dalam modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini, penggantian sistem pneumatik dengan hidrolik diharapkan dapat meningkatkan kestabilan dan kekuatan dalam proses buka tutup  *mold*, sehingga memberikan hasil cetakan yang lebih presisi dan mengurangi cacat produksi [11].

## 2.5 Perbandingan Pneumatik dan Hidrolik

Perbandingan antara sistem pneumatik dan hidrolik dapat dilihat dari Tabel berikut :

Tabel 2.1 Perbandingan pneumatik dan hidrolik pada beberapa aspek [3].

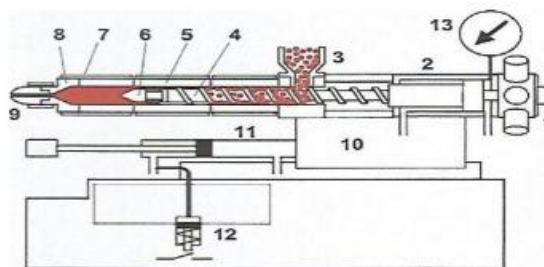
No	Aspek	Sistem Hidrolik	Sistem Pneumatik
1	Media Penggerak	Fluida (biasanya oli hidrolik)	Gas (biasanya udara dan angin)
2	Tekanan Operasional	Tinggi (hingga ribuan psi)	Rendah hingga sedang (hingga 150 psi)
3	Akurasi dan Kontrol	Tinggi, sangat presisi	Sedang, kurang presisi dibanding hidrolik
4	Daya Angkat/Kekuatan	Sangat tinggi, cocok untuk beban berat	Sedang, cocok untuk beban ringan hingga sedang
5	Kecepatan Gerakan	Lebih lambat namun sangat kuat	Lebih cepat, namun kurang kuat
6	Ukuran dan Bobot Sistem	Umumnya lebih besar dan berat	Lebih ringan dan kompak
7	Penggunaan Umum	Industri berat, alat berat, mesin presisi	Industri ringan, otomasi, alat-alat tangan

## 2.6 Bagian Mesin Injeksi *Moulding*

Mesin injeksi molding terdiri atas dua bagian besar, yaitu unit injeksi dan unit clamping. Setiap tipe mesin injeksi yang berbeda akan ada perbedaan dalam unit injeksi dan unit clampingnya.

### 1. Injeksi Unit

Injection Unit adalah tempat untuk memanaskan plastik dan untuk proses injeksi plastik kedalam cetakan.



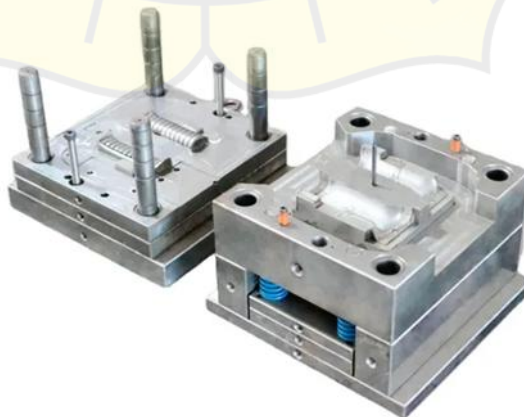
Gambar 2.3 Bagian Injection Unit Mesin Injeksi Molding [7].

## 2. *Clamping Unit*

*Clamping Unit* adalah tempat untuk meletakkan cetakan, membuka dan menutup cetakan, serta mengeluarkan *part* dari cetakan. Pada saat menutup cetakan, mesin harus memiliki kekuatan cekam yang sangat kuat karena cetakan akan diisi oleh material cair panas dengan tekanan yang sangat tinggi. Apabila mesin tidak sanggup menutup cetakan dengan kuat, maka material plastik cair tadi akan mengalir disela antara *core* dan *cavity*.

### 2.7 Cetakan (*Moulding*)

Cetakan (*moulding*) pada proses injeksi molding berfungsi sebagai wadah untuk membentuk plastik cair yang diinjeksikan menjadi bentuk produk yang diinginkan. Secara umum, cetakan terdiri dari dua bagian utama: *cavity* (bagian rongga) dan *core* (inti), yang masing-masing bertindak sebagai cetakan negatif dan positif. Pada mesin injeksi molding, terdapat dua tipe cetakan yang umum digunakan, yaitu *mold 2 plate* dan *mold 3 plate*. *Mold 2 plate* hanya memiliki *cavity* dan *core plate*, sedangkan *mold 3 plate* menambahkan *runner plate* untuk memisahkan saluran material cair.



Gambar 2.4 Cetakan (*Moulding*) *Core* dan *Cavity* [7].

## 2.8 Jenis-Jenis Cacat Produk

Dalam proses produksi plastik dengan mesin injeksi molding pasti dijumpai oleh cacat produk. Untuk bisa mengatasi cacat produk tersebut tentunya ada cara atau tindakan untuk memperbaikinya.

### A. *Weld Line*

*Weld line* terjadi apabila material mengalir melalui cetakan yang terdapat lubang, setelah alirannya terbelah menjadi dua arah yang pada akhirnya akan menyatu kembali. Pada permukaan pertemuan dua arah aliran material tersebut akan menimbulkan garis yang disebut *weld line*.

### B. *Sinkmark*

*Sinkmark* adalah suatu bagian dimana jika dibandingkan dengan bagian lain ada yang masuk kedalam (penyok).

### C. *Flowmark*

*Flowmark* terjadi karena perubahan kecepatan aliran di *gate*, perubahan ketebalan produk, tempat terjadinya perubahan aliran material dan tempat terakhir berhentinya aliran material.

### D. *Flashing*

*Flashing* adalah terdapat material lebih pada Sisi pinggir produk.

### E. *Short Shots*

*Short shot* adalah produk yang tidak sempurna pada sisinya karena materialnya tidak merata ke setiap sudutnya. Cacat ini bisa disebabkan oleh pengaturan tekanan injeksi yang tidak tepat, desain cetakan yang buruk, atau

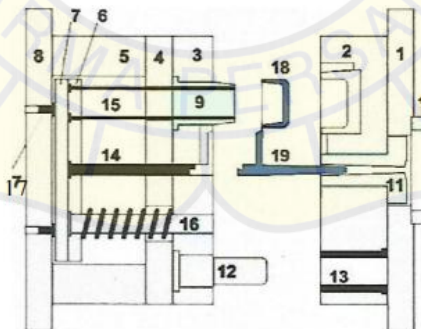
kondisi material yang kurang optimal. Penggantian sistem pneumatik dengan hidrolis diharapkan dapat mengurangi cacat yang terkait dengan kontrol tekanan yang kurang presisi.

## 2.9 Jenis-Jenis Cetakan

Cetakan secara umum dibedakan menjadi 2 tipe yaitu, tipe *mold 2 Plate* dan *mold 3 Plate*. *Mold 2 Plate* terdiri dari *cavity plate* dan *core plate*, sedangkan untuk *mold 3 Plate* ditambah *runner plate*.

1. *Mold 2 Plate* menghasilkan produk yang masih menyatu dengan *runner* (aliran material dari *sprue bush* dan setelahnya), sehingga kita harus memisahkan antara produk dan *runner* dengan *nipper cutting* atau tang potong untuk mendapatkan hasil potongan yang halus dan rapi [12].

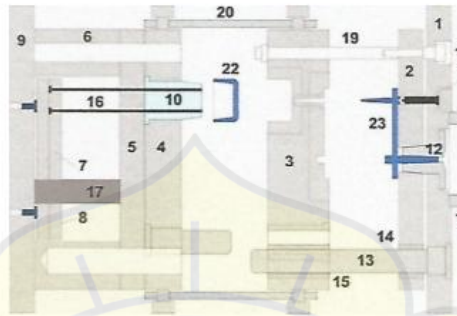
Untuk mendapatkan produk yang terpisah dengan *runner* bisa diaplikasikan sistem *submarine gate*, dan untuk mendapatkan hanyap rodok saja yang keluar, bisa mengaplikasikan sistem *hot runner*.



Gambar 2.5 *Mold 2 Plate* [7].

2. *Mold 3 Plate* Perbedaan antara *mold 2 plate* dan *mold 3 plate* terletak hanya pada jumlah platennya saja. Pada *mold 3 plate* terdapat tambahan satu plate

yaitu runner plate. Fungsi dari *runner plate* adalah menghasilkan produk yang terpisah dari *runner*. Tentunya dengan aplikasi gate yang biasa disebut *pin point gate*. Pada saat *mold* terbuka, posisi *runner* harus tetap melekat pada *runner plate* dengan jaminan *runner lock pin* pada setiap *gate* nya [13].



Gambar 2.6 *Mold 3 Plate* [7].

## 2.10 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor merupakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD) yang dikembangkan oleh Autodesk. Perangkat lunak ini dirancang untuk membuat model 3D, gambar teknik, dan simulasi mekanik, yang sangat bermanfaat dalam perancangan produk dan pengembangan prototipe. Inventor menawarkan dukungan untuk pembuatan desain parametrik, sehingga dimensi dan parameter lainnya dapat dimodifikasi dengan mudah, memberikan fleksibilitas tinggi dalam proses desain.

### 2.10.1 Model Parametrik

Model parametrik adalah model yang dibuat dengan parameter yang dapat diatur, seperti dimensi, bahan, dan fitur. Dalam Autodesk Inventor, setiap elemen model memiliki parameter yang dapat diubah, sehingga memungkinkan desainer untuk melakukan perubahan tanpa perlu memulai dari awal. Hal ini sangat bermanfaat dalam proses iterasi desain dan pengembangan produk.

### **2.10.2 Gambar Teknik**

Gambar teknik yang dihasilkan dari model 3D di Autodesk Inventor mencakup semua detail dimensi, anotasi, dan spesifikasi yang diperlukan untuk pembuatan komponen. Gambar teknik ini memastikan bahwa komponen yang diproduksi sesuai dengan desain yang diinginkan, dengan semua toleransi dan persyaratan lainnya yang didefinisikan dengan jelas.

### **2.11 iLogic**

iLogic merupakan fitur di dalam Autodesk Inventor yang memungkinkan otomatisasi proses desain menggunakan aturan berbasis logika. Dengan iLogic, pengguna dapat menulis skrip untuk mengontrol parameter model Inventor, sehingga model dapat beradaptasi secara otomatis terhadap perubahan input atau kondisi tertentu.

#### **2.11.1 Otomatisasi Desain**

Otomatisasi desain dengan iLogic memudahkan perubahan model yang cepat dan efisien. Misalnya, dengan mengubah satu parameter, seperti panjang atau diameter, iLogic dapat memperbarui seluruh model untuk mencerminkan perubahan tersebut. Ini sangat berguna dalam desain custom, di mana spesifikasi produk mungkin bervariasi berdasarkan kebutuhan pelanggan.

#### **2.11.2 Penggunaan Variabel**

Fitur iLogic memungkinkan penggunaan variabel yang dapat dimasukkan oleh pengguna untuk menyesuaikan ukuran dan fitur model secara otomatis. Dalam penelitian ini, variabel seperti diameter piston, panjang stroke, dan tekanan dapat digunakan untuk menghitung dan menyesuaikan desain model hidrolik secara langsung, menghasilkan desain yang optimal berdasarkan perhitungan teoritis.

## 2.12 Aplikasi Autodesk Inventor dan iLogic dalam Desain Custom

Dalam konteks penelitian ini, Autodesk Inventor dan iLogic digunakan untuk membuat desain custom yang presisi dan efisien [15]. Proses dimulai dengan menghitung dimensi ideal dari komponen, seperti diameter piston dan panjang stroke, yang kemudian dimasukkan ke dalam Inventor. Dengan bantuan iLogic, model ini dapat disesuaikan secara otomatis, mempercepat proses desain dan mengurangi kemungkinan kesalahan manusia. Diantara manfaat penggunaan autodesk inventor dan iLogic sebagai berikut:

- A. Efisiensi Waktu: Mengurangi waktu yang diperlukan untuk revisi desain karena perubahan parameter dapat diterapkan secara otomatis.
- B. Presisi Tinggi: Memastikan bahwa semua elemen desain sesuai dengan perhitungan dan spesifikasi teknik.
- C. Fleksibilitas: Memungkinkan desainer untuk dengan mudah menyesuaikan desain untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda tanpa membuat model baru dari awal.

Penggunaan Autodesk Inventor dan iLogic dalam penelitian ini memberikan pendekatan yang terstruktur dan efisien untuk desain dan pengembangan komponen hidrolik. Dengan kemampuan untuk membuat model parametrik dan mengotomatiskan proses desain, perangkat ini memberikan dukungan yang kuat dalam mencapai hasil yang optimal dan akurat dalam waktu yang lebih singkat.

### 2.13 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka yang telah dikaji, hipotesis penelitian ini adalah:

- A. Modifikasi sistem buka-tutup mold dari pneumatik ke hidrolik akan meningkatkan kestabilan tekanan saat proses injeksi, sehingga dapat mengurangi cacat pada produk akhir.
- B. Sistem hidrolik akan menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam hal kekuatan dan konsistensi buka-tutup  *mold*, yang berimplikasi pada peningkatan efisiensi operasional mesin injeksi moulding skala laboratorium.

