

BAB IV

HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Identifikasi bahan

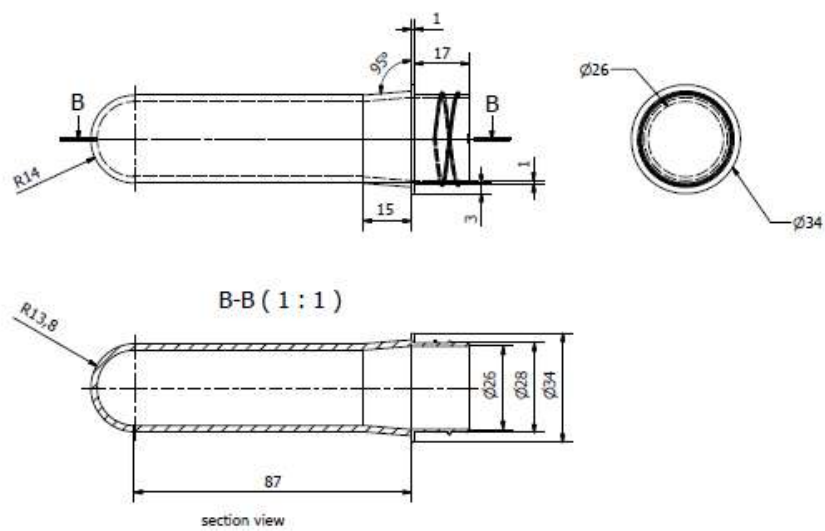
Salah satu syarat dari perancangan cetakan pada *blow molding machine* adalah identifikasi terlebih dahulu data produk yang akan digunakan untuk menentukan rancangan cetakan yang akan dibuat. Analisa identifikasi produk sangat penting dilakukan untuk mengetahui spesifikasi bahan yang nantinya akan digunakan untuk menentukan desain cetakan yang akan dibuat pada *blow molding machine*, Identifikasi produk juga menentukan hasil akhir dari cetakan tersebut apakah baik atau tidak. Pada Tabel 4.1 dapat kita lihat data spesifikasi produk *bottle preform* yang akan digunakan dan pada tabel 4.2 ditunjukkan data spesifik material aluminium yang akan di gunakan untuk perancangan.

Tabel 4.1. Spesifikasi Bahan Produk (*Bottle Preform*)

Data spesifikasi produk bottle preform	
Material	Plastic PET
Warna	<i>Clear</i> / transparan
Titik lebur	260°C
Titik beku	75°C
<i>Modulus Young</i>	2800 – 3100 MPa
<i>Tensile strength</i>	55 -75 MPa
<i>Shrinkage</i>	2%
Dimensi produk	P = 118 mm
	Tebal = 2 mm
	Do = 28 mm Di = 26 mm
Volume isi	50 ml
Berat	29,6 gram
Batas elastisitas	55 – 75 MPa



Gambar 4.1. *Bottle preform 50 ml*



Gambar 4.2. Dimensi detail *bottle preform*



Gambar 4.3. Aluminium Seri 5xxx

Tabel 4.2. Data spesifik aluminium yang akan digunakan

Data spesifik aluminium	
Nama aluminium	Seri 5xxx
<i>Density</i>	2700 (Kg/m ³)
<i>Modulus Elastisitas</i>	69 GPa
Konduktifitas <i>thermal</i>	201 (W/m.K)
Warna	<i>Silver</i>
Dimensi	Panjang = 400 mm Lebar = 200 mm Tebal = 50 mm

Tabel 4.3. Data komposisi aluminium yang akan digunakan

Komposisi spesifik Seri 5xxx Al Mg (%)	
Si	0,30
Fe	0,7
Cu	0,20
Mn	0,20 - 1,1
Mg	0,5 – 0,11
Cr	0,10
Zn	0,25
Other	0,05 – 0,15

Setelah melakukan identifikasi produk yang akan digunakan langkah selanjutnya yaitu perancang harus membuat daftar data tuntutan dari perancangan yang akan dibuat. Daftar data tuntutan dibuat untuk menjadi dasar dalam proses awal perancangan. Tabel 4.4. menunjukkan daftar tuntutan cetakan yang akan dirancang.

Tabel 4.4. Daftar tuntutan perancangan

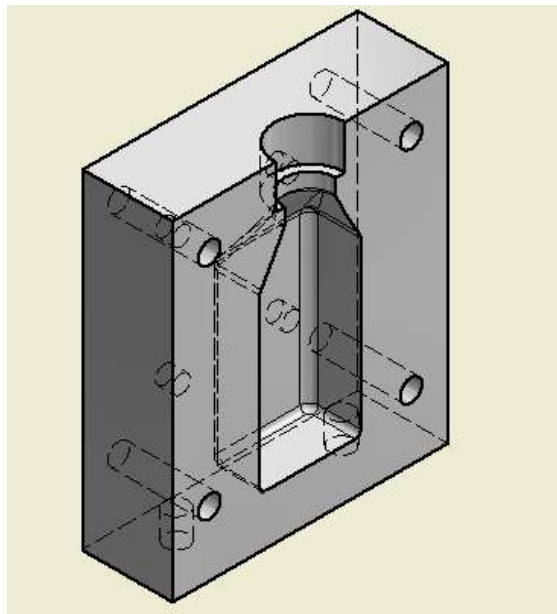
Daftar tuntutan	
Jenis cetakan	<i>Two plate mold</i>
Jumlah <i>cavity</i>	<i>2 cavity</i>
Jumlah <i>pins</i>	<i>4 pins</i>
Volume hasil botol	300 ml
Jumlah <i>clamp</i>	<i>2 clamp</i>
Kriteria material	Ekonomis, mudah di mesin, kuat, tahan aus, <i>thermal conductivity</i> , sifat <i>polishing</i>
Dimensi Material yang akan	Panjang = 180 mm

dibentuk	Lebar = 150 mm Tebal = 49 mm
Referensi perancangan	Ottmar Brandau
	Norman . C Lee

4.2. Pemilihan Rancangan Awal

pemilihan desain rancangan awal mempertimbangkan banyak hal termasuk kekurangan dan kelebihan desain perancangan tersebut, karena akan sangat berpengaruh untuk hasil produk akhir apakah baik atau tidak. Berikut beberapa kandidat perancangan desain yang sudah dibuat :

4.2.1 Rancangan 1



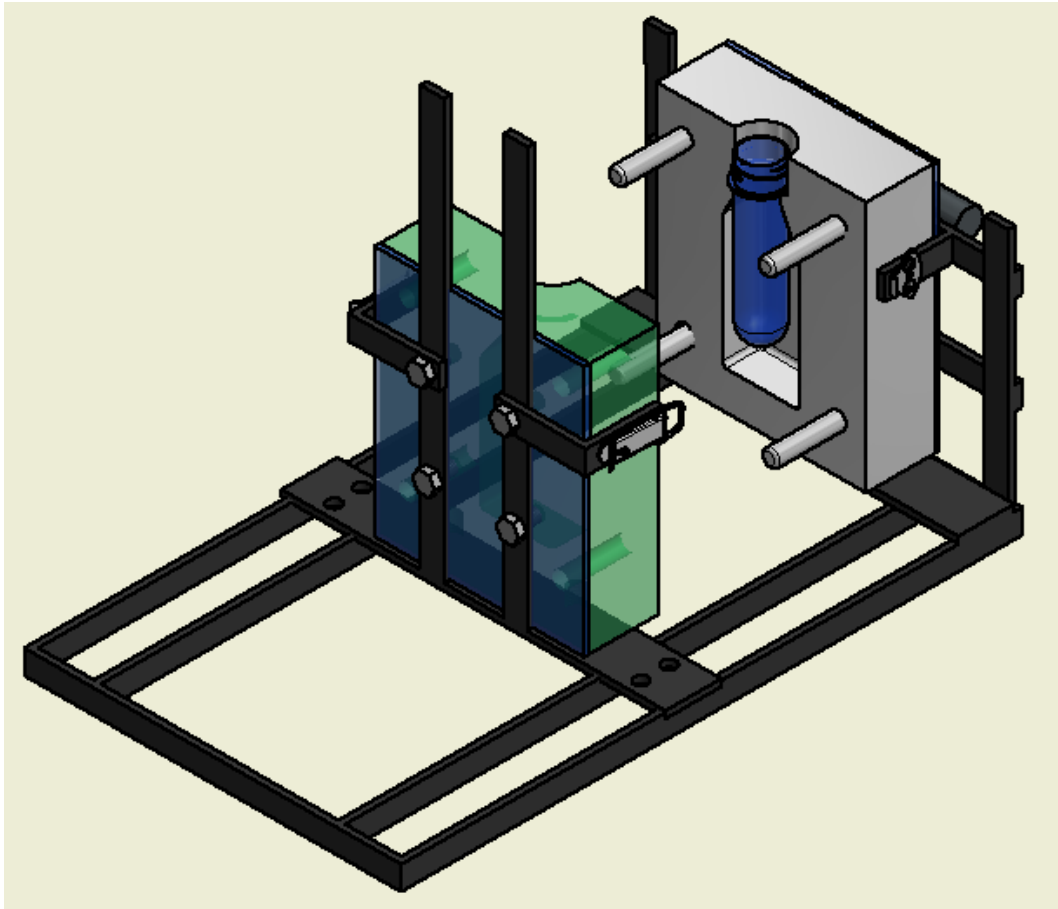
Gambar 4.4. Desain 3D cetakan 1 dengan *Autodesk inventor pro 2015*



Gambar 4.5. Hasil produk desain 3D cetakan (*mold*) 1 dengan *Autodesk inventor pro 2015*

Tabel 4.5. Data spesifikasi rancangan 1

Spesifikasi rancangan 1	
Komponen	<i>Mold cavity</i>
Material	Seri 5xxx
Volume dalam hasil produk botol	300 ml
Jumlah <i>pin</i>	2 buah
Dimensi	Panjang = 180 mm Lebar = 150 mm Tebal = 49 mm
<i>Machining</i>	CNC
Estimasi biaya	Material = Rp. 2.000.000 Machining = Rp. 4.500.000 Total = Rp. 6.500.000



Gambar 4.6. Hasil desain 3D *full assembly* cetakan (*mold*) 1 dengan Autodesk *inventor pro 2015*

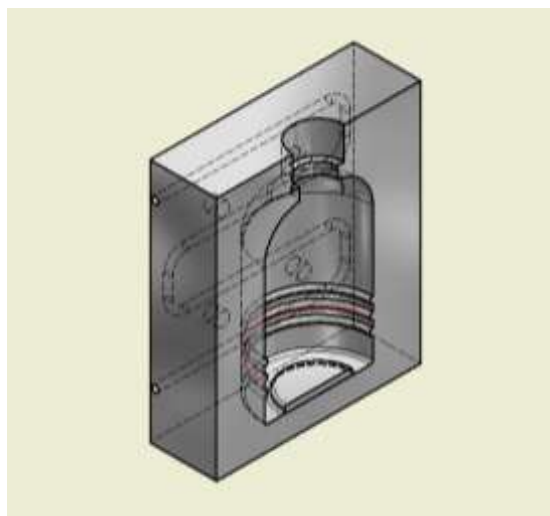
4.2.1.1 Deskripsi Rancangan 1

Pada desain rancangan 1 bentuk cetakan dan hasil akhir botol terlihat simple, bentuk cetakan yang *simple* memudahkan dalam proses *machining* dan juga dapat menekan biaya produksi *mold* tersebut karena semakin rumit desain cetakan yang dirancang maka akan semakin tinggi juga biaya produksi cetakan tersebut. Dalam rancangan 1 terdapat komponen 4 buah *pins* yang fungsinya untuk mencenterkan antara *mold cavity* dan *mold core* agar tetap sejajar pada saat ditutup. Setiap perancangan mempunyai kelebihan dan kekurangan adapun kelebihan dan kekurangan dari desain rancangan awal pertama ini, yaitu :

Tabel 4.6. Data spesifikasi kelebihan dan kekurangan rancangan 1

Penilaian rancangan 1	
Kelebihan	Kekurangan
Desain simple memudahkan untuk di <i>machining</i>	Hasil akhir botol kurang menarik karena mengutamakan fungsi
Desain simple memudahkan produksi botol tersebut, mengurangi cacat penyusutan produk pada saat produksi	Harga material tinggi
Biaya <i>machining</i> tidak terlalu tinggi	Tidak terdapat <i>cooling system</i>
Mudah dirakit	Tidak terdapat <i>pinch off</i> karena produk hasil botol persegi
Mudah di operasikan	-

4.2.2 Desain rancangan 2

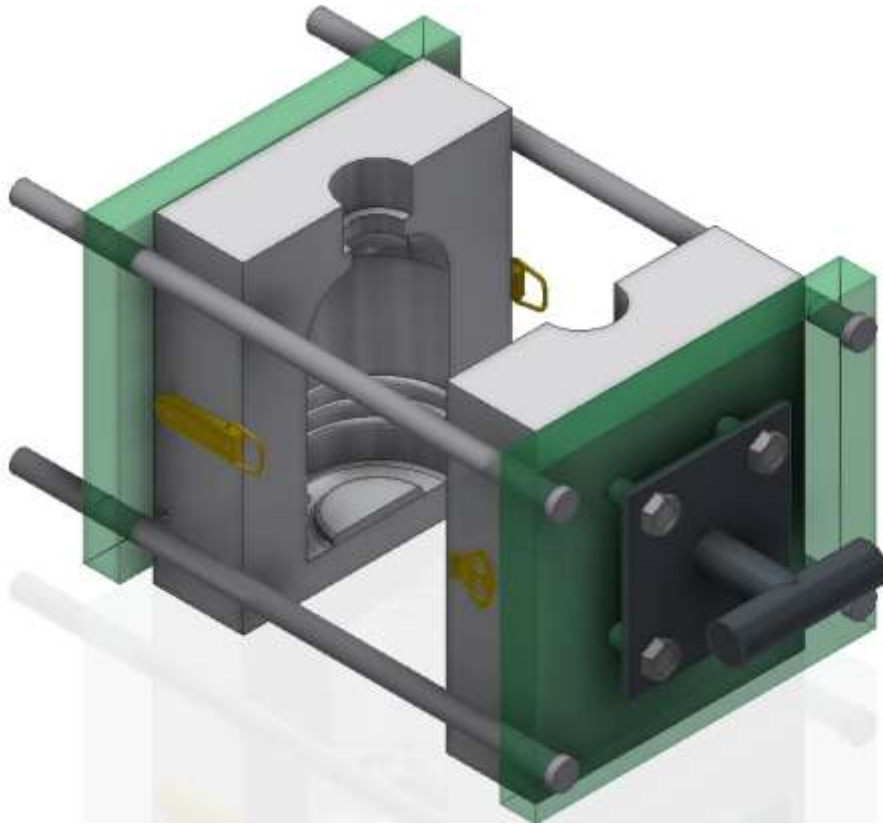
**Gambar 4.7.** Desain 3D *mold 2* dengan *Autodesk inventor pro 2015*



Gambar 4.8. Hasil produk desain 3D rancangan *mold 2* with *Autodesk inventor pro 2015*

Tabel 4.7. Data spesifikasi rancangan 2

Spesifikasi rancangan 1	
Komponen	<i>Mold cavity</i>
Material	Seri 5xxx
Volume dalam hasil produk botol	400 ml
Jumlah <i>pin</i>	4 buah
Dimensi	Panjang = 180 mm Lebar = 150 mm Tebal = 50 mm
<i>Machining</i>	CNC
Estimasi biaya	Material = Rp. 2.000.000 <i>Machining</i> = Rp. 6.500.000 Total = Rp. 8.500.000



Gambar 4.9. Hasil desain 3D *full assembly mold 2* dengan *Autodesk inventor pro 2015*

4.2.1.1 Deskripsi desain rancangan 2

Pada desain rancangan 2 bentuk cetakan dan hasil akhir botol terlihat sedikit rumit karena terdapat lekukan corak di bagian *body* dari produk botol tersebut. Pada rancangan 2 dilengkapi dengan *cooling system* yang fungsinya untuk mendinginkan cetakan pada saat proses produksi botol tersebut. Cetakan ini juga dilengkapi dengan 4 buah *pins* yang terletak di bagian belakang plat cetakan untuk menjaga agar tetap sejajar pada saat ditutup. *Mold* ini mempunyai kelebihan dan kekurangan adapun kelebihan dan kekurangan dari desain rancangan 2 ini, yaitu :

Tabel 4.8. Data spesifikasi kelebihan dan kekurangan rancangan 2

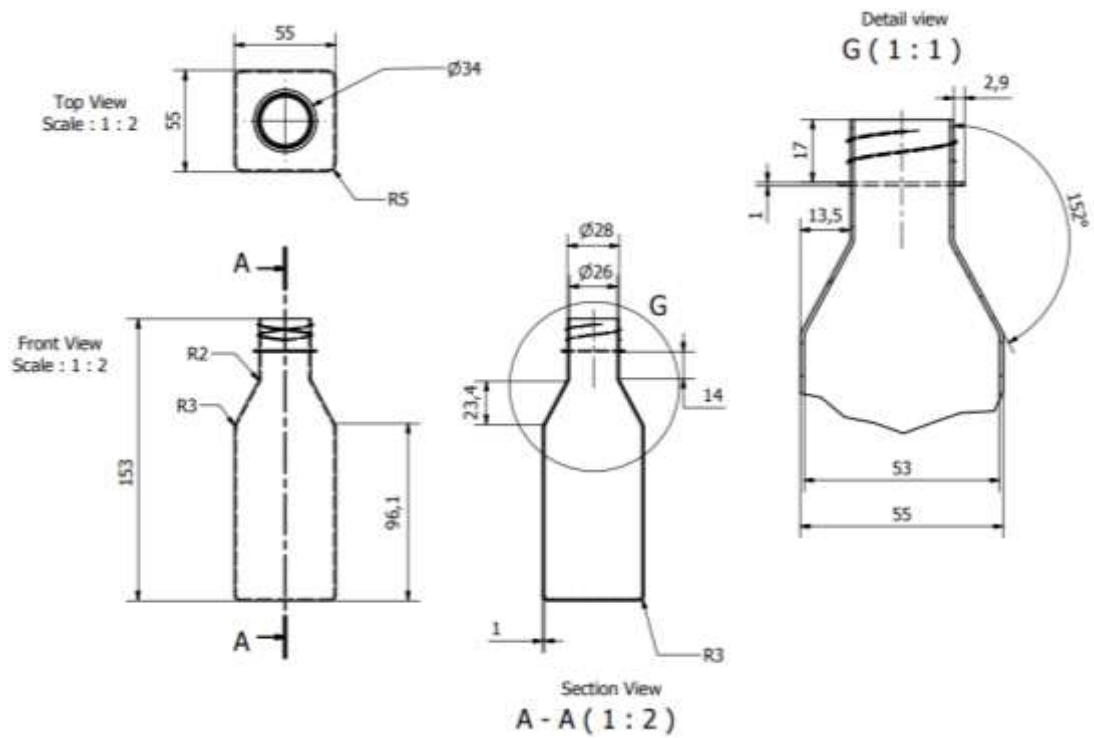
Penilaian rancangan 2	
Kelebihan	Kekurangan
Terdapat <i>cooling system</i>	Biaya <i>machining</i> tinggi
Terdapat <i>pinch off</i>	Harga material tinggi
Mudah di rakit	Desain yang rumit biasanya pada saat produksi botol tersebut, akan terjadi banyak cacat penyusutan produk tersebut
Mudah di operasikan	Desain sedikit rumit dan akan sulit untuk <i>machining</i> karena mold ini dilengkapi dengan <i>cooling system</i>
-	Hasil akhir botol kurang menarik karena mengutamakan fungsi

4.3. Pemilihan desain *fix* cetakan yang akan di produksi

Setelah dijabarkan tentang spesifikasi kelebihan dan kekurangan dari kedua desain rancangan cetakan diatas selanjutnya akan dipilih desain yang tepat untuk nantinya akan diproduksi, dilakukan analisa perhitungan dan identifikasi produk. Dari kedua desain tersebut maka dipilihlah desain rancangan 1 untuk dijadikan desain rancangan awal dalam pembuatan cetakan, desain rancangan 1 dipilih karena produk yang dihasilkan simple dan pada saat produksi nanti mengantisipasi cacat produk yang terjadi pada botol tersebut. Desain rancangan 1 dipilih juga karena untuk menekan biaya *machining* agar tidak terlalu tinggi, karena pada keterangan diatas desain 1 tidak dilengkapi *cooling system* alasannya yaitu setelah melakukan perhitungan udara yang di injeksikan kedalam *mold* cukup untuk proses pendinginan.

4.4. Gambar produk

Gambar Produk Model 2D dan model 3D produk *bottle preform* 50 ml yang sudah berubah dimensi volumenya menjadi 300 ml. Desain menggunakan *Autodesk inventor pro 2015*.



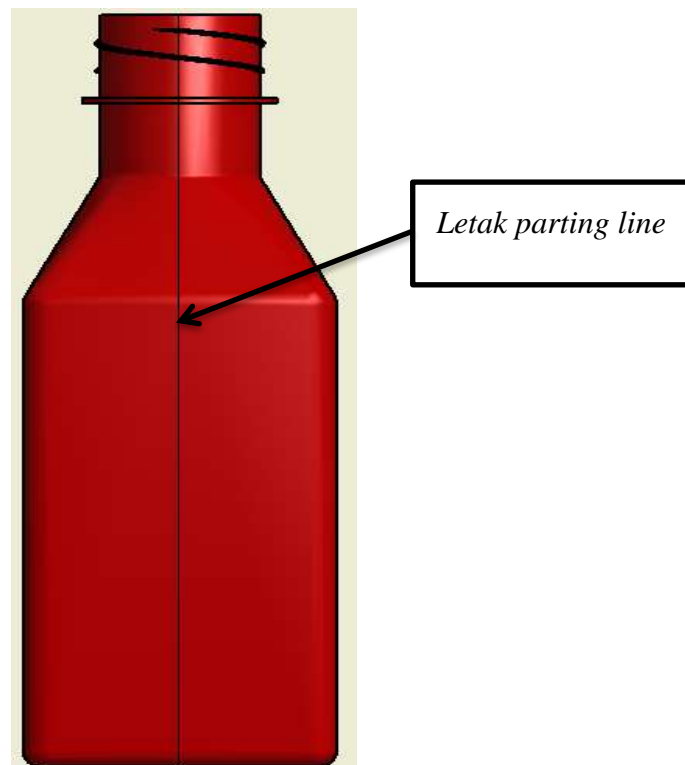
Gambar 4.10. Hasil desain 2D botol produk 300 ml



Gambar 4.11. Hasil desain 3D botol produk 300 ml

4.5. Parting line

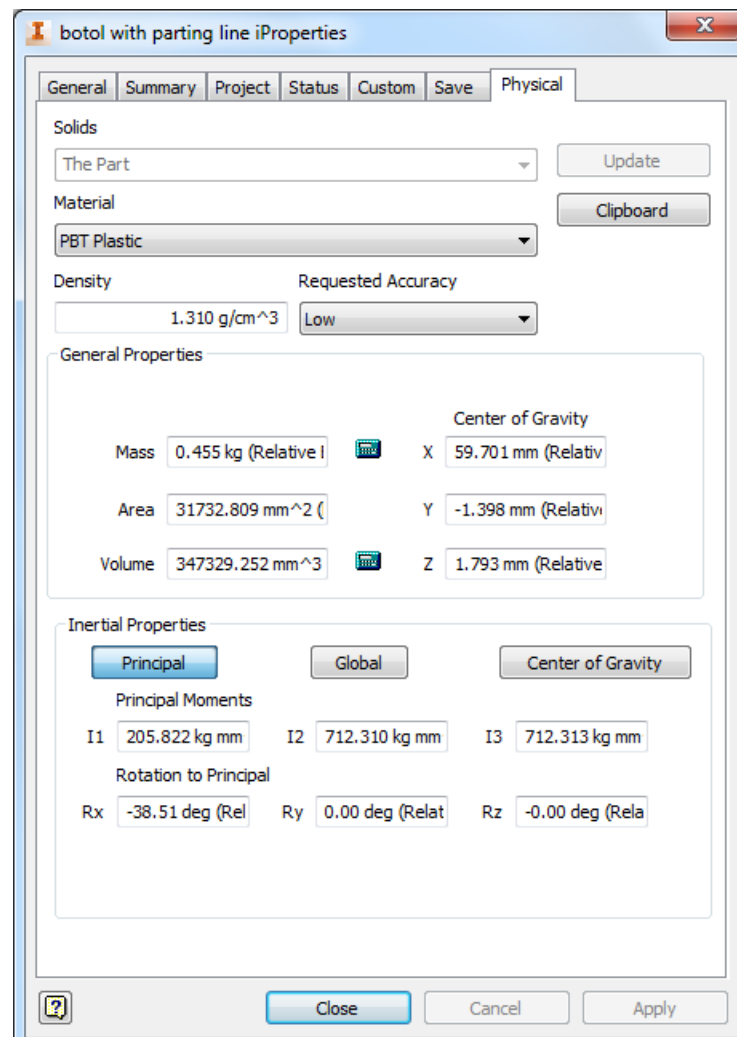
Parting line merupakan tanda bekas *undercut* yang terletak ditengah botol . Penentuan letak *parting line* harus ditengah botol, hal tersebut tidak terlepas dari nilai estetika dan keindahan produk, agar produk yang dihasilkan menarik dan enak dilihat. *Letak parting line* produk botol 300 ml dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Letak *parting line* botol produk 330 ml

4.6. Perhitungan volume luar botol produk

Setelah melakukan perhitungan volume luar botol menggunakan fitur *propertis* pada aplikasi *Autodesk Inventor pro 2015* hasil volume botol tersebut didapatkan sebagai berikut.



Gambar 4.13 hasil perhitungan volume menggunakan fitur propertis pada aplikasi *Autodesk inventor pro 2015*

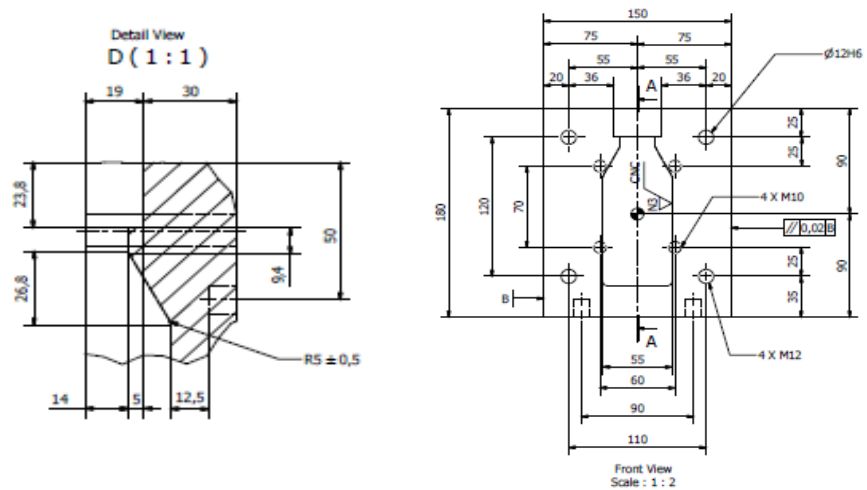
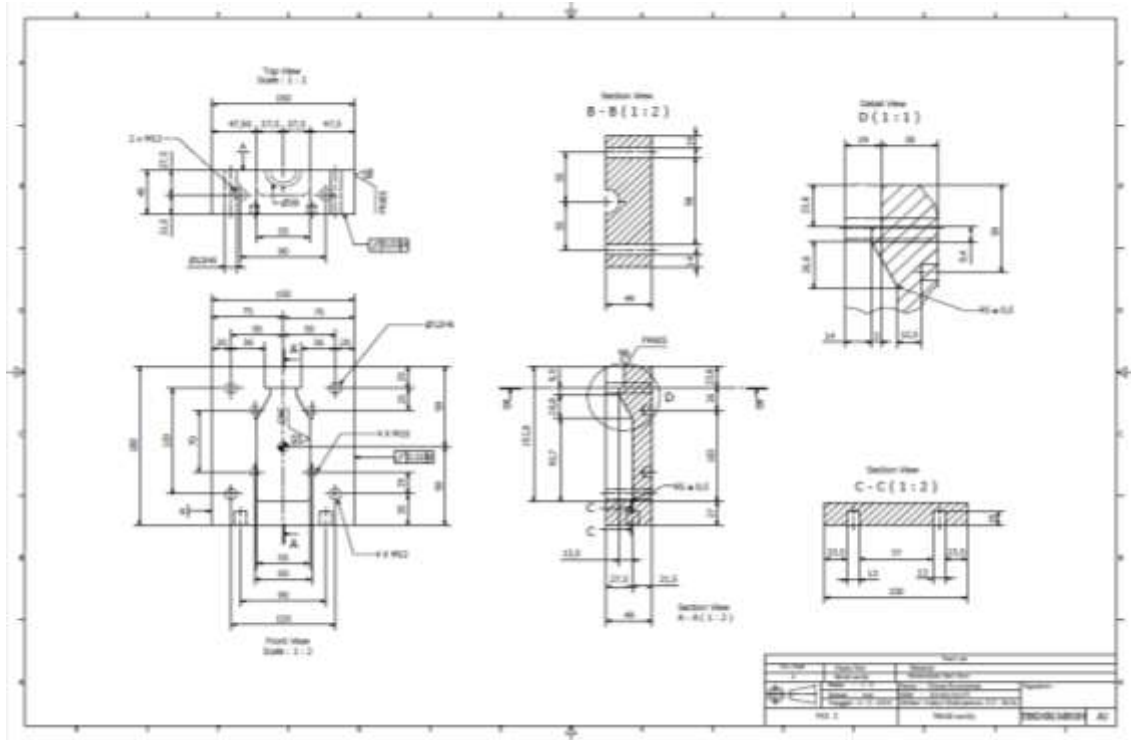
Dapat dilihat pada gambar diatas menunjukkan volume luar dari botol produk dengan nilai $347.329 \text{ mm}^3 \rightarrow 350 \text{ mm}^3$.

4.7. Hasil Perancangan cetakan

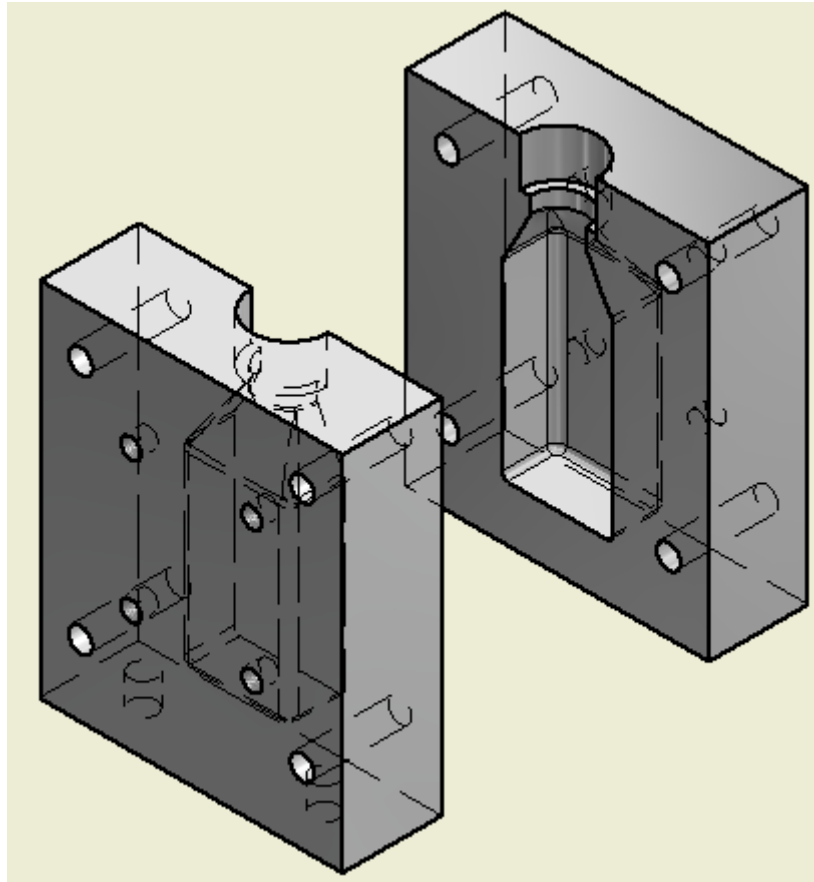
Setelah melakukan analisa terhadap bentuk botol produk dapat mengetahui dimensi yang diperlukan sebagai landasan untuk melakukan perancangan kontruksi cetakan. Berikut langkah urutan desain perancangan kontruksi cetakan tersebut.

4.7.1. Langkah Urutan Desain

1. *Mold cavity*



Gambar 4.14. Desain 2D detail *mold cavity*



Gambar 4.15. Desain 3D *mold cavity*

Langkah pertama dalam melakukan perancangan konstruksi cetakan pada mesin *blow molding* yaitu mendesain *mold cavity*. Proses ini merupakan bagian pokok atau bagian yang paling penting dalam perancangan konstruksi cetakan tersebut. *Mold cavity* terdiri dari 2 *mold* yang sama dimensinya dapat dilihat pada Gambar 4.14. Bagian ini juga sangat menentukan bagaimana hasil akhir bentuk produk *bottle preform* PET 50 ml yang akan berubah dimensinya setelah di injeksikan udara ke dalam botol tersebut.

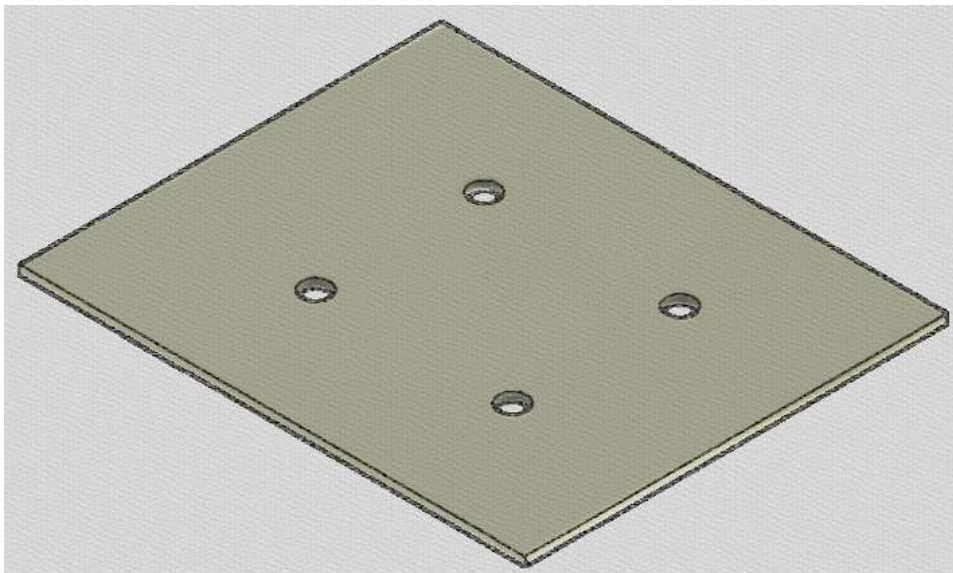
Pada Gambar 4.14. *mold cavity* mempunyai ketebalan dinding yang seragam antar sisinya hal tersebut bertujuan untuk meminimalisir penyusutan yang terjadi pada botol tersebut saat akan di cetak menggunakan *mold cavity* dan akan meningkatkan efisiensi pendinginan yang seragam antara kedua sisi agar

produk botol yang akan dicetak memiliki waktu proses pendinginan yang bersamaan. *Mold cavity* tersebut tidak dilengkapi *cooling system* karena mengandalkan pendinginan udara dari *exhaust* dan *blowing* dari udara kompresor.

Material yang digunakan dalam bagian *mold cavity* yaitu menggunakan Aluminium Seri 5xxx Aluminium seri ini banyak digunakan sebagai batang profil ekstrusi mempunyai *modulus elastisitas* 69 GPa dan *konduktivitas thermal* 201 (w/m.K). Aluminium seri ini mempunyai beberapa karakteristik, diantaranya:

1. Sifat tahan aus
2. Sifat mudah di *machining*
3. Sifat *thermal conductivity*
4. Tahan korosi

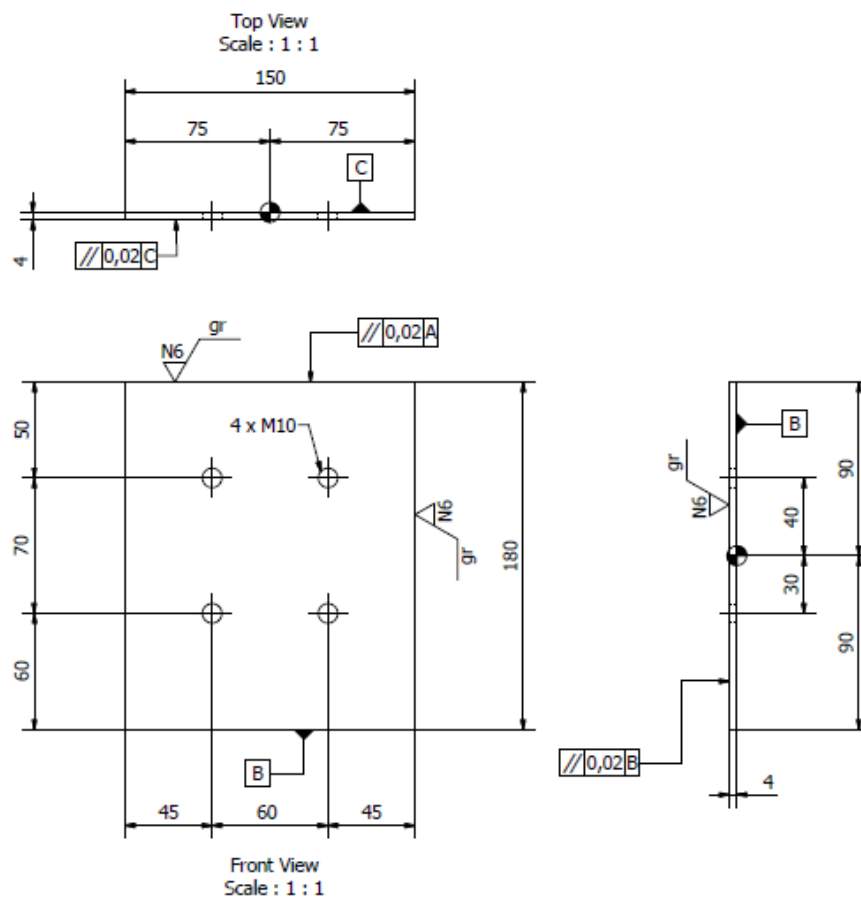
2. *Back plate*



Gambar 4.16. Desain 3D *back plate*

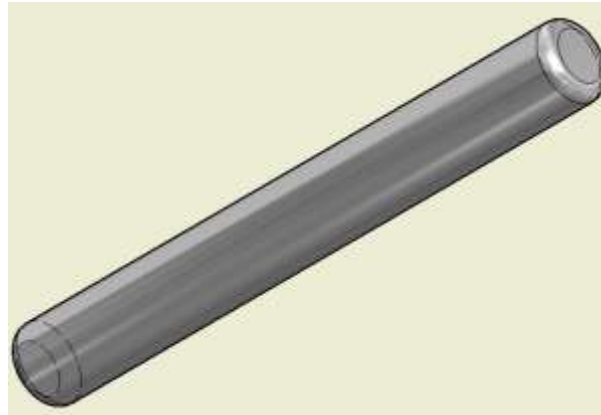
Tahap selanjutnya yaitu pendesainan *back plate* yang fungsinya untuk menahan gaya dorong pada saat *mold cavity* membuka dan menutup yang dihasilkan oleh *pin*. Plate ini terdapat 2 jumlah yang masing-masing terletak dibelakang *mold cavity*. Material yang digunakan yaitu plat kapal mild A36 yang juga dikenal sebagai SS400 JIS 3101 dengan tebal 4 mm, dimensi tuas penarik dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan terlampir pada (Lampiran B.4) . Plat Jenis ini mempunyai beberapa karakteristik, diantaranya :

1. Mudah di *machining*
2. Sangat bagus untuk di las
4. Kuat
5. Dapat mengalami berbagai perlakuan panas



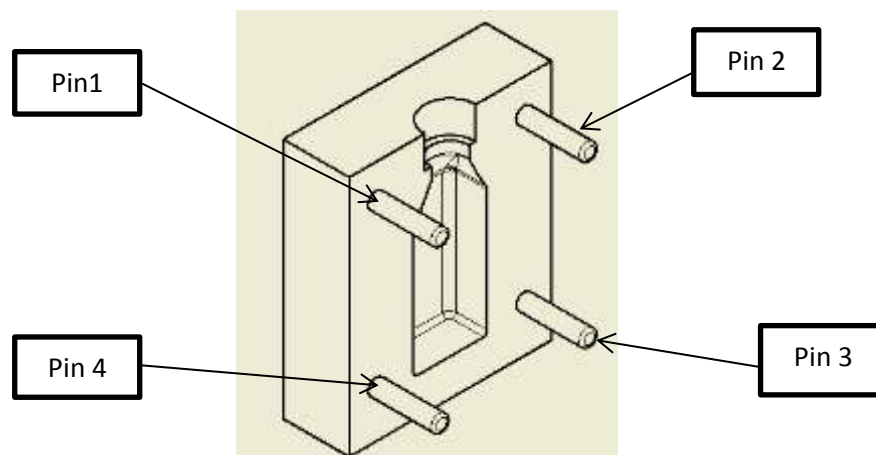
Gambar 4.17. Desain dimensi detail 2D *back plate*

3. Pin

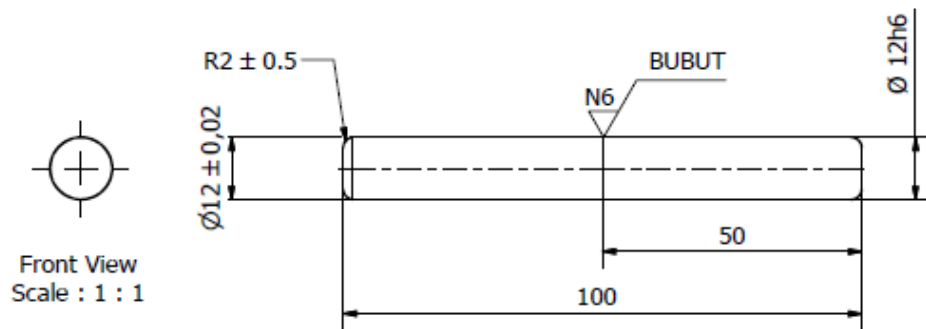


Gambar 4.18. Desain 3D *Pin*

Selanjutnya yaitu tahap mendesain pin yang fungsinya untuk mencenterkan antara *mold cavity 1* dan *mold cavity 2* agar tetap sejajar pada saat dibuka dan ditutup, pin mempunyai peran sangat penting dalam konstruksi mold karena jika *mold cavity 1* dan *mold cavity 2* tidak sejajar maka produk yang dihasilkan akan mengalami cacat produk. Letak *pin* tersebut dapat dilihat pada Gambar (4.19.) dan gambar dimensi detail *pin* tersebut dapat dilihat pada Gambar (4.20.)



Gambar 4.19. Letak pin pada *mold cavity*

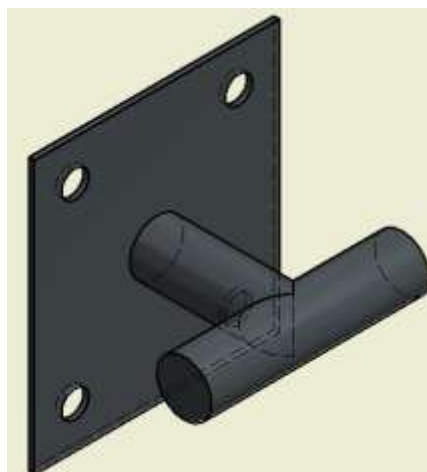


Gambar 4.20. Desain dimensi detail 2D *Pin*

Material yang digunakan pada pin yaitu menggunakan Aluminium Al-Alloy dengan menggunakan bekas aluminium perkakas rumah tangga dan spare parts motor yang di lebur ulang lalu di *casting* dan di bubut. Berikut karakteristik Aluminium Al-Alloy, diantaranya :

1. Berat jenis rendah
2. Konduktor listrik yang baik
3. Tahan korosi
4. Mudah dituang

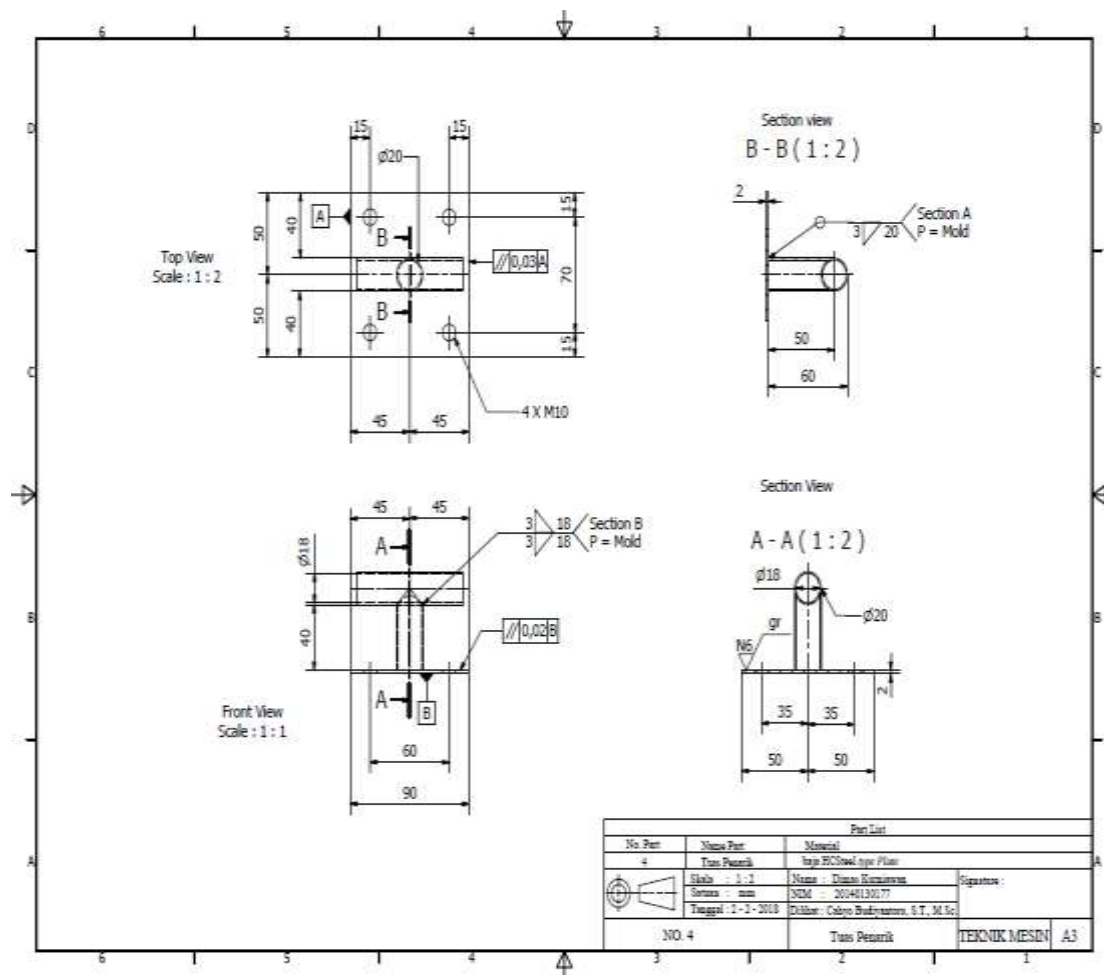
4. Tuas penarik *moveable mold cavity*



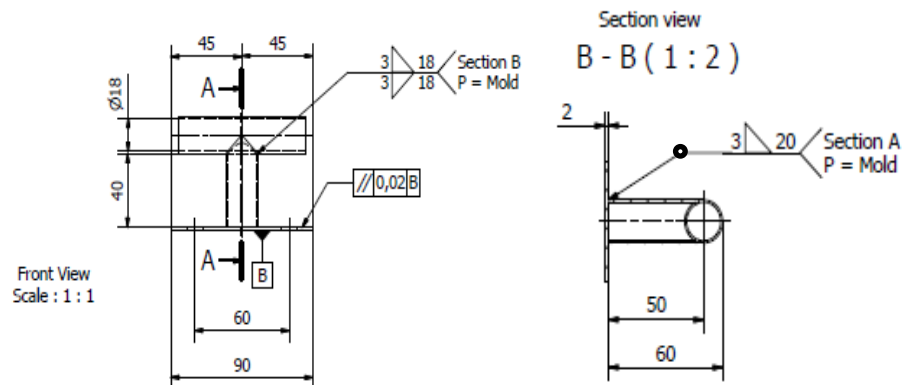
Gambar 4.21. Desain 3D tuas penarik *moveable mold cavity*

Tuas penarik yang fungsinya untuk membuka dan menutup *moveable* (bergerak) *mold cavity* pada saat produksi botol produk, karena pada mesin *blow molding* ini masing menggunakan teknologi manual. gambar dimensi detail tuas penarik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.22 dan terlampir pada (Lampiran B.6).

Jenis penyambungannya dengan menggunakan las dengan menggunakan jenis elektroda RD-260 (E 6013) dengan Tegangan ijin sambungan = 60 Ksi → 413,68 MPa dan dapat digunakan segala posisi., hasil analisa las pada tuas penarik dapat kita lihat pada tabel 4.9.



Gambar 4.22. Desain dimensi 2D tuas penarik *moveable mold cavity*





Gambar 4.23. *Weld point* tuas penarik *moveable mold cavity*

Tabel 4.9. Keterangan *weld point* tuas penarik

Bagian	Tinggi lasan	Panjang Lasan	Pengaruh Pembebanan
A	3mm	20 mm	<i>Moveable mold</i>
B	3mm	22 mm	<i>Moveable mold</i>

Tabel 4.10. Bagian Sambungan Las tuas penarik

Nama Bagian	Jenis Sambungan	Posisi Sambungan	Keterangan Gambar
Plat tuas	<i>Filled Weld</i>	<i>Circular Joint</i>	
Tee Tuas	<i>Filled Weld</i>	<i>Corner Joint</i>	

5. Clamping system

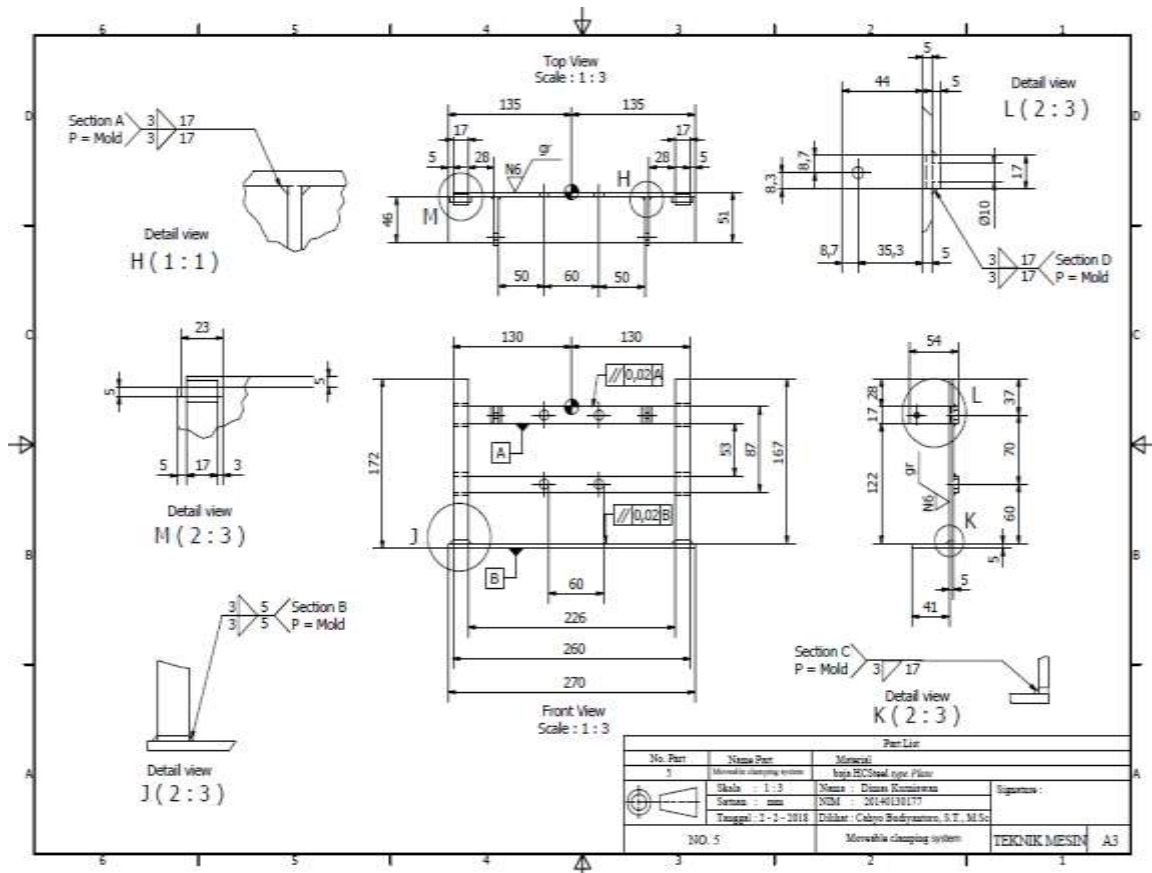


Gambar 4.24. Desain 3D *full clamping system*

Selanjutnya pendesainan *clamping system* yang fungsinya mengunci mencekam kedua *mold cavity* pada saat ditutup, dan juga menahan gaya dorong agar tetap tertutup rapat pada saat udara di injeksikan dari oleh *blow injection tools*. *Clamping system* terdiri dari 2 bagian yaitu *moveable clamping system* (Gambar 4.25) yang menempel pada bagian meja kerja dan juga *fixed clamping system* (Gambar 4.27) yang dapat digerakkan membuka dan menutup *moveable mold cavity*, dimensi detail dari *moveable clamping system* dapat dilihat pada Gambar 4.26. dimensi detail dari *fixed clamping system* dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan terlampir pada. Pengunciannya memakai kunci tempel koper yang didapatkan di pasaran dengan ukuran medium 110mm x 20 mm.



Gambar 4.25. Desain 3D *moveable clamping system*

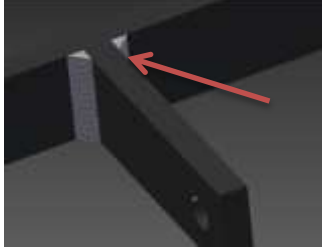
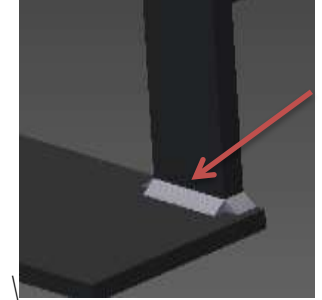
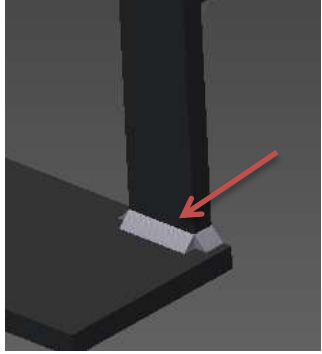
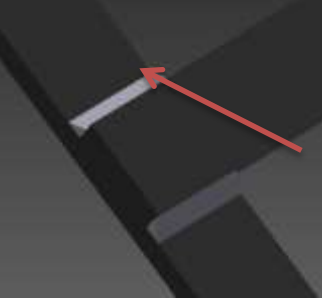


Gambar 4.26. Desain dimensi 2D *moveable clamping system*

Tabel 4.11. Keterangan Bagian Titik Pengelasan Tuas penarik

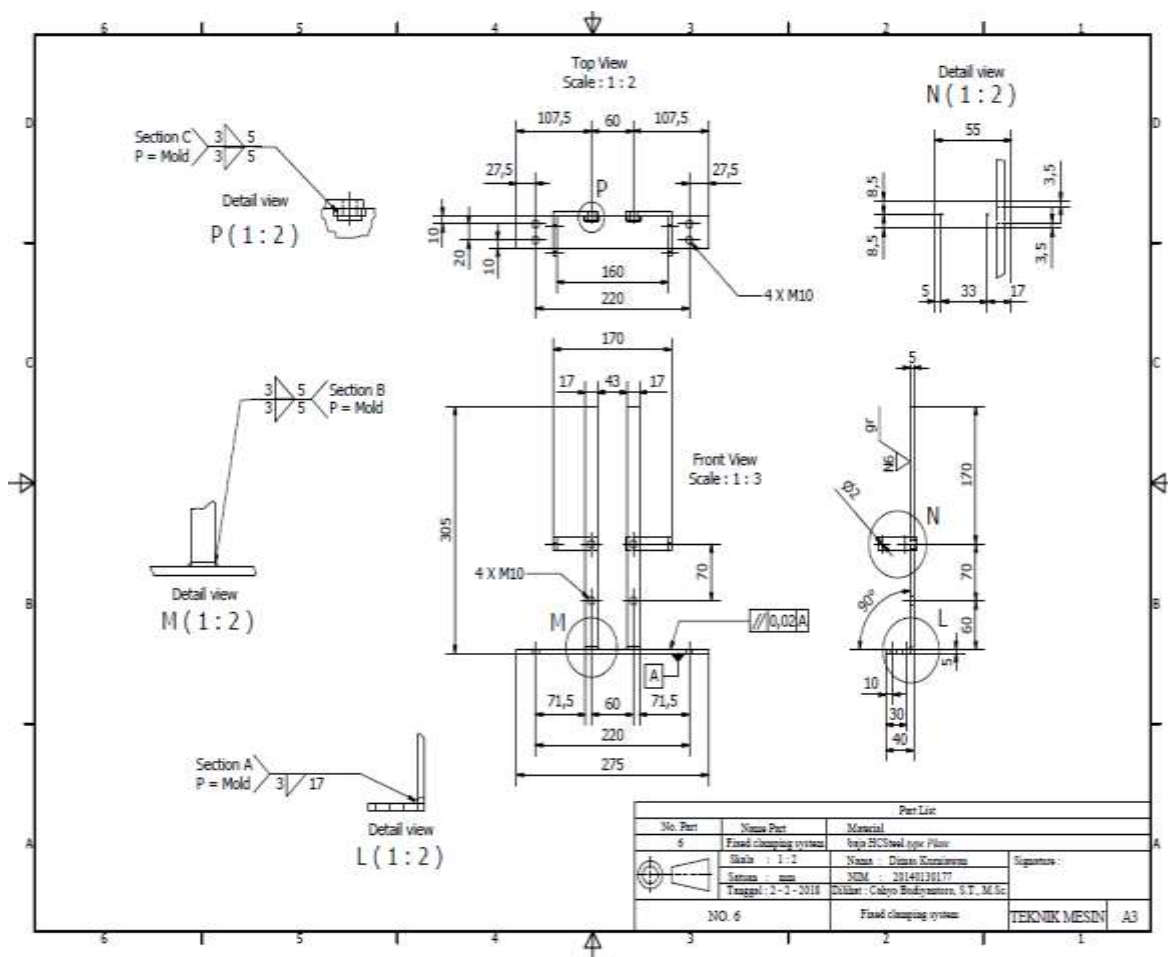
Bagian	Tinggi lassan	Panjang Lassan	Pengaruh pembebanan
A	3mm	17mm	<i>Mold cavity</i>
B	3mm	5mm	<i>Mold Cavity</i>
C	3mm	17mm	<i>Mold Cavity</i>

Tabel 4.12. Bagian Sambungan Las *moveable clamping system*

Nama bagian	Jenis sambungan	Posisi sambungan	Keterangan gambar
<i>Tee line Clamping system</i>	<i>Filled Weld</i>	<i>Corner joint – eksentrik paralel 2 position</i>	
<i>Pilar clamping system</i>	<i>Filled Weld</i>	<i>Spliced butt joint – paralel 1 position</i>	
<i>Pilar clamping system</i>	<i>Filled Weld</i>	<i>Spliced butt joint – paralel 1 position</i>	
<i>Line support clamping system</i>	<i>Filled Weld</i>	<i>Corner joint – eksentrik paralel 2 position</i>	



Gambar 4.27. Desain 3D fixed clamping system



Gambar 4.28. Desain dimensi fixed clamping system

Tabel 4.13. Keterangan Bagian Titik Pengelasan Tuas penarik

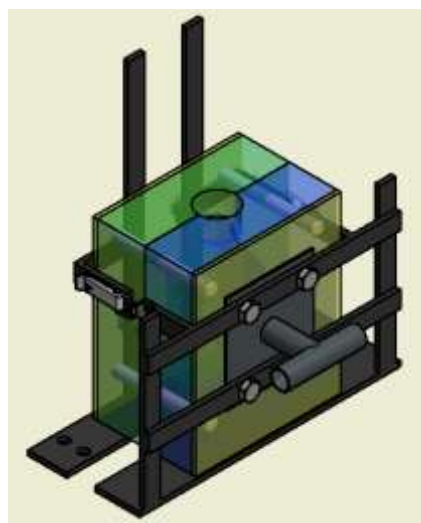
Bagian	Tinggi lassan	Panjang Lassan	Pengaruh pembebanan
A	3mm	17mm	<i>Mold cavity</i>
B	3mm	5mm	<i>Mold Cavity</i>

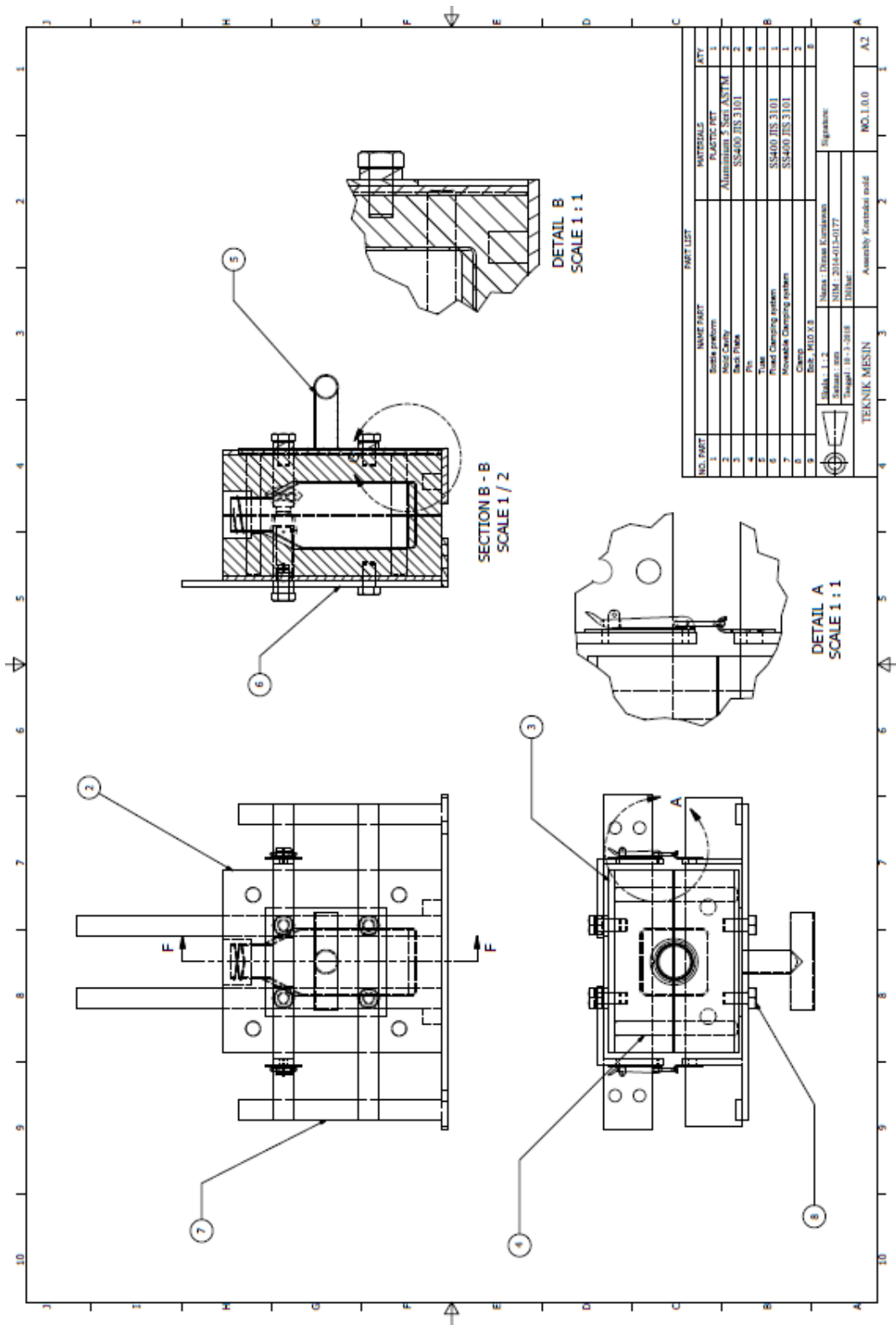
Material yang cocok untuk digunakan dalam konstruksi *clamping* plat material baja HCSteel *type Plate* yang mempunyai massa jenis (7.850 kg/m^3) dan modulus young 215 GPa dengan tebal 4 mm. Plat Jenis ini mempunyai beberapa karakteristik, diantaranya Sangat bagus untuk di las dan dapat mengalami berbagai perlakuan panas.

Cara penyambungan plat HC Steel yaitu dengan cara di las menggunakan elektroda RD-260 (E 6013) dengan Tegangan ijin sambungan = 60 Ksi \rightarrow 413,68 Mpa dapat digunakan segala posisi dan tegangan yang disarankan yaitu 60 - 75 A.

4.6.2. Hasil Desain Cetakan

Kemudian hasil desain di *assembly* sesuai letak yang sudah ditentukan. Berikut konstruksi *full* rancangan *mold cavity* dengan gambar 3D ditunjukkan pada Gambar 4.29 dan detail 2D dapat dilihat pada Gambar 4.30.

**Gambar 4.29.** Hasil perancangan konstruksi *mold*

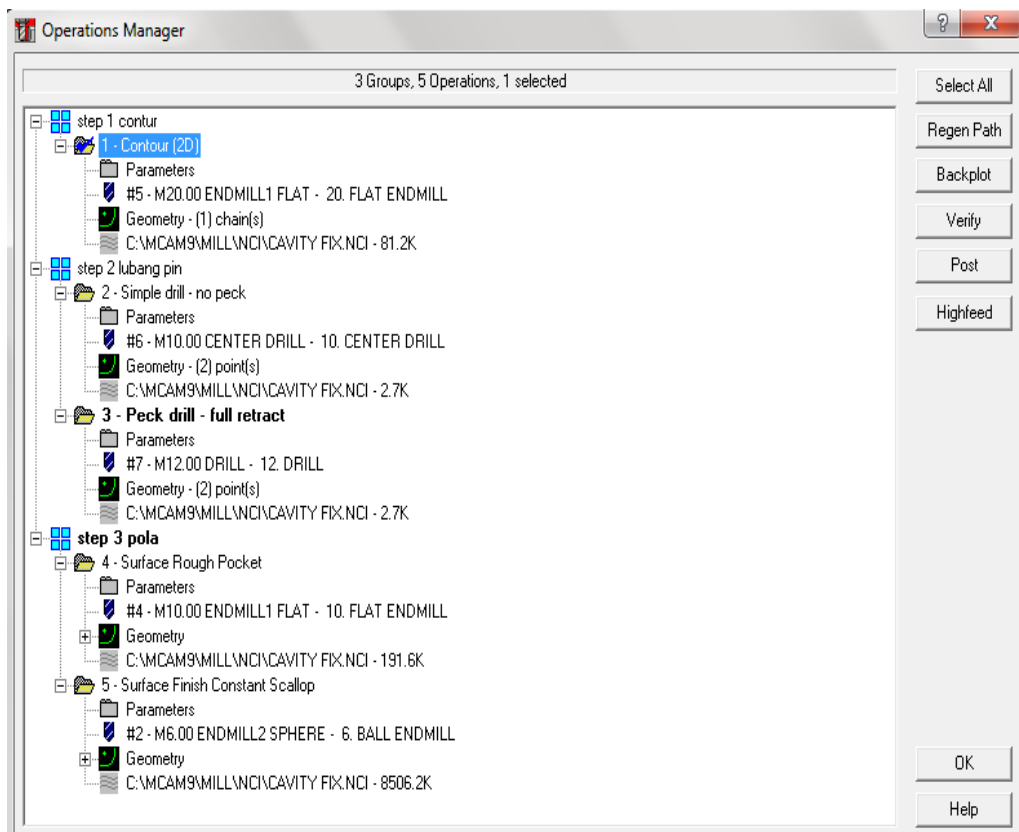


Gambar 4.30. Full assembly kontruksi cetakan

4.8. Hasil Simulasi machining molding CNC menggunakan aplikasi master CAM

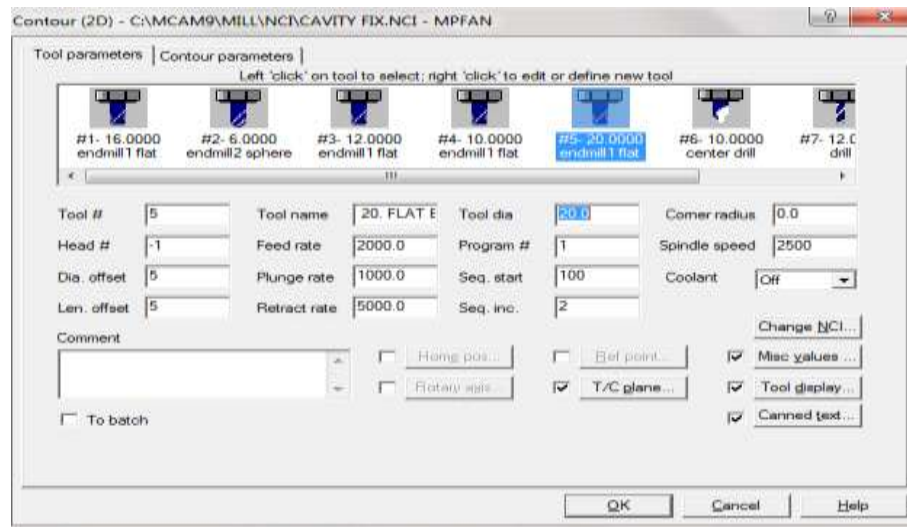
Simulasi menggunakan aplikasi master CAM bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah pemakanan produk cetakan, dan estimasi waktu yang diperlukan dari awal pemakanan sampai menjadi produk cetakan. Berikut langkah-langkah pemakanan cetakan pada mesin CNC.

Langkah-langkah pemakanan (*milling* CNC) pada cetakan dapat dilihat pada keterangan gambar dibawah ini :



Gambar 4.31. Langkah-langkah pemakanan (*milling* CNC) pada cetakan

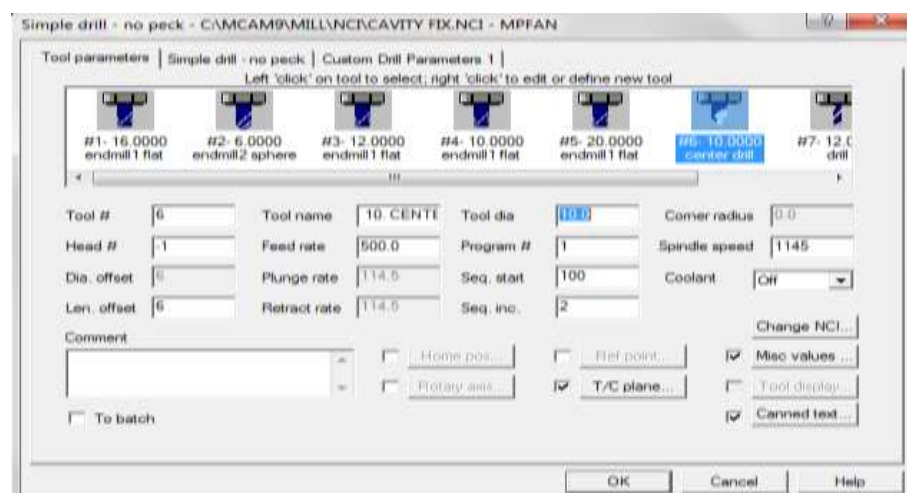
1. Contour (penghalusan permukaan)



Gambar 4.32. Simulasi proses *surface contour* (permukaan)

Proses pertama yaitu proses penghalusan *surface* (permukaan) keseluruhan aluminium menggunakan pisau endmill 1 flat, diameter 20 mm, dengan kecepatan pisau (*feed rate*) 2000 rpm, dan kecepatan turun pisau (*plunge rate*) 1000 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4.32.

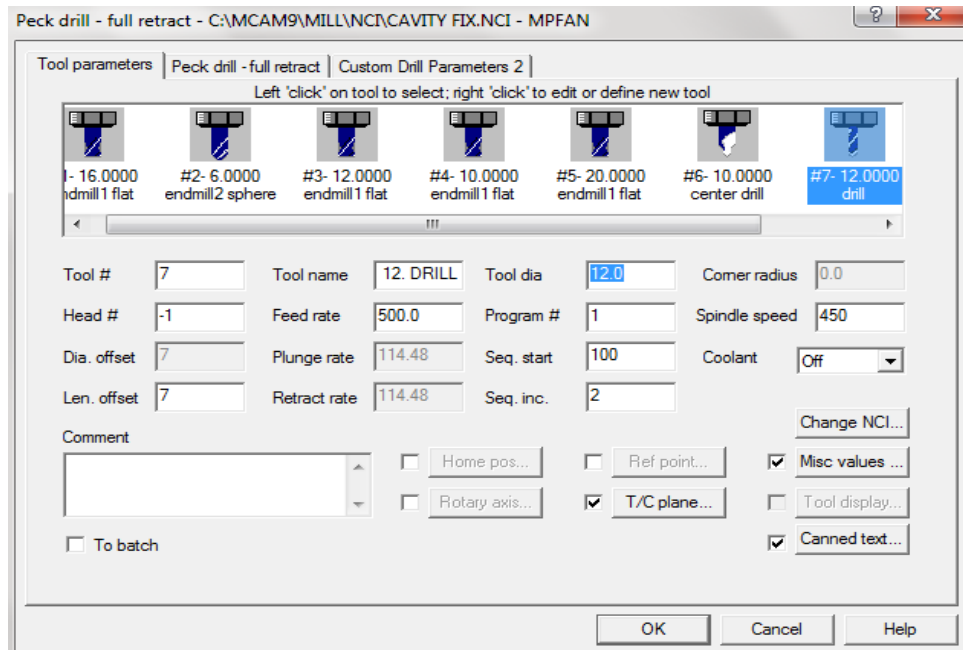
2. Center drill



Gambar 4.33. Simulasi proses *center drill*

Proses ketiga yaitu proses *center drill* menggunakan pisau *center drill 10 mm* untuk menandai lubang sebelum masuk ke proses *drill*, dengan kecepatan pisau (*feed rate*) 500 rpm, kecepatan turun pisau (*plunge rate*) 114,5 rpm, kecepatan putaran (*spindle speed*) 1145 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4.33.

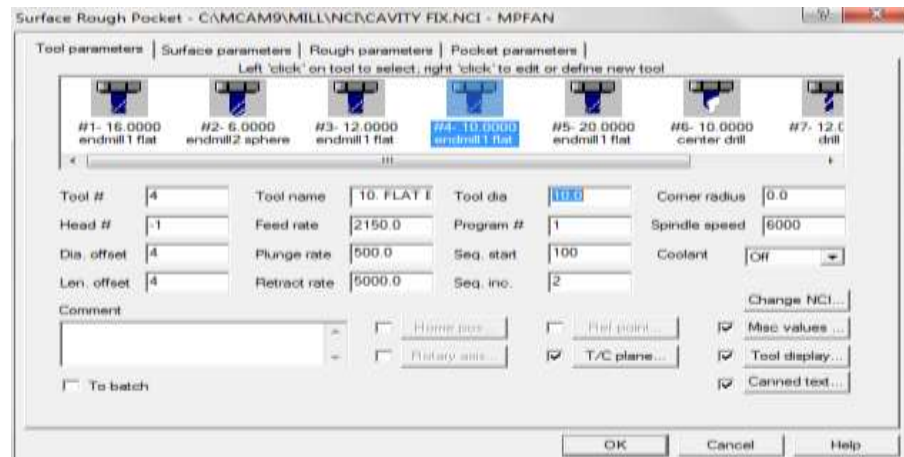
3. Pemakanan *peck drill*



Gambar 4.34. Simulasi *peck drill*

Proses ketiga yaitu proses pembuatan lubang *pin* menggunakan pahat *drill* diameter 12 mm, dengan kecepatan pisau (*feed rate*) 500 rpm, kecepatan putaran (*spindle speed*) 450 rpm, dan kecepatan turun pisau (*plunge rate*) 114,5 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4.34.

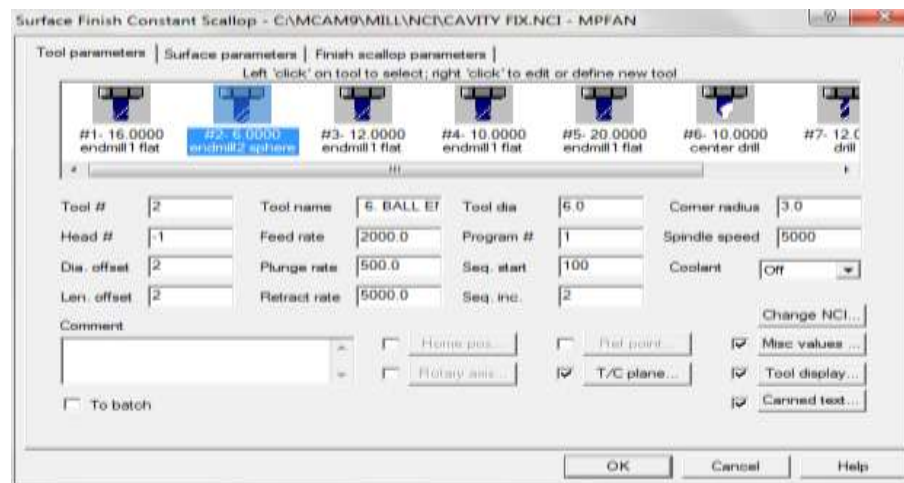
4. Pembuatan *contour* cetakan produk



Gambar 4.35. Simulasi *contour* cetakan produk

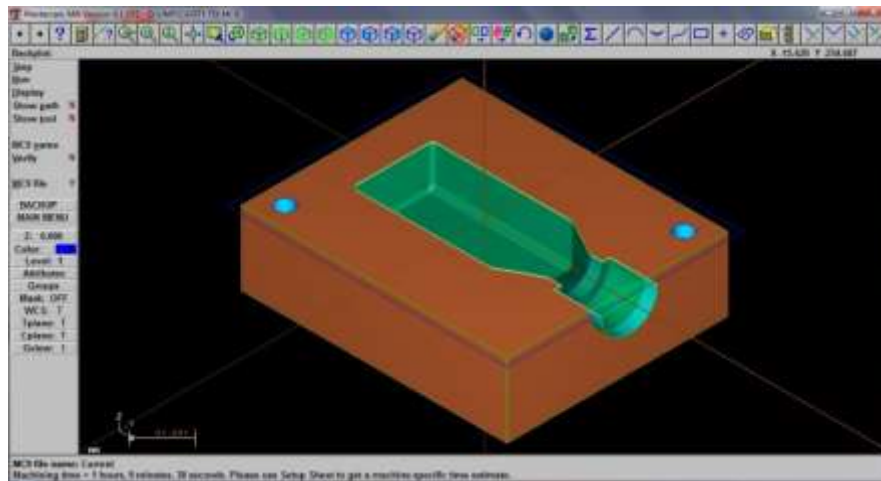
Proses keempat yaitu pembuatan pola cetakan produk menggunakan pisau endmill 1 flat diameter 10 mm, dengan kecepatan pisau (*feed rate*) 2150 rpm, kecepatan putaran (*spindle speed*) 6000 rpm, dan kecepatan turun pisau (*plunge rate*) 500 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4.35.

5. *Finishing* permukaan (*surface*)



Gambar 4.36. Simulasi *finishing surface*

Proses kelima yaitu *surface finishing* menggunakan pisau endmill 2 sphere diameter 6 mm, dengan kecepatan pisau (*feed rate*) 2000 rpm, kecepatan turun pisau (*plunge rate*) 500 rpm, dan kecepatan putaran (*spindle speed*) 5000 rpm. Dapat dilihat pada Gambar 4.36.

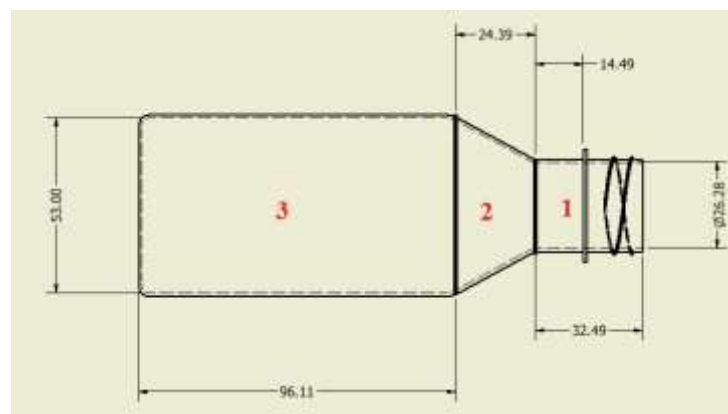


Gambar 4.37. Simulasi akhir CNC

Estimasi waktu yang diperlukan dalam proses *machining* untuk 1 buah cetakan yaitu 2 jam, 20 menit 6 detik

4.9. Hasil Perhitungan Konstruksi

4.9.1. Hasil perhitungan volume isi botol produk



Gambar 4.38. Dimensi botol produk

a. Bagian 1 mencari volume tabung

Diketahui : $d = 26 \text{ mm}$

$$t = 14,49 \text{ mm}$$

$$V_a = \dots\dots\dots?$$

$$V_a = \pi \times r^2 \times t$$

$$V_a = \pi \times 13^2 \text{ mm} \times 14,49 \text{ mm} = 7693,16 \text{ mm}^3$$

b. Bagian 2 mencari Limas segi empat terpotong

Diketahui : $s = 53 \text{ mm}$

$$t = 24,39 \text{ mm}$$

$$V_b = \dots\dots\dots?$$

$$V_b' = 1/3 \times s^2 \times t$$

$$V_b' = 1/3 \times 53^2 \text{ mm} \times (24,39 \text{ mm} + 32,49 \text{ mm}) = 53258,64 \text{ mm}^3$$

$$V_b = V_b' - V_a \text{ tabung}$$

$$V_b = 53258,64 \text{ mm}^3 - 7693,16 \text{ mm}^3 = 45565,48 \text{ mm}^3$$

c. Bagian 3 mencari volume balok

Diketahui : $p = 53 \text{ mm}$

$$l = 53 \text{ mm}$$

$$t = 96,11 \text{ mm}$$

$$V_c = \dots\dots\dots?$$

$$V_c = p \times l \times t$$

$$V_c = 53 \text{ mm} \times 53 \text{ mm} \times 96,11 \text{ mm} = 269972,99 \text{ mm}^3$$

Volume total dalam botol produk

$$V_{\text{tot}} = V_a + V_b + V_c$$

$$V_{\text{tot}} = 7963,16 \text{ mm}^3 + 45565,48 \text{ mm}^3 + 269972,99 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{tot}} = 323501,63 \text{ mm}^3 \rightarrow 323,5 \text{ ml} \rightarrow 300 \text{ ml}$$

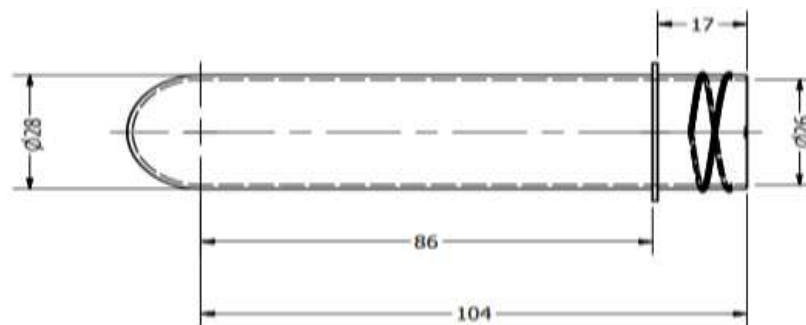
Jadi volume total yang dapat ditampung botol produk yaitu 300 ml

4.9.2. Hasil perhitungan *Part thickness* (ketebalan rata-rata botol produk)

Perhitungan part thickness adalah cara untuk meminimalkan area peregangan ekstrim agar produk tidak terlalu tipis yaitu dengan melakukan pertimbangan dan perhitungan yang tepat. Berikut perhitungan ketebalan bagian rata-rata hasil produk tersebut :

$$\text{rata2 bagian ketebalan} = \frac{\text{luas area permukaan preform}}{\text{luas area permukaan produk}} \times \text{ketebalan preform}$$

A. Mencari Luas permukaan *Preform*



Gambar 4.39. Dimensi bottle preform

$$\text{Luas permukaan } \frac{1}{2} \text{ bola} = \frac{1}{2} \times 4 \times \pi \times r^2$$

$$\text{Dimana } r = 14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \frac{1}{2} \text{ bola} &= \frac{1}{2} \times 4 \times \pi \times 14^2 \\ &= 615,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas permukaan tabung

$$\text{Diketahui } r = 14 \text{ mm}$$

$$t = 104 \text{ mm}$$

Luas permukaan tabung

$$= 2 \pi \times r \times (t + r)$$

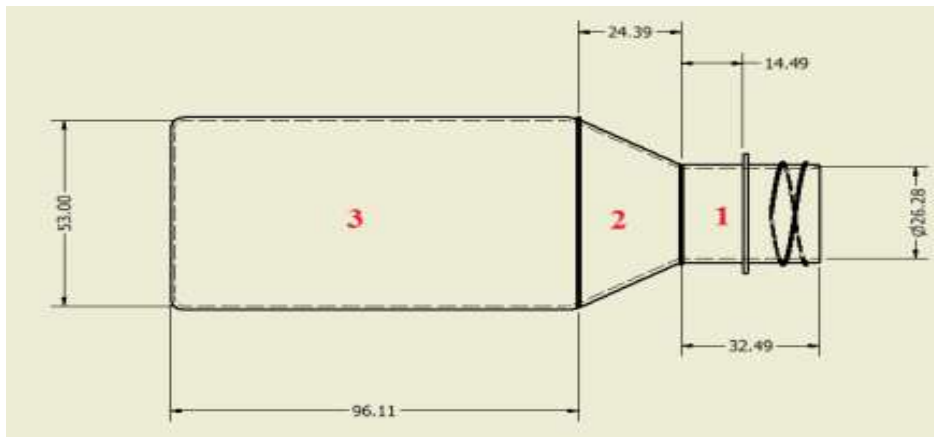
$$= 2 \pi \times 14 \times (104 + 14)$$

$$= 10379,82 \text{ mm}^2$$

Jadi Luas permukaan *preform* =

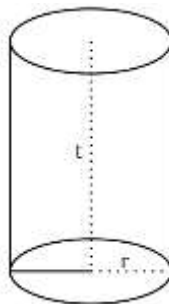
$$\begin{aligned} & \text{Luas permukaan } \frac{1}{2} \text{ bola} + \text{Luas permukaan tabung} \\ & = 615,75 \text{ mm}^2 + 10379,82 \text{ mm}^2 \\ & = 10995,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

B. Mencari Luas permukaan Botol produk



Gambar 4.40. Ukuran botol produk

Mencari Luas permukaan tabung



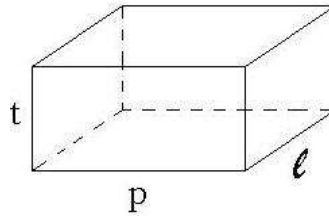
Gambar 4.41. Keterangan Tabung

Diketahui : $r = 14 \text{ mm}$

$t = 32,49 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{LP} &= 2 \pi \times r \times (t + r) \\ &= 2 \pi \times 14 \text{ mm} \times (32,49 + 14) \\ &= 4098,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari Luas permukaan Balok



Gambar 4.42. Keterangan Balok

Diketahui : $t = 53 \text{ mm}$

$$l = 53 \text{ mm}$$

$$p = 96,11 \text{ mm}$$

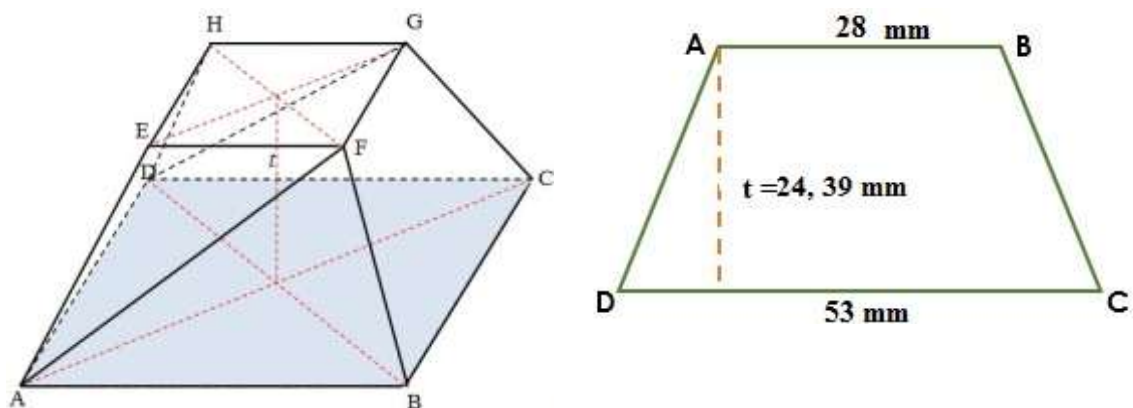
$$LP = 2(p \times l) + 2(p \times t) + 2(l \times t)$$

$$= 2(96,11 \times 53) + 2(96,11 \times 53) + 2(53 \times 53)$$

$$= 5618 + 10187,66 + 10187,66$$

$$= 25993,32 \text{ mm}^2$$

Mencari Luas permukaan Trapesium



Gambar 4.43. Keterangan Trapesium

Diketahui : AB = 28 mm

DC = 53 mm

t = 24,39 mm

Luas sisi trapesium

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times (AB + DC) \times t \\ &= \frac{1}{2} \times (28 + 53) \times 24,39 \\ &= \frac{1}{2} \times (81) \times 24,39 \\ &= 987,795 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luas permukaan limas segi empat terpotong

$$\begin{aligned} L &= 4 \times \text{Luas sisi Trapesium} \\ &= 4 \times 987,795 \text{ mm}^2 \\ &= 3951,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi luas permukaan seluruh botol adalah

$$\begin{aligned} &= \text{luas permukaan tabung} + \text{luas permukaan balok} + \text{luas permukaan limas segi 4} \\ &\quad \text{terpotong} \\ &= 4098,47 \text{ mm}^2 + 25993,32 \text{ mm}^2 + 3951,15 \text{ mm}^2 \\ &= 34042,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi ketebalan rata - rata botol produk (*part thickness*) yaitu :

$$\text{rata2 bagian ketebalan} = \frac{\text{luas area permukaan preform}}{\text{luas area permukaan produk}} \times \text{ketebalan preform}$$

Dimana : Luas area permukaan *preform* = 10995,57 mm²

Luas area permukaan botol produk = 34042,94 mm²

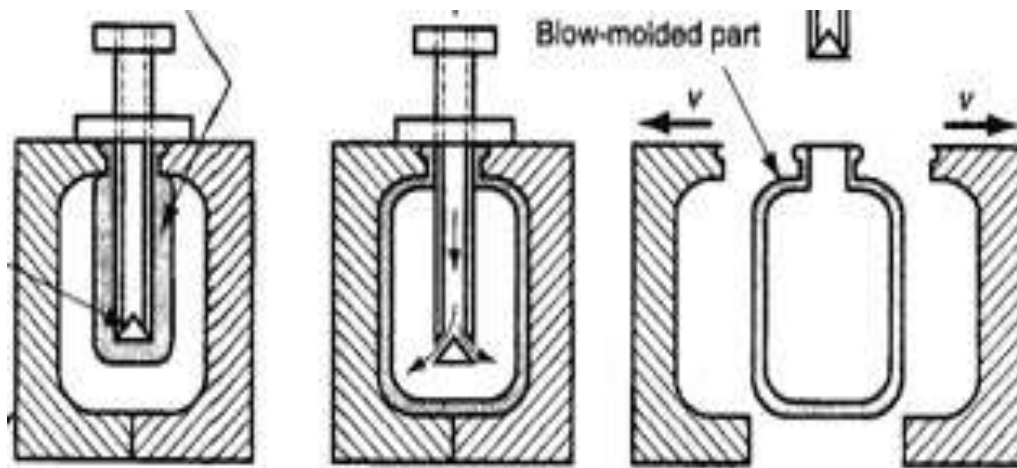
Ketebalan *preform* = 2 mm

$$\begin{aligned} \text{rata2 bagian ketebalan} &= \frac{10995,57 \text{ mm}^2}{34042,94 \text{ mm}^2} \times 2 \text{ mm} \\ &= 0,64598 \text{ mm} \rightarrow 0,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi ketebalan rata – rata botol produk setelah ditiup adalah 0,6 mm

4.9.3. Hasil perhitungan tekanan minimum injeksi udara yang diperlukan

Perhitungan ini ditujukan untuk mengetahui tekanan minimum yang diperlukan untuk meniup *bottle preform* sampai menjadi botol produk, berikut perhitungan tersebut:



Gambar 4.44. Proses peniupan *bottle preform*

Pendekatan asumsi

- Tekanan awal = 1 Bar \rightarrow 100.000 Pa
- Rugi-rugi aliran = 0
- Rumus utama \rightarrow $P.V = C$
- Ditanya : Tekanan minimum yang diperlukan ada proses injeksi?

Diketahui : V_1 (Volume *bottle preform*) = 50 ml

V_2 (Volume botol produk) = 323,23 ml

P_1 (tekanan awal) = 1.000.000 Pa \rightarrow 1 Bar

P_2 (tekanan minimum) =?

Menganalisa volume *bottle preform* dan botol produk untuk mengetahui volume dan tekanan minimum yang diperlukan

Analisa volume *bottle preform*

$$V_{\text{tot preform}} = V_a + V_b$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tot preform}} &= 45659,90 \text{ mm}^3 + 4601,39 \text{ mm}^3 \\ &= 50261,29 \text{ mm}^3 \rightarrow 50,26 \text{ ml} \end{aligned}$$

Analisa volume botol produk

$$V_{\text{tot botol produk}} = V_a + V_b + V_c$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tot botol produk}} &= 7963,16 \text{ mm}^3 + 45565,48 \text{ mm}^3 + 269972,99 \text{ mm}^3 \\ &= 323501,63 \text{ mm}^3 \rightarrow 323,5 \text{ ml} \rightarrow 300 \text{ ml} \end{aligned}$$

"typical low pressure blow process on blow molding machine mass product (25-150 psi) on low production with low pressure 14,5 psi (1 bar)"

Maka $\rightarrow P \times V = C$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_2 = \frac{V_2}{P_1 \times V_1}$$

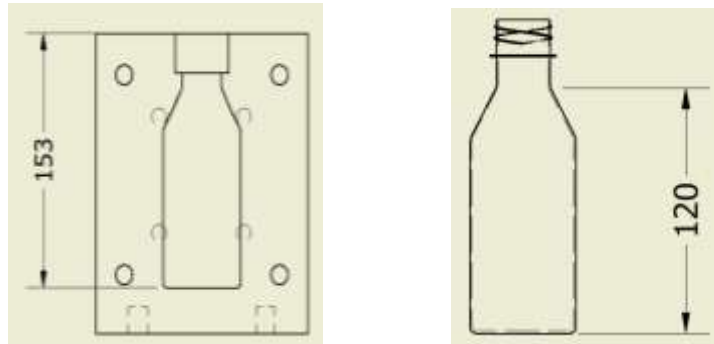
$$P_2 = \frac{323,23}{1.000.000 \text{ Pa} \times 50}$$

$$P_2 = 6.46 \times 10^{-6} \text{ Pa} \rightarrow 7 \text{ Bar}$$

Jadi, tekanan minimum yang diperlukan untuk proses peniupan yaitu 7 Bar

4.9.4. Hasil perhitungan *Shrinkage*

Perhitungan Nilai *shrinkage* bertujuan untuk menentukan material *bottle preform* yang cocok untuk digunakan pada cetakan tersebut . Berikut perhitungan nilai *shrinkage* yang terjadi cetakan tersebut :



Gambar 4.45. Keterangan panjang *mold* dan botol produk

Diketahui :

$L_p = 120$ mm (panjang botol produk yang mengalami penyusutan)

$L_m = 153$ mm

Maka :

$$S = \frac{L_m - L_p}{L_m} \times 100 \% \rightarrow \%$$

$$S = \frac{153 \text{ mm} - 120 \text{ mm}}{153} \times 100 \%$$

$$S = 2,1 \%$$

Jadi nilai *shrinkage* yang terjadi pada mold tersebut adalah 2,1 %

Dan material yang cocok digunakan pada *mold* tersebut yaitu plastic PET dengan spesifikasi dibawah ini :

Polimer	Penyusutan rerata linear (%)	Serapan air (%)	Serapan air ijin (%)
PET	2	0,1	0,005

4.9.5. Hasil perhitungan Pembuangan kalor pada cetakan

Pembuangan kalor secara konveksi didasarkan pada hanyutan kalor oleh udara yang mengelilingi permukaan cetakan, karena pembuangan kalor disini terjadi dengan sendirinya, maka disebut pembuangan kalor secara alami, perhitungannya sebagai berikut :

$$Q_1 = a_1 + F (t_{4m} t_u) \dots \dots \dots \text{ kcal / jam}$$

Dimana :

F = Luas permukaan cetakan yang berhubungan dengan udara

t_{4m} = Suhu rata – rata permukaan cetakan (°C)

t_u = Suhu udara (°C)

a_1 = Faktor pemindah panas secara konveksi antara udara dengan cetakan (kcal/m².jam°C)

Dengan a_1 yang dihitung berdasarkan persamaan Mihajev dimana A ditentukan secara eksperimental pada batas suhu $0 < t_{4m} < 300$ °C, maka

$$Q_1 = \left(0,25 + \frac{360}{t_{4m} + 300} \right) F (t_{4m} t_u)^{4/3} \text{ kcal / jam}$$

Diketahui :

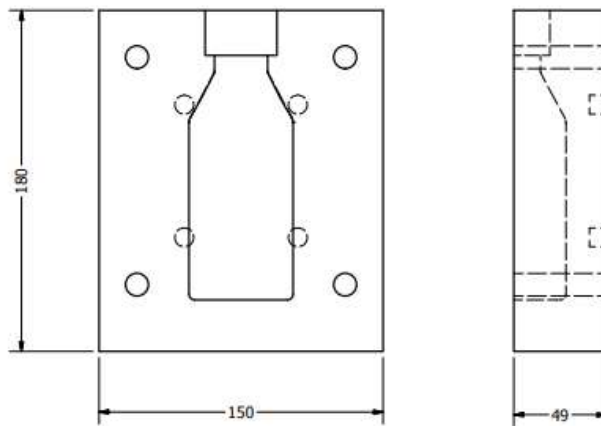
$$t_{4m} = 25 \text{ (°C)}$$

$$t_u = 32 \text{ (°C)}$$

Mencari luas permukaan cetakan (balok)

$$F = \dots \dots \dots ?$$

$$F = 2 (pxl) + 2 (pxt) + 2 (lxt)$$



Gambar 4.46. Ukuran cetakan

Diketahui : p (panjang) = 150 mm

l (lebar) = 49 mm

t (tinggi) = 180 mm

$$F = 2 (pxl) + 2 (pxt) + 2 (lxt)$$

$$= 2 (150 \times 49) + 2 (150 \times 180) + 2 (49 \times 180)$$

$$F = 86.340 \text{ m}^2 \text{ untuk 1 buah cavity}$$

$$F = 172680 \text{ m}^2 \text{ untuk 2 buah cavity}$$

$$Q_1 = \left(0,25 + \frac{360}{t_{4m} + 300} \right) F (t_{4m} t_u)^{4/3} \text{ kcal / jam}$$

$$Q_1 = \left(0,25 + \frac{360}{32 + 300} \right) 86340 (25 - 32)^{4/3} \text{ kcal / jam}$$

$$Q_1 = 1542677,245 \text{ kcal / jam.}$$

4.9.5. Hasil perhitungan *Clamping force*

Clamping force merupakan suatu mekanisme yang digunakan untuk menahan kedua bagian cetakan untuk menjaga agar *mold* tidak membuka pada saat proses *blow molding* berlangsung. Perhitungannya sebagai berikut :

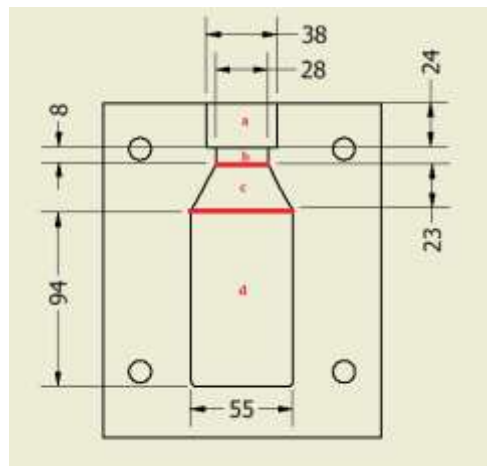
Perhitungan *clamping force*

$$F_c = P_{spec} \times A_{p\ tot} \quad (2.8)$$

dimana, P_{spec} = *specific internal pressure* (kg/cm^2)

$A_{p\ tot}$ = Total luas proyeksi (cm^2)

F_c = *Clamping force* (kg)



Gambar 4.47. Dimensi proyeksi cetakan

Perhitungan luas permukaan a (persegi panjang):

$$A_{pl\ a} = p \times l$$

diketahui, $p = 38\ mm$

$$l = 24\ mm$$

$$A_{pl} = 38\ mm \times 24\ mm$$

$$= 912\ mm^2 \rightarrow 9,12\ cm^2$$

Perhitungan luas permukaan b (persegi panjang):

$$A_{pl\ b} = p \times l$$

diketahui, $p = 28\ mm$

$$\begin{aligned}
 l &= 8 \text{ mm} \\
 \text{Apl} &= 28 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \\
 &= 224 \text{ mm}^2 \rightarrow 2,24 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan luas permukaan c (trapesium sama kaki):

$$\begin{aligned}
 \text{Apl c} &= \text{jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi} / 2 \\
 &= (55 \text{ mm} + 28 \text{ mm}) \times 23 \text{ mm} / 2 \\
 &= 954,5 \text{ mm}^2 \rightarrow 9,54 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan luas permukaan d (persegi panjang):

$$\begin{aligned}
 \text{Apl b} &= p \times l \\
 \text{diketahui, } p &= 94 \text{ mm} \\
 l &= 55 \text{ mm} \\
 \text{Apl} &= 94 \text{ mm} \times 55 \text{ mm} \\
 &= 5170 \text{ mm}^2 \rightarrow 51,7 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Apl total untuk 1 cetakan} &= 9,12 \text{ cm}^2 + 2,24 \text{ cm}^2 + 9,54 \text{ cm}^2 + 51,7 \text{ cm}^2 \\
 &= 72,6 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Apl total untuk 2 cetakan} = 72,6 \text{ cm}^2 \times 2 = 145,2 \text{ cm}^2$$

$P_{\text{spec}} \rightarrow$ Tekanan yang diperlukan untuk meniup preform tersebut yaitu :

$$6,46 \times 10^{-6} \text{ Pa} \rightarrow 7 \text{ Bar jika di konversikan menjadi kg / cm}^2 \text{ yaitu :}$$

$$7 \text{ Bar} \times 1,01972 = 7,11832 \text{ kg / cm}^2$$

$$P_{\text{spec}} = 7,11832 \text{ kg / cm}^2$$

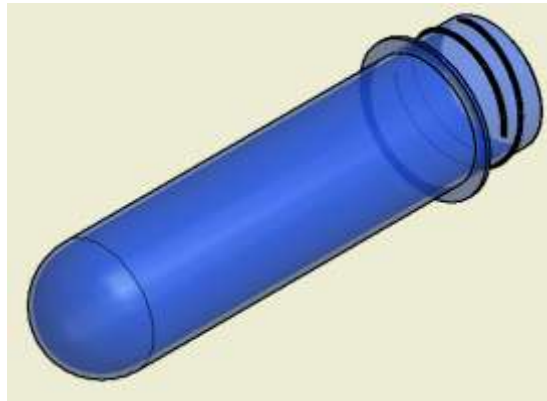
$$\begin{aligned}
 F_c &= P_{\text{spec}} \times A_{\text{p tot}} \\
 &= 7,11832 \text{ kg / cm}^2 \times 145,2 \text{ cm}^2 \\
 &= 1033,58 \text{ kg} \rightarrow 1 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan *clamping force*-nya adalah 1 Tonase

4.10. Proses kerja cetakan

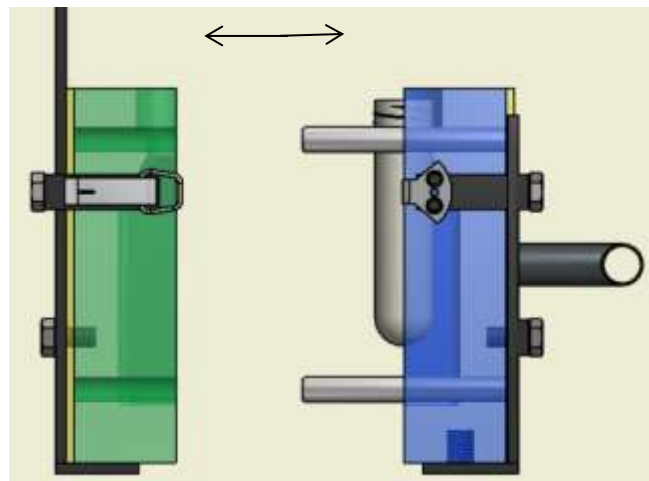
Proses kerja sistem buka tutup cetakan ketika awal *bottle preform* yang sudah dikeluarkan dari pemanas lalu dimasukkan sampai menjadi botol produk produk akan dijelaskan pada langkah-langkah berikut ini.

1. *Bottle preform* yang sudah di panaskan didalam lalu di keluarkan



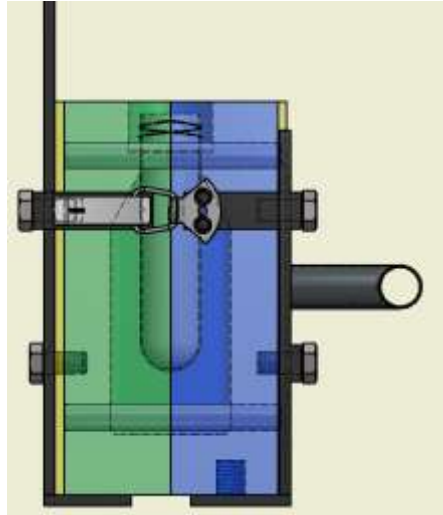
Gambar 4.48. Simulasi *bottle preform* yang sudah dipanaskan

2. Setelah *bottle preform* dipanaskan dan dikeluarkan dari dalam *oven* lalu di masukkan kedalam *mold open*.



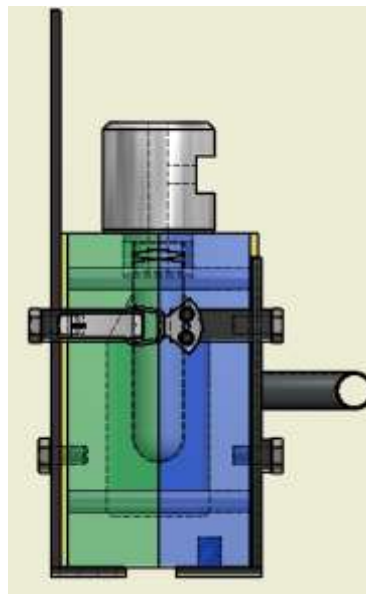
Gambar 4.48. Simulasi *bottle preform* dimasukkan kedalam cetakan

3. Setelah dimasukkan kedalam *mold open* lalu cetakan ditutup rapat dan dikunci rapat.



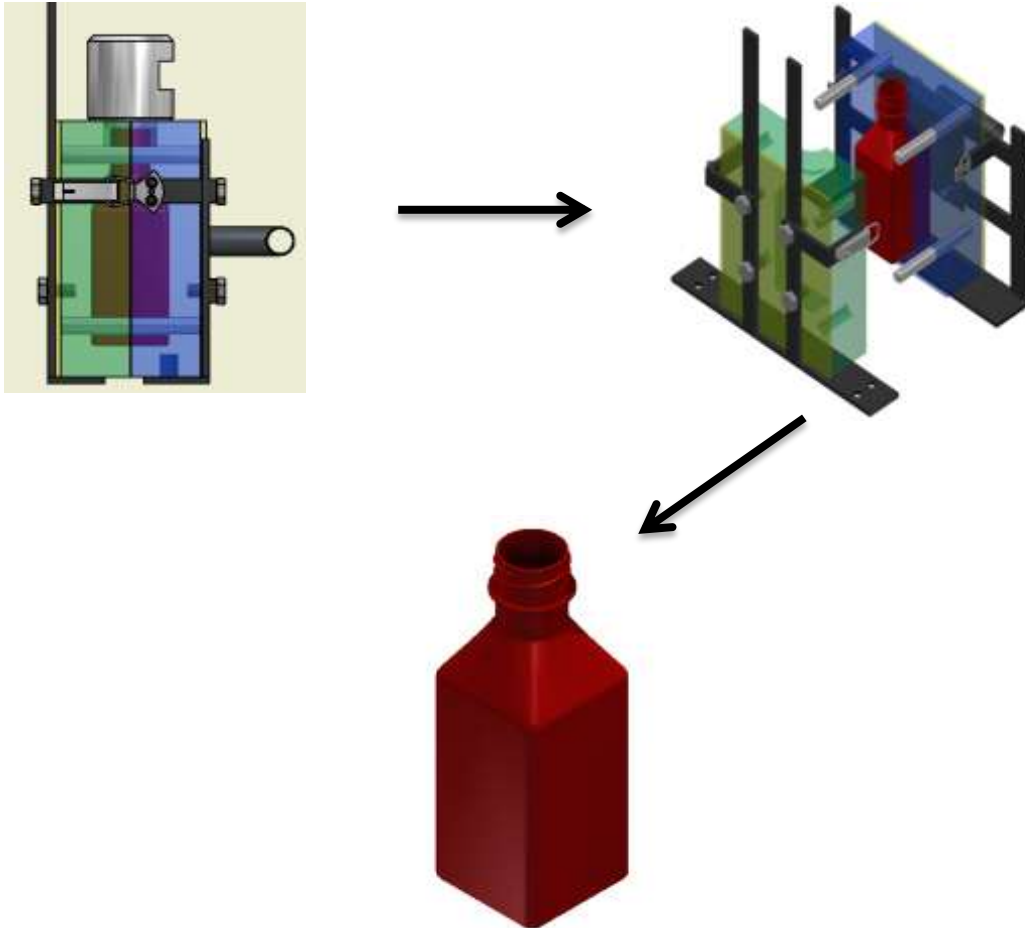
Gambar 4.49. Simulasi *bottle preform* yang sudah dimasukkan kedalam cetakan lalu di kunci rapat

4. Setelah di kunci rapat selanjutnya di injeksikan udara bertekanan dari *injector blow tools* melalui kompresor



Gambar 4.50. Simulasi setelah dikunci lalu ditiup

5. Selanjutnya *bottle preform* tersebut akan mengikuti alur dari kedua *mold cavity* tersebut dan membentuk sebuah botol produk dan dapat dikeluarkan dari cetakan



Gambar 4.51. Simulasi hasil produk botol jadi