

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Menghitung Kapasitas Silinder

Pada perancangan alat uji kekentalan plastik ini sampel akan dilebur didalam silinder. Untuk itu dibutuhkan perhitungan untuk mencari kapasitas silinder yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian. Panjang total silinder berbentuk tabung yang digunakan adalah 150 mm (0,15 m), akan tetapi menurut EN ISO 1133 : 2005 hanya diperbolehkan menggunakan 50 mm (0,05 m) dari tinggi tabung yang ada. Kapasitas alat uji kekentalan plastik dapat ditentukan menggunakan persamaan volume tabung berikut ini :

Diketahui :

Jari-jari tabung (r) : 5 mm

Tinggi tabung (T) : 50 mm

Ditanya :

V :(mm³)

$$V = \text{Luas alas} \cdot T$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot T$$

$$V = \pi \cdot (5 \text{ mm})^2 \cdot 50 \text{ mm}$$

$$V = 3926,9 \text{ mm}^3 \text{ atau dibulatkan menjadi } 4 \text{ cm}^3$$

4.2. Menghitung Kalor yang Dihasilkan

Untuk mengetahui kalor yang dihasilkan pada saat proses peleburan, diasumsikan menggunakan 5 gram plastik *polypropylene* (PP) dengan kalor jenis zat (c) sebesar 1920 J/(Kg °C) yang dilebur pada temperatur 230°C, dan pengujian dilakukan pada temperatur ruangan (30 °C) dapat menggunakan persamaan (2.12).

Diketahui :

m_{pp} : 5 gram : 0,005 kg

c_{pp} : 1900 J/(Kg °C)

T_1 : 30 °C

T_2 : 230 °C

Ditanya :

Q :(Joule)

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,005 \text{ kg} \cdot 1920 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \cdot (230 - 30) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1920 \text{ Joule}$$

Untuk mengetahui kalor yang didapat sampel lain dapat dilihat pada tabel

4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Kalor yang Didapat

No	Jenis Plastik	Massa (Kg)	Temperatur ($^\circ\text{C}$)	Kalor Jenis Zat (J/Kg. $^\circ\text{C}$) *	Kalor (Joule)
1	<i>Polypropylene</i>	0.005	230	1920	1920
2	<i>Acetal</i>	0.005	190	1460	1168
3	<i>Acrylics</i>	0.005	230	1470	1470
4	<i>Polycarbonates</i>	0.005	300	1250	1687,5
5	<i>Nylon</i>	0.005	235	1700	1742,5
6	<i>Polystyrene</i>	0.005	230	1500	1500
7	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	0.005	230	1675	1675
8	<i>Ethylene- tetrafluoroethylene copolymer</i>	0.005	297	2000	2670
9	<i>Polyethylene</i>	0.005	190	2300	1840
10	<i>Polycaprolactone</i>	0.005	125	1340	636,5
11	<i>Polyether sulfone</i>	0.005	380	1100	1925
12	<i>Polyetherherketone (PEEK)</i>	0.005	384	1700	2660,5

* Kalor jenis dapat dilihat pada www.engineeringtoolbox.com

Kalor yang dihasilkan setiap sampel berbeda satu dengan yang lain (lihat tabel 4.1). Hal ini disebabkan kalor jenis zat (*specific heat*) masing-masing sampel

berbeda. Kalor yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengetahui waktu peleburan suatu sampel.

4.3. Menghitung Waktu Peleburan

Waktu peleburan digunakan untuk mengetahui kemampuan alat uji kekentalan plastik pada saat meleburkan sampel 5 gram *polypropylene* (PP) dengan menggunakan temperatur 230 °C dan menghasilkan kalor (Q) 1920 Joule. *Heater* yang digunakan berjenis *band heater* dengan tegangan 220 V dan arus 4A. Waktu yang diperlukan dapat menggunakan persamaan (2.11).

Diketahui :

Q : 1920 joule

V : 220 V

I : 4 A

Ditanya :

t : (detik)

$$Q = W$$

$$Q = V \cdot I \cdot t$$

$$t = \frac{Q}{V \cdot I}$$

$$t = \frac{1920 \text{ joule}}{220 \text{ V} \cdot 4 \text{ A}}$$

$$t = 2,18 \text{ detik}$$

Untuk mengetahui kalor yang dihasilkan sampel lain dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Waktu Peleburan Sampel

No	Jenis Plastik	Kalor (Joule)	Waktu (detik)
1	<i>Polypropylene</i>	1920	2,18
2	<i>Acetal</i>	1168	1,33
3	<i>Acrylics</i>	1470	1,67
4	<i>Polycarbonates</i>	1687,5	1,92
5	<i>Nylon</i>	1742,5	1,980
6	<i>Polystyrene</i>	1500	1,70
7	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	1675	1,90
8	<i>Ethylene-tetrafluoroethylene</i>	2670	3,03

	<i>copolymer</i>		
9	<i>Polyethylene</i>	1840	2,09
10	<i>Polycaprolactone</i>	636,5	0,72
11	<i>Polyether sulfone</i>	1925	2,19
12	<i>Polyetherherketone (PEEK)</i>	2660,5	3,02

Pada tabel 4.2, semua sampel dilebur dengan *band heater* betegangan 220V dan mempunyai arus 4A. Nilai Kalor yang dihasilkan pada tabel diatas didapat dari persamaan (2.12).

4.4. Menghitung Laju Perpindahan

Laju perpindahan didapat dari perbedaan temperatur antara heater dan silinder yang berisi sampel. *Heater* akan menyalurkan panas melalui silinder untuk meleburkan sampel. Hal tersebut menggunakan benda perantara sebagai media penyaluran panas yang biasa disebut dengan konduksi. Benda perantara yang digunakan adalah *stainless steel* dengan konduktivitas termal (K) sebesar 16,2 W/(m.K) dan panjangnya 150 mm dengan diameter luar 25 mm serta diameter dalam 10 mm. Pengujian diasumsikan pada temperatur ruangan sehingga temperatur dalam tabung sebesar 30°C dan temperatur luar tabung berasal dari *band heater* yang sedang memanaskan *polypropylene* (PP) sebesar 230 °C Untuk mencari konduksi yang terjadi dapat menggunakan persamaan (2.7).

Diketahui :

K : 16,2 W/(m.K)

L : 150 mm : 0,15 m

T_i : 30 °C : 303 K

T_o : 230 °C : 503 K

d_o : 25 mm : 0,025 m

d_i : 10 mm : 0,01 m

Ditanya :

q :(Watt)

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 16,2 \frac{Kj}{m} K \cdot 0,15 m (303 - 503)}{\ln\left(\frac{0,025 m}{0,01 m}\right)}$$

$$q = 3332,5 \text{ Watt} = 3332,5 \text{ J/s}$$

Laju perpindahan berasal dari *heater* menuju tabung silinder. Setiap detiknya *heater* akan menghasilkan panas melewati tabung silinder sebesar 3332,5 j/s. Energi panas tersebut selanjutnya akan digunakan untuk meleburkan sampel pada saat percobaan.

Untuk laju perpindahan kalor yang terjadi pada *die*, dapat menggunakan persamaan (2.7). Laju perpindahan kalor pada *die* diasumsikan dengan melebur 5 gram polipropelene (PP) sebesar 230°C pada temperatur ruangan 30°C.

a. Laju perpindahan kalor pada *die* berbahan dasar tungsten.

Diketahui :

K : 88 W/(m.K)
 L : 80 mm : 0,08 m
 T_i : 30 °C : 303 K
 T_o : 230 °C : 503 K
 d_o : 10 mm : 0,01 m
 d_i : 2 mm : 0,002 m

Ditanya :

q :(Watt)

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 88 \frac{Kj}{m} K \cdot 0,08 m (303 - 503)}{\ln\left(\frac{0,01 m}{0,002 m}\right)}$$

$$q = 5496,8 \text{ Watt} = 5496,8 \text{ J/s}$$

b. Laju perpindahan kalor pada *die* berbahan dasar kuningan.

Diketahui :

K : 115 W/(m.K)
 L : 80 mm : 0,08 m

Ditanya :

q :(Watt)

T_i : 30 °C : 303 K
 T_o : 230 °C : 503 K
 d_o : 10 mm : 0,01 m
 d_i : 2 mm : 0,002 m

$$q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 115 \frac{Kj}{m} K \cdot 0,08 m (303 - 503)}{\ln\left(\frac{0,01 m}{0,002 m}\right)}$$

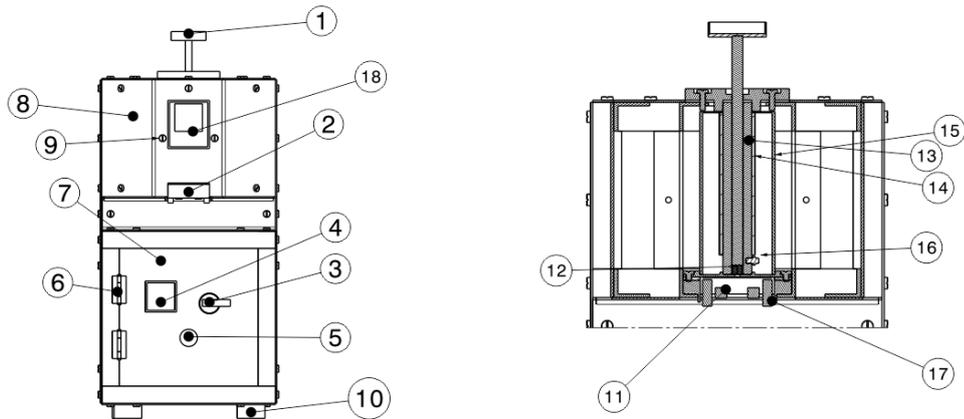
$$q = 7183,3 \text{ Watt} = 7183,3 \text{ J/s}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa laju perpindahan kalor *die* berbahan dasar kuningan lebih bagus dari pada *tungsten carbide*. Dengan menggunakan *die* berbahan dasar kuningan, laju perpindahan panas lebih besar sehingga sampel akan lebih cepat mencair.

4.5 Desain Alat Uji Kekentalan Plastik

Desain alat uji kekentalan berpedoman pada desain *melt flow indexer* yang ada dipasaran. Untuk ukuran bagian-bagian utama alat uji kekentalan plastik seperti tabung, *die* dan piston mengikuti EN ISO 1133:2005 dengan sedikit penyesuaian berdasarkan kemampuan alat yang digunakan dalam proses pembuatan dan sumber daya manusia yang tersedia.

Berikut merupakan gambar dan fungsi dari setiap komponen pada alat uji kekentalan plastik :



Gambar 4.1 Desain alat uji kekentalan plastik (nama nomor bagian dapat dilihat pada Tabel 4.3)

Alat uji kekentalan plastik terdiri dari beberapa bagian, setiap bagiannya memiliki fungsi dan bentuk yang berbeda-beda. Dari gambar 4.1 bisa dilihat bagian-bagian alat uji kekentalan plastik. Setiap bagian alat uji kekentalan plastik memiliki fungsi masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Keterangan Bagian-Bagian Alat Uji Kekentalan Plastik

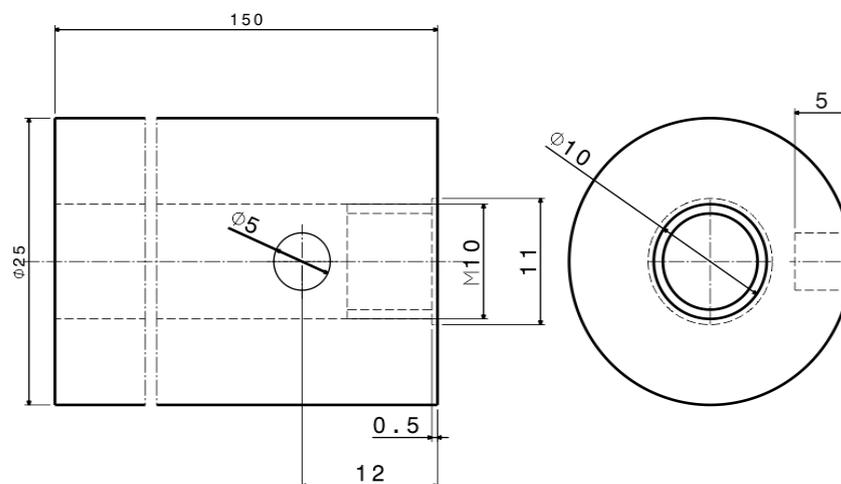
No.	Nama Bagian	Fungsi
1	Piston	Untuk menekan sampel yang sudah dilebur
2	Pisau	Untuk memotong hasil leburan yang keluar dari ekstruder
3	Saklar	Sebagai tombol untuk menghidupkan / mematikan alat
4	<i>Thermocouple</i>	Alat pengatur temperatur
5	Lampu	Indikator keadaan alat ketika sedang bekerja / sedang berhenti.
6	Engsel	Dudukan pintu panel
7	Panel	Tempat kontrol alat
8	<i>Casing</i>	Pelindung alat dari faktor eksternal
9	Baut	Pengunci alat agar tidak mudah lepas
10	Peredam	Pengaman alat dari efek getaran
11	Pengunci	Pengunci roda pisau

12	<i>Die</i>	Alat penahan laju aliran sampel
13	Tabung	Tempat peleburan sampel
14	<i>Heater</i>	Alat untuk menghantarkan panas
15	Rumah <i>heater</i>	Pengaman agar panas yang dihasilkan tidak keluar
16	Sensor	Sensor <i>thermocouple</i>
17	Roda	Alat bantu untuk menggerakkan pisau
18	<i>Stopwatch</i>	Alat bantu menghitung waktu pemotongan sampel

Pada dasarnya bagian inti dari alat uji kekentalan plastik terdapat pada bagian yang berhubungan dengan proses peleburan sampel yaitu piston, silinder, *heater*, ekstruder dan *thermocouple*. Untuk gambar rancangan yang lebih lengkap lihat lampiran 1.

4.5.1. Desain Tabung

Tabung adalah tempat dimana sampel dipanaskan sampai titik leburnya. silinder diletakkan secara vertikal untuk memudahkan sampel untuk terekstrusi. Silinder berbahan dasar *stainless steel* 304 (SS304). *Stainless steel* digunakan karena mempunyai sifat tahan karat, tahan terhadap panas, mudah ditemukan dipasaran dan ekonomis. Sifat fisik *stainless steel* yang berhubungan dengan proses pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.2. Desain Tabung

Tinggi tabung menurut EN ISO 1133:2005 harus diantara 115 mm sampai 180 mm dan diameter dalam silinder sebesar $9,55 \text{ mm} \pm 0,025 \text{ mm}$. Akan tetapi pada alat uji kekentalan plastik ini diameter dalam berukuran 10 mm, hal ini disebabkan karena sulit membuat ukuran sebesar $9,55 \text{ mm} \pm 0,025 \text{ mm}$ dengan proses permesinan yang ada. Kurangnya alat dan sumber daya manusia menjadi pertimbangan sehingga diameter dalam tabung yang digunakan sebesar 10 mm. Bagian ujung diameter dalam silinder dibuat ulir M10 dengan tinggi 8 mm. Untuk ukuran diameter luar silinder sebesar 25 mm, ukuran tersebut disesuaikan dengan ukuran diameter dalam pemanas (*band heater*). Pada tabung dibuat lubang dengan diameter 5 mm dan dalam 5 mm. Lubang ini digunakan untuk sensor *thermocouple*.

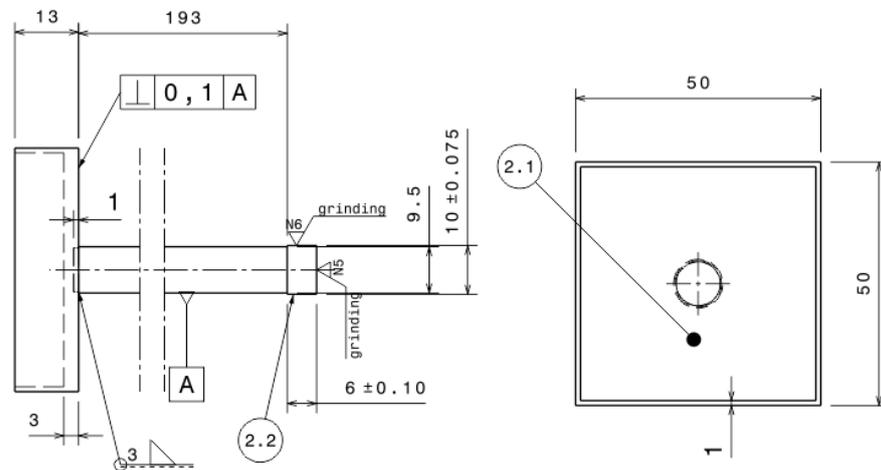
Tabel 4.4 Tabel Data *Stainless Steel* 304 (SS304)
(AK Steel Corporation, 2007)

Densitas (g/cm^3)	8,03
Kalor jenis ($\text{kJ}/(\text{Kg K})$)	0,5
Konduktivitas termal ($\text{W}/(\text{m K})$)	16,2
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	1399 - 1454

Penggunaan bahan dasar *stainless steel* dikarenakan bahan ini mudah ditemukan dan harganya yang tidak terlalu mahal, berkisar Rp. 60.000.00 (lihat lampiran 6). *Stainless steel* mempunyai titik leleh sekitar 1399°C , sehingga cukup digunakan sebagai bahan dasar pembuatan tabung alat uji kekentalan plastik yang memiliki temperatur maksimal 300°C . *Stainless steel* juga digunakan karena mempunyai sifat tahan karat, dan sampel plastik juga tidak mudah melekat pada dinding *stainless steel* pada saat proses pengujian.

4.5.2. Desain Piston

Piston digunakan untuk menekan sampel pada proses peleburan. Piston dapat bekerja dengan beban atau tanpa beban tergantung kondisi sampel yang digunakan. Bahan dasar piston adalah *stainless steel*. *Stainless steel* digunakan karena mengikuti bahan dasar silinder. Menurut EN ISO 1133:2005, bahan dasar piston harus mengikuti atau lebih kuat dari silinder. Penggunaan *stainless steel* juga dikarenakan banyak tersedia dipasaran, ekonomis, dan tidak mudah berubah bentuk ketika terkena panas.



Gambar 4.3. Desain Piston (detail gambar bisa dilihat pada lampiran 3)

Piston terdiri dari 2 bagian, yaitu tempat beban dan batang piston. Bagian kepala piston lebih lebar dari pada bagian batangnya, hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses penekanan pada saat pengujian. Ukuran ujung piston berdiameter $10 \pm 0,075$ mm dengan tinggi 6 ± 0.10 mm sedangkan bagian batangnya berukuran 9,5 mm. Tinggi piston harus lebih tinggi dari silinder, sehingga tinggi total piston adalah 212 mm. Ukuran tersebut didapat dari EN ISO 1133:2005 yang sudah mengatur ukuran piston. Pada bagian ujung piston juga dilakukan permesinan tambahan, yaitu proses grinding pada bagian samping sebesar $0,8 \mu\text{m}$ (N6) dan pada bagian dasar kepala piston sebesar $0,4 \mu\text{m}$ (N5). Proses grinding ini dilakukan untuk mempermudah pada saat proses *sliding* dan proses

penekanan sampel. Pada batang piston terdapat tanda bantu pada saat pengujian, tanda bagian bawah berjarak 50 mm dari bagian bawah piston sedangkan tanda bagian atas berjarak 80 mm dari bagian bawah piston.

4.5.3. Desain Die

Fungsi *die* adalah sebagai alat penahan sampel untuk mengurangi volume yang keluar dari silinder. Menurut ISO EN 1133:2005, *die* terbuat dari *tungsten carbide* atau *hardened steel*. *Tungsten carbide* digunakan karena memiliki titik leleh yang tinggi (lihat tabel 4.6), anti korosi dan memiliki koefisien muai yang rendah. Pada alat uji kekentalan plastik ini, *die* terbuat dari bahan kuningan C36000 (Cu 60% - 63%, Zn 35,5%, Fe 0,35%, Pb 2,5% - 3,7%, dll 0,5%). Kuningan digunakan karena mampu bekerja pada temperatur tinggi, konduktor yang baik dan mudah ditemukan dipasaran dari pada tungsten dan *hardened steel*. Harga kuningan juga lebih murah dari pada tungsten dan *hardened steel*. Harga kuningan dipasaran adalah Rp. 100.000/Kg, sedangkan tungsten adalah Rp.650.000/kg (lampiran 5). Selain dilihat dari segi harga, pemilihan kuningan juga dikarenakan pada saat proses permesinan kuningan lebih mudah dibentuk dari pada tungsten dan *hardened steel*. Sifat fisik kuningan yang berhubungan dengan proses pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Data Kuningan C36000
(www.ezlok.com,2016)

<i>Modulus elasticity</i> (GPa)	97
<i>Tensile Strength, Yield</i> (MPa)	124 - 310
Konduktivitas termal (W/(m K))	115
Titik leleh (°C)	900

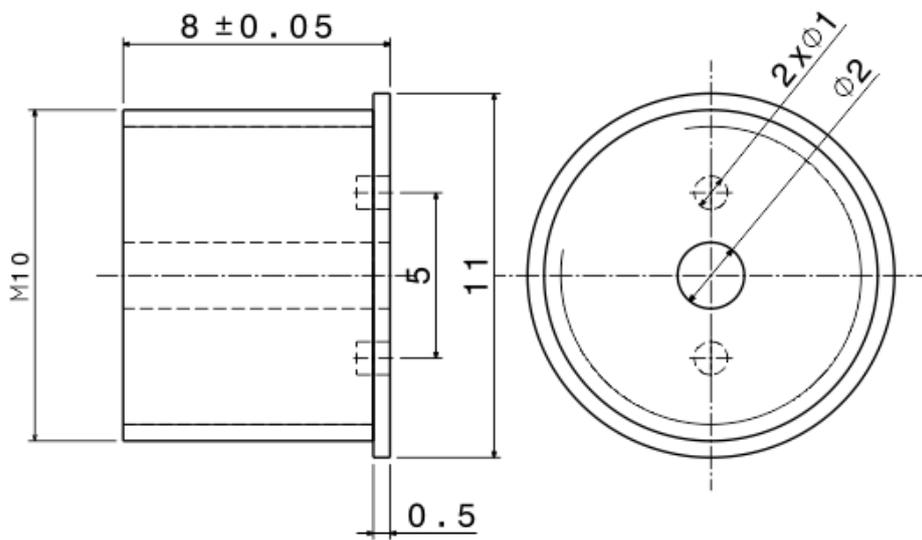
Tabel 4.6 Tabel Data Tungsten Carbide
(www.azom.com,2016)

<i>Modulus elasticity</i> (GPa)	600
---------------------------------	-----

<i>Tensile Strength, Yield (MPa)</i>	370
Konduktivitas termal (W/(m K))	88
Titik leleh (°C)	2870

Tinggi *die* menurut EN ISO 1133:2005 adalah $8 \pm 0,05$ mm. Diameter luar *die* disesuaikan dengan ukuran diameter dalam silinder. Diameter dalam *die* menurut ISO EN 1133:2005 sebesar 2.095 mm, akan tetapi karena keterbatasan proses permesinan dan sumber daya yang digunakan sehingga diameter dalam *die* hanya mampu sebesar 2 mm. Pada bagian luar *die* dibuat ulir M10x1 (*fine thread pitch, pitch : 1 mm*). Pembuatan ulir berfungsi untuk memudahkan proses pemasangan dan pelepasan *die* dengan silinder pada saat *cleaning process* dan *maintenance process*.

Pemilihan kuningan selain dilihat dari segi harga dan proses permesinan lanjutan, dapat dilihat dari konduktivitas termalnya. Nilai konduktivitas kuningan lebih bagus dari pada *tungsten carbide* (lihat Tabel 4.5 dan Tabel 4.6), sehingga kuningan lebih mudah untuk menghantarkan panas. Untuk titik lelehnya, titik leleh kuningan lebih kecil dari *tungsten carbide* (lihat Tabel 4.5 dan Tabel 4.6). Akan tetapi, temperatur maksimal yang digunakan pada alat uji kekentalan plastik sebesar 300°C, sehingga penggunaan kuningan dapat menggantikan penggunaan *tungsten carbide*.



Gambar 4.4. Desain *die*

Ketika *die* terkena panas dari *band heater* akan terjadi pemuaian yang mengakibatkan volume *die* akan bertambah. Pertambahan volume pada *die* akan mempengaruhi alat uji kekentalan plastik. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai perbandingan pemuaian yang terjadi pada *die* berbahan dasar *tungsten* dan kuningan dengan menggunakan rumus (2.13). Sebelum mencari nilai pemuaian, diperlukan perhitungan untuk mencari volume *die*. Volume *die* didapat dari menghitung luas volume tabung dikurang dengan lubang bagian tengah yang berbentuk tabung. Tinggi *die* adalah 8 mm dengan diameter *die* sebesar 10 mm dan lubang *die* berdiameter 2 mm. Untuk menghitung volume tabung dapat dilihat pada berikut ini :

Diketahui :

$$D = 10 \text{ mm (0,01 m)}$$

$$d = 2 \text{ mm (0,002 m)}$$

$$t = 8 \text{ mm (0,008 m)}$$

$$V = (\pi.(D/2)^2.t) - (\pi.(d/2)^2.t)$$

$$V = (\pi.(0,01 \text{ m}/ 2)^2.0,008 \text{ m}) - (\pi.(0,002 \text{ m}/ 2)^2.0,008 \text{ m})$$

$$V = 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Untuk pemuaian volume yang terjadi pada *die* berbahan dasar kuningan dengan koefisien muai panjang sebesar $18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ dan *tungsten* dengan koefisien muai panjang sebesar $4,3 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (engineertoolbox, 2016) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14).

a. Pemuaian volume pada *die* berbahan dasar kuningan.

Diketahui :

$$V_1 = 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\lambda = 3 \times \alpha$$

$$= 3 \times 18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$V_2 = V_1 (1 + \lambda (T_2 - T_1))$$

$$V_2 = 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3 (1 + 3 \times 18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) (300 - 30) ^\circ\text{C})$$

$$V_2 = 6,12 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

b. Pemuaian volume pada *die* berbahan dasar *tungsten*.

Diketahui :

$$V_1 = 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\lambda = 3 \times \alpha$$

$$= 3 \times 4,3 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$V_2 = V_1 (1 + \lambda (T_2 - T_1))$$

$$V_2 = 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3 (1 + 3 \times 4,3 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) (300 - 30) ^\circ\text{C})$$

$$V_2 = 6,05 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa pemuaian volume yang terjadi pada kuningan lebih besar dari *tungsten*. Penambahan volume yang terjadi pada temperatur maksimal alat uji kekentalan plastik dapat diketahui dari hasil $6,12 \times 10^{-7} \text{ m}^3 - 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0,09 \times 10^{-7} \text{ m}^3$. Sedangkan pada *tungsten* penambahan volumenya diketahui dari hasil $6,05 \times 10^{-7} \text{ m}^3 - 6,03 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0,02 \times 10^{-7} \text{ m}^3$. Selisih penambahan volume

yang terjadi pada *die* dari ke dua bahan tersebut tidak terlalu besar. Sehingga kuningan bisa digunakan sebagai bahan dasar pengganti *die*.

Pemuaian juga akan berpengaruh pada diameter *die*. Diameter *die* akan bertambah ketika terkena panas. Untuk mencari nilai pemuaian luas diameter dapat menggunakan persamaan(2.15). Sebelum mencari nilai pemuaian luas, diperlukan perhitungan untuk mencari luas *die*. Luas *die* didapat dari menghitung luas alas *die* dikurang dengan luas lubang. Diameter *die* sebesar 10 mm dan lubang *die* berdiameter 2 mm. Untuk menghitung luas *die* dapat dilihat berikut ini :

Diketahui :

$$D = 10 \text{ mm (0,01 m)}$$

$$d = 2 \text{ mm (0,002 m)}$$

$$A = (\pi.(D/2)^2) - (\pi.(d/2)^2)$$

$$A = (\pi.(0,01 \text{ m}/ 2)^2) - (\pi.(0,002 \text{ m}/ 2)^2)$$

$$A = 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Untuk pemuaian luas yang terjadi pada *die* berbahan dasar kuningan dengan koefesien muai panjang sebesar $18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}.\text{°C})$ dan *tungsten* dengan koefesien muai panjang sebesar $4,3 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}.\text{°C})$ (engineertoolbox, 2016) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15).

a. Pemuaian luas pada *die* berbahan dasar kuningan.

Diketahui :

$$A_1 = 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha = 4,3 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}.\text{°C})$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha (T_2 - T_1))$$

$$A_2 = 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2 (1 + 2 \times 18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}.\text{°C}) (300 - 30) \text{ °C}$$

$$A_2 = 7,61 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

b. Pemuaian luas pada *die* berbahan dasar *tungsten*.

Diketahui :

$$A_1 = 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha = 18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha (T_2 - T_1))$$

$$A_2 = 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2 (1 + 2 \times 18,7 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) (300 - 30) ^\circ\text{C})$$

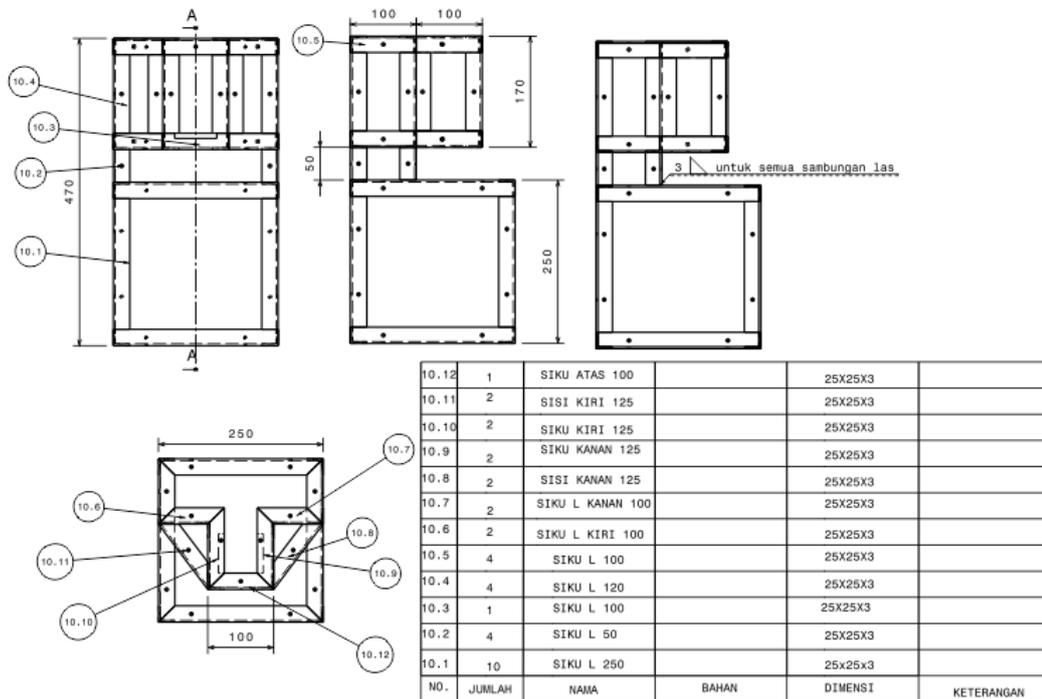
$$A_2 = 7,56 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa pemuaian luas yang terjadi pada kuningan lebih besar dari *tungsten*. Penambahan luas yang terjadi pada temperatur maksimal alat uji kekentalan plastik dapat diketahui dari hasil $7,61 \times 10^{-5} \text{ m}^2 - 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Sedangkan pada tungsten penambahan luasnya diketahui dari hasil $7,56 \times 10^{-5} \text{ m}^2 - 7,54 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,02 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Selisih penambahan luas yang terjadi pada *die* dari ke dua bahan tersebut tidak terlalu besar. Sehingga kuningan bisa digunakan sebagai bahan dasar pengganti *die*.

4.5.4 Desain Rangka dan *Casing*

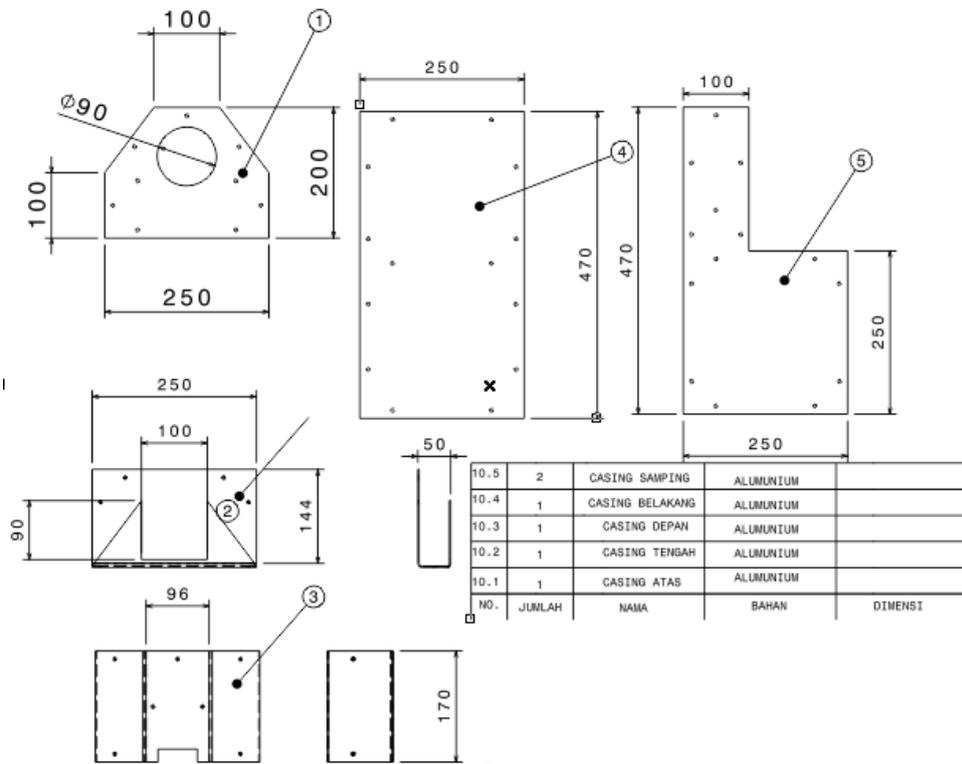
Rangka disusun sesuai dengan kebutuhan alat uji kekentalan plastik. Rangka tersusun dari besi karbon bentuk L dengan ukuran 25x25x3 mm dan dilas dengan ukuran kampuh las 3 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 2

Terdapat 12 macam besi karbon bentuk L yang digunakan untuk menyangga alat uji kekentalan plastik. Perbedaan antara 12 macam besi karbon hanya pada panjang yang digunakan. Panjang disesuaikan dengan bentuk yang dibutuhkan. Desain rangka mengikuti desain *melt flow indexer* yang ada dipasaran.



Gambar 4.5. Desain rangka

Untuk body menggunakan plat alumunium dengan ketebalan 0,3 mm dengan ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan. Body digunakan untuk melindungi alat uji kekentalan plastik dari lingkungan luar sehingga kerja alat dapat bekerja dengan maksimal.

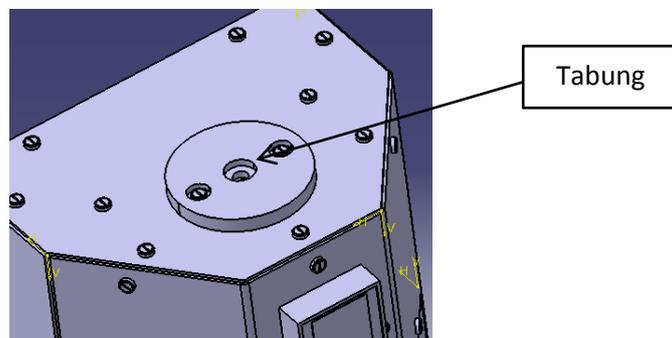


Gambar 4.6. Desain casing (detail gambar bisa dilihat pada lampiran 4)

4.6. Penjelasan Cara Kerja Alat

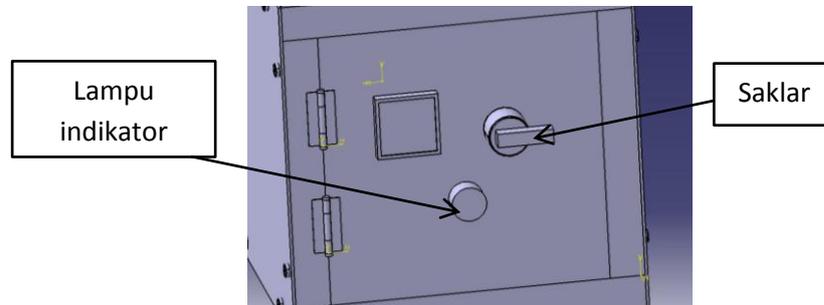
Berikut merupakan penjelasan cara menggunakan alat uji kekentalan plastik tersebut :

1. Colokkan stekker ke sumber listrik/saklar.
2. Masukkan sampel ke dalam tabung silinder sesuai dengan tabel 3.1 untuk menentukan berat sampel yang akan di uji.



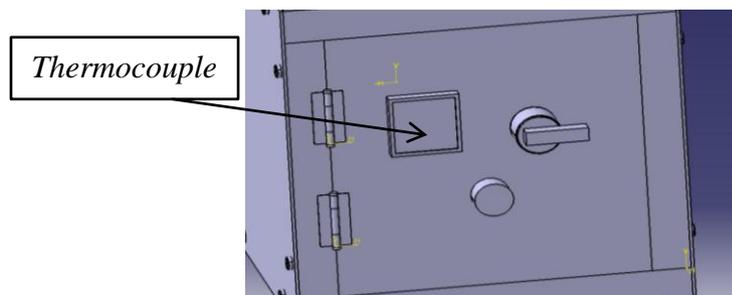
Gambar 4.7 Tabung alat uji kekentalan plastik

- Putar saklar untuk menyalakan alat uji kekentalan plastik sehingga lampu indikator akan menyala berwarna hijau.



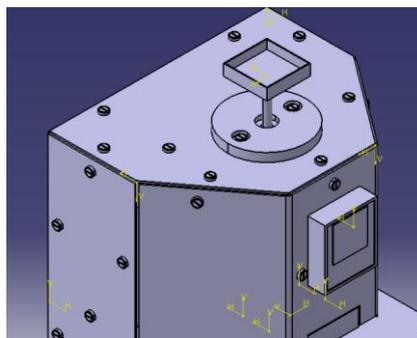
Gambar 4.8 Tuas saklar on/off

- Setting *thermocouple* sesuai dengan temperatur yang akan digunakan dengan berpedoman pada tabel 2.3.



Gambar 4.9 *Thermocouple*

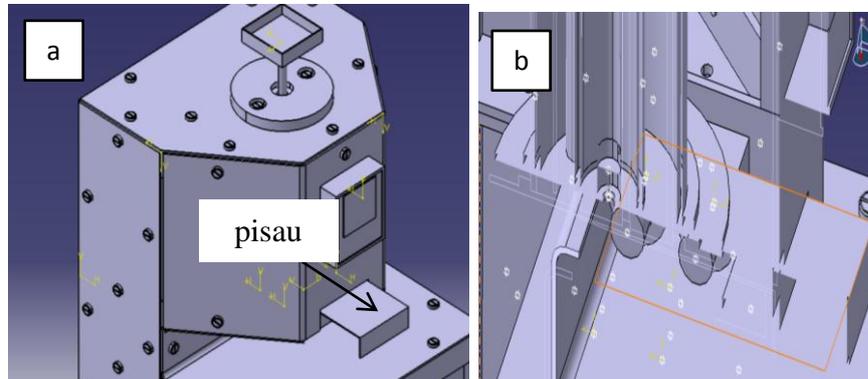
- Masukkan sampel ke dalam tabung, panaskan alat uji selama 5 menit.
- Letakkan piston dengan beban atau tanpa beban sesuai dengan pengujian yang ingin dilakukan. Penggunaan beban dapat dilihat dari tabel 2.3.



Gambar 4.10 Piston tanpa beban

- Biarkan piston menekan sampel selama kurang dari 2 menit, potong lelehan sampel yang keluar dari ekstruder menggunakan pisau. Proses

pemotongan dilakukan sesuai dengan waktu interval yang sudah ditentukan (lihat tabel 3.1).



Gambar 4.11 (a) Pisau pemotong, (b) Proses pemotongan dilihat dari dalam

8. Kumpulkan hasil potongan sampel dengan waktu interval maksimal 240 detik.
9. Hitung kekentalan plastik atau *melt flow rate* dari sampel yang didapat menggunakan rumus 2.1.
10. Bersihkan sisa sampel pada tabung agar bisa digunakan pada pengujian selanjutnya. Jika sampel masih melekat pada dinding tabung maka proses pembersihan dapat dilakukan dengan menyalakan alat uji kekentalan. Pembersihan ini dilakukan dengan ekstra hati-hati agar tidak membahayakan operator dan tidak mengurangi kinerja dari alat uji kekentalan plastik.