

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Irawan dkk (2018) membuat sebuah mesin *extruder filament* dengan material *barrell* dibuat dari *stainless stell* dan *screw* menggunakan material ASSAB 718 HH, *nozzle* yang dibuat dari baja karbon dengan ukuran 5 mm, untuk putaran *screw* sebesar 60 RPM, dengan daya motor listrik sebesar 1,4 HP, *heater* berjumlah 4 dengan spesifikasi 50x100, CPM 475 Watt, 220V. Dilakukan uji coba dengan menggunakan suhu 180°C dan terjadi penyimpangan ukuran hingga 100% dari ukuran *nozle*, hal itu dikarenakan buruknya sistem pendinginan pada saat lelehan melewati *nozle*.

Sumardi (2009) membuat sebuah mesin *extruder filament* dengan spesifikasi material *barrell* dibuat dari *stainless stell* dan *screw* menggunakan material ASSAB 718 HH, untuk putaran *screw* sebesar 60 RPM, perbandingan L/D *barrel-screw* 14, diameter dari *nozzle/die* sebesar 5 mm, dan pemanas menggunakan 3 buah *heater* dengan spesifikasi 47x100, CPM 475 Watt, 220V. Dari hasil penelitiannya suhu yang sesuai untuk mesin *extruder* dengan spesifikasi diatas adalah 180°C, tetapi diameter *filament* yang dihasilkan masih menyimpang 100%, hal itu terjadi karena kesalahan bentuk *die (nozle)* dan *seizing* (penapat ukuran)

Suryana (2019) memodifikasi komponen utama mesin *extruder filament*. Dari hasil penelitian penyebab masalah kegagalan produk adalah kurangnya masukan bahan kedalam cetakan sehingga perlu dilakukan modifikasi pada *screw*, karena *screw* merupakan jantung dari mesin *extruder filament*. Pada *screw* yang dimodifikasi dengan kecepatan 60 rpm dapat menghasilkan tekanan maksimum 187,36 Mpa, *outflow* (keluaran) sebesar  $190 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  dan viskositas 98 Pa.s. Sedangkan pada *screw* konvensional dengan putaran 60 rpm menghasilkan *outflow* (keluaran)  $151 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , dengan tekanan maksimum sebesar 239,1MPa, dan viskositas 98 Pa.s. Dari hasil pengamatan didapatkan perbandingan yang sangat signifikan *screw* modifikasi menghasilkan *outflow* (keluaran) 27% lebih besar dibandingkn *screw* konvensional.

Wankhade dkk (2018) membuat sebuah mesin *extruder filament* dengan menggunakan *screw* diameter 25 mm dan panjang 300 mm, *barell* menggunakan baja silinder dengan diameter 25,05 mm, bahan dari *screw* dan *barell* menggunakan baja F-174, daya motor listrik sebesar 55 rpm, *heater* 35x30 mm dengan daya 150 watt, diameter dari *die (nozle)* sebesar 2 mm dengan bahan kuningan. Dari hasil uji coba yang dilakukan suhu yang dibutuhkan untuk melelehkan butiran plastik ABS sebesar 200°C.

Harimalairajan dkk (2016) membuat sebuah mesin *extruder filament* dengan menggunakan *screw* berdiameter 63 mm, diameter *barell* 65 mm, bahan dari *screw* dan *barell* menggunakan baja, pada *barell* menggunakan 2 buah *heater* sebesar 1200 watt, pada *die* menggunakan sebuah *heater* sebesar 1500 watt, untuk diameter dari *nozzle/die* sebesar 3 mm, dan kecepatan pada *screw* 20 rpm. Dari alat yang diproduksi, dapat digunakan untuk membuat *filament* dari semua jenis bahan termoplastik kecuali PVC. Diameter dari *filament* dapat diperkecil dengan cara menarik hasil *filament* yang keluar dari *nozzle/die* dengan menggunakan motor listrik.

Berdasarkan pembuatan mesin *extruder filament* yang pernah dilakukan rata-rata diameter dari hasil *filament* sangatlah besar. Sehingga diperlukan mesin *extruder filament* yang menghasilkan *filament* dengan diameter yang dibutuhkan pada pasaran, rata-rata penggunaan printer 3D menggunakan *filament* dengan diameter 1,75 dan 3,00 mm ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)).

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Definisi Mesin *Extruder Filament***

Pada zaman modernisasi seperti sekarang ini membuat suatu produk yang rumit dapat dibuat dengan mudah menggunakan printer 3D, dalam penggunaan printer 3D dibutuhkan bahan *filament* yang dibuat dari plastik, untuk membuat *filament* tersebut digunakan alat *extruder*. Pada dasarnya prinsip kerja *ekstrusi* dengan bahan *termoplastik* hampir mirip dengan *ekstrusi* logam hanya saja yang membedakan pada konstruksi mesin bagian utamanya yaitu pada ram diganti dengan *screw*. *Ekstrusi* pada *termoplastik* adalah suatu proses pembentukan material dengan cara dipanaskan hingga mencapai titik leleh dan melebur akibat panas dari

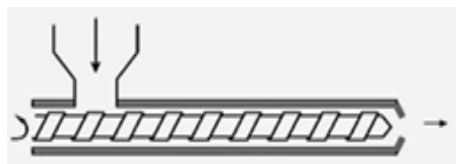
luar atau akibat gesekan yang kemudian dialirkan ke cetakan oleh *screw* untuk menghasilkan material dengan bentuk penampang sesuai dengan bentuk lubang cetakan (*die*) (Irawan, *et.al*, 2018). Pada proses ekstrusi terjadi proses transfer (*conveying*) dari satu titik ke titik yang lain menggunakan ulir (*screw*), selain itu juga terjadi penekanan dan pelelehan (Sibarani, *et.al*, 2018).

Cara kerja dari mesin *extruder filament* adalah dengan memasukkan butiran plastik kedalam *hoper* (corong) kemudian butiran plastik akan terbawa oleh ulir dan akan mengalami pelelehan, panas berasal dari *barrell* yang telah terpasang *heater*. Begitu lelehan telah menyampai ujung, terjadi kenaikan tekanan karena lelehan plastik harus melewati lobang kecil (*die*) sedangkan *screw* terus bergerak menekan. Lelehan butiran plastik selanjutnya melewati *die* (cetakan) dan terbentuklah *filament*.

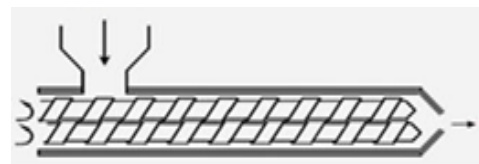
Dari penjelasan diatas, maka dapat disimpulkan mesin *extruder filament* merupakan mesin pelebur yang prosesnya meleburkan material berupa butiran plastik yang dialirkan dan diberi tekanan untuk melewati zona panas yang sehingga sampai pada ujung untuk melewati *die* (cetakan) yang nantinya akan membentuk *filament* dengan diameter sesuai dengan bentuk *die* (cetakan).

### 2.2.2 Jenis Mesin *Extruder filament*

*Extruder filament* memiliki jenis berdasarkan *screw* yang digunakan, terdapat dua jenis *screw* yaitu *single screw extruder* dan *twin screw extruder*. *Single screw extruder* adalah mesin *extruder* yang hanya menggunakan satu *screw* atau ulir didalam *barrell*, sedangkan *twin screw extruder* adalah mesin *extruder* yang menggunakan dua *screw* sekaligus dalam *barrell*.



Gambar 2.1 *Extruder single screw*  
(Sibrani 2018)



Gambar 2.2 *Extruder twin screw*  
(Sibrani 2018)

*Extruder twin screw* mempunyai nilai lebih merata pada campuran yang dihasilkan dan *output* yang lebih besar dibanding *extruder single screw* Sibrani dkk

(2018). Hal ini menyebabkan harga *extruder twin screw* jauh lebih tinggi dibanding *single screw extruder*.

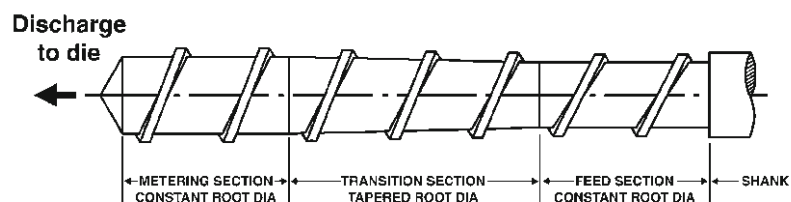
### 2.2.3 Komponen Mesin Extruder Filament

Irawan (2018) menuturkan bahwa *extruder filament* terdiri beberapa komponen yaitu *screw conveyor*, *barell*, motor listrik, *gearbox*, *heater* dan *die* (cetakan).

#### 2.2.3.1 *Screw conveyor*

*Screw* (poros berulir) berfungsi untuk mendorong dan menekan bahan (butiran plastik) hingga keluar dari *die* (cetakan). *Screw* adalah komponen utama dari mesin *extruder* sehingga diperlukan bahan yang kuat dan tahan terhadap suhu tinggi serta tahan terhadap korosi. Menurut Irawan (2018) *screw* (poros berulir) terdiri dari tiga bagian utama yaitu:

- Bagian masuk (*feeding section*), adalah bagian yang mempunyai diameter ulir konstan, yang membawa bahan baku (butiran plastik) ke bagian kompresi
- Bagian kompresi (*compression section*), pada bagian kompresi ini diameter poros *screw* meningkat secara kontinyu. Pada daerah ini bahan (butiran plastik) dipanaskan hingga suhu tertentu agar bahan dapat mengalir dengan lancar.
- Bagian akhir (*metering section*), pada bagian ini sama dengan daerah pemasukan yang mempunyai daerah bebas alir yang konstan. Disini bahan baku akan mengalami kenaikan karena tekanan geser dan gesekan pada daerah ini cukup besar.



Gambar 2.3 *Section of screw*

([www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org))

### 2.2.3.2 *Barell*

*Barell* merupakan salah satu komponen terpenting dalam proses *extrusi*. Hal ini dikarenakan *barell* merupakan tempat untuk meleburkan dan memanaskan bahan (butiran plastik). *Barell* terbuat dari pipa yang tahan karat dan tahan terhadap tekanan tinggi, dan tidak terdapat sambungan pada pipa.

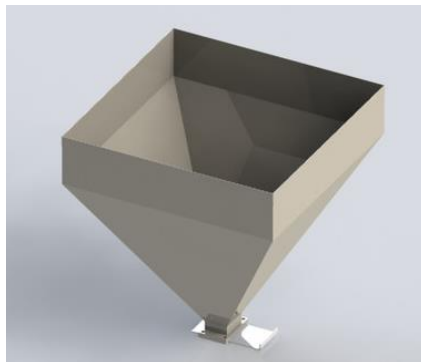


Gambar 2.4 *Barell*

(<http://www.directindustry.com>)

### 2.2.3.3 *Hopper*

*Hopper* adalah masukan untuk bahan (butiran plastik) yang nantinya akan mengalir dalam dinding *barell*, *hopper* biasanya terbuat dari bahan lembaran baja jenis *stainless steel* yang berbentuk corong untuk menampung bahan (butiran plastik)



Gambar 2.5 *Hopper*

(<https://grabcad.com>)

### 2.2.3.4 **Motor Listrik**

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini yang

digunakan untuk memutar *screw* yang harus melewati *gearbox* terlebih dahulu. Motor listrik memiliki dua jenis yaitu AC (bolak-balik) dan DC (searah). Menurut sistemnya motor listrik juga terbagi menjadi dua yaitu motor listrik satu fase dan tiga fase.



Gambar 2.6 Motor Listrik  
(<http://id.hanzelmotor.org>)

#### 2.2.3.5 Gearbox

*Gearbox* atau transmisi adalah suatu komponen utama motor yang disebut sebagai sistem pemindah tenaga, *gearbox* berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tenaga dari motor yang berputar, yang digunakan untuk memutar spindel maupun melakukan gerakan *feeding*. *Gearbox* pada mesin *extruder* berfungsi untuk meningkatkan torsi atau kekuatan putaran dari motor listrik. Peningkatan torsi dilakukan karena pada saat proses pelelehan dan penekanan bahan (butiran plastik) putaran *screw* akan semakin berat.



Gambar 2.7 Gearbox  
(<https://www.indiamart.com>)

Seperti fungsi yang tertera diatas, kita dapat menghitung reduksi putaran dan torsi yang dihasilkan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Putaran *Gear Box* (Rpm)

Jika gear box menggunakan spur gear dapat kita gunakan rumus perhitungan sebagai berikut

$$n = \frac{a}{b} \times Rpm \text{ motor} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$n$  = Reduksi putaran (Rpm)

$a$  = Jumlah gigi primer

$b$  = Jumlah gigi sekunder

- Torsi

$$T = \frac{5250 \times Hp}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

$T$  = Torsi (N.m)

$n$  = Reduksi putaran (Rpm)

$Hp$  = Daya input

- Laju aliran massa ( $v$ )

$$v = \frac{s \times n}{60} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$V$  = Laju aliran massa ( m/detik)

$s$  = *Pitch screw*

$n$  = Putaran motor listrik Rpm

### **2.2.3.6 Heater**

*Heater* (elemen pemanas) merupakan alat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas. Prinsip kerja *heater* adalah dengan cara arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga elemen akan menghasilkan panas. Pada mesin *ekstruder*, *heater* yang digunakan adalah *band heater*.

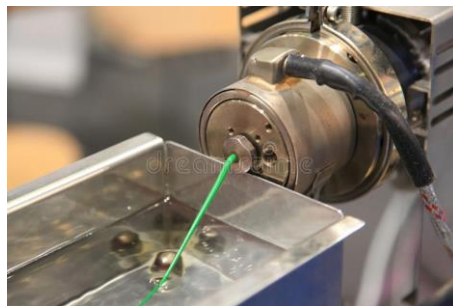
*Band heater* adalah *heater* yang berbentuk rol dengan diameter sesuai kebutuhan, *band heater* terbuat dari kumparan (gulungan) kawat yang tahan terhadap listrik tinggi (*niklin*), kemudian dilapisi isolator (*mica sheet*), pada bagian luar dilapisi oleh plat yang tahan terhadap karat.



Gambar 2.8 Band Heater  
(<https://www.amazon.com>)

#### 2.2.3.7 Die (cetakan)

*Die* adalah salah satu komponen dari mesin ekstruder yang sangat penting, die terletak diujung *barrel*. *Die* berfungsi untuk mencetak bahan (butiran plastik) menjadi *filament*. Ada beberapa bentuk dari *die*, ada yang berbentuk piringan dan ada yang berbentuk silinder dengan bagian ujung terdapat *nozzle*.



Gambar 2.9 Die (cetakan)  
(<https://www.dreamstime.com>)

### 2.3 Permesinan

Pemesinan adalah sesuatu yang bertujuan untuk menghasilkan sesuatu komponen atau benda kerja yang menggunakan bahan ferro ataupun non ferro melalui proses pemesinan menggunakan mesin perkakas. Dalam pembuatan komponen mesin *extruder filament* dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin bubut dan mesin las.



### 2.3.1 Mesin Bubut

Mesin bubut adalah mesin perkakas yang digunakan untuk membuat suatu komponen atau benda kerja. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang proses sayatannya dilakukan dengan memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakan sejajar dengan sumbu putar benda kerja.

Dalam proses pemesinan terdapat elemen dasar proses bubut yang dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

- a. Kecepatan potong:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/min} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana  $d$  = diameter rata-rata, yaitu:

$$\frac{(d_0 + d_m)}{2} \quad (d = \text{mm})$$

- b. Kecepatan makan

$$v_f = f \cdot n \text{ m/min} \dots\dots\dots(2.5)$$

- c. Kedalaman potong

$$a = \frac{(d_0 - d_m)}{2} \text{ mm} \dots\dots\dots(2.6)$$

- d. Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{v_f} \text{ min} \dots\dots\dots(2.7)$$

- e. Kecepatan penghasilan geram :  $Z = A \cdot V$  dimana, penampang geram sebelum terpotong  $A = f \cdot a \text{ mm}^2$ , maka:

$$Z = f \cdot a \cdot v \text{ cm}^3/\text{min} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

$a$  = kedalaman potong (mm)

$f$  = gerak makan (mm/r)

$n$  = putaran poros utama (rpm)

$d_0$  = diameter mula (mm)

$d_m$  = diameter akhir (mm)

$l_t$  = panjang pemesinan (mm)

Untuk menentukan *cutting speed* tidak bisa hanya berdasarkan salah satu faktor saja dan tidak ada rumusan pasti dalam menentukan *cutting speed* karena setiap material memiliki karakteristik yang berbeda. Berikut adalah tabel *cutting speed* dari beberapa jenis material

Tabel 2.1 *Cutting speed*

Material	Teg. Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	CS (m/mnt)	Material	Teg. Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	CS (m/mnt)
<b>Plain carbon steel</b>			<b>Spring Steel (JIS Grade)</b>		
ST37 / MS	37	32	SUP4, 6, 7, 9, 10, 11	125	13
1030 / S30C	48	32	SUS 302, 304, 316 WPA	170	5
1035 / S35C	52	25	SUS 302, 304, WPB	210	5
1040 / S40C	55	25	SUS 631J1 WPC	200	5
1045 / S45C / EMS45 / 1730	58	25	<b>Stainless Steel</b>		10-25
1050 / S50C / ST60	62	25	304, 304L, 316, 316L	70	18
1055 / S55C	66	25	410, 416	77	18
<b>Alloy Steel (JIS Grade)</b>			420, 420F	84	18
SNC2, 3, 21	95	18	440C, 440F	91	18
SNC22	100	13	<b>Copper</b>		70
SNCM1, 2, 22	90	18	<b>Lead Bronze</b>		50-70
SNCM7, 8, 23, 25	100	13	<b>Phospor Bronze</b>		40-50
SCr3, 4, 21, 22	90	18	<b>Pure Aluminum</b>		200-300
SCr5	100	13	<b>Aluminum Alloy</b>		70-120
SCM2, 3, 21, 22	90	18	<b>Cast Iron</b>		
SCM4, 5, 23	100	13	GG20		25
<b>Tool Steel (AISI Grade)</b>			GG25		18
W Series	70	18	GG30, 35, 40		18
O Series	135	5	GG45, 50		13
D Series	140	5	GG55, 60		5
A Series	140	5			
H Series	140	5			
L Series	100	13			
P Series	100	13			
S Series	130	5			
HSS T Series	150	5			
HSS M Series	140	5			

### 2.3.2 Mesin Las

Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagai logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu.

#### a. Las SMAW

Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) adalah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi).. Mesin Las

SMAW memiliki tiga tipe atau tiga jenis yaitu mesin las AC, DC, dan AC/DC.

Adapun besarnya panas yang dapat melelehkan bahan dapat dinyatakan dalam rumus dibawah ini

$$H = E \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$H$  = Panas (joule)

$E$  = Tegangan listrik (volt)

$I$  = Kuat arus (ampere)

$t$  = waktu (second)

Sebagian besar elektroda las SMAW dilapisi oleh flux, flux berfungsi sebagai gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekeliling. Menurut AWS (*American Welding Society*) elektroda diklasifikasikan dengan huruf E dan diikuti empat atau lima digit angka seperti berikut E xxxx (x). Dua digit yang pertama atau tiga digit menunjukkan kuat tarik hasil las, tiga digit menunjukkan kuat tarik lebih dari 100.000 psi sedangkan dua digit menunjukkan kuat tarik hasil lasan kurang dari 100.000 psi. Untuk macam-macam jenis flux dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Macam-macam fluks

No	Angka keempat	Jenis Selaput (fluks)	Arus Pengelasan
1	0	Natrium selulosa, Oksida besi tinggi	DC+
2	1	Kalium – Selulosa tinggi	AC,DC+
3	2	Natrium – Titania tinggi	AC,DC-
4	3	Kalium – Titania tinggi	AC,DC+
5	4	Serbuk besi, Titania	AC,DC±
6	5	Natrium – Hydrogen rendah	DC+
7	6	Kalium – Hydrogen rendah	AC,DC+
8	7	Serbuk besi, Oksida besi	AC,DC+
9	8	Serbuk besi, Hydrogen rendah	AC,DC+

## b. Las TIG

Tungsten Inert Gas (TIG) atau yang sering disebut Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tak terumpan atau tidak ikut mencair. Pada pengelasan TIG ini elektroda atau tungsten hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan logam pengisi yaitu *filler rod*. Mesin Las TIG memiliki dua jenis yaitu AC dan DC

Logam yang biasa di las menggunakan TIG adalah sebagai berikut

- *Carbon and Low alloy steels*
- *Stainless steels (304,316,321,17-4,410)*
- *Nickel alloys (inconel,hastelloy,waspalloy)*
- *Aluminium alloys*
- *Magnesium alloys*
- *Titanium*
- *Cobalt alloys (Haynes 188 dan L605)*
- *Refractory alloys (columbium, molybdenum,tungsten)*
- *Copper alloys (aluminium bronze,nibral bronxe, pure copper)*

## 2.4 Nylon 6

*Nylon 6* merupakan plastik yang termasuk dalam golongan termoplastik yang mana jika dipanaskan hingga titik leleh dapat dibentuk kembali. Nylon 6 dibuat dari beberapa rangkaian yang dikaitkan dengan ikatan amida dan sering dikenal dengan istilah *polyamida* (PA). Rumus kimia dari nylon 6 yaitu  $C_6H_{11}NO$ . komposisi ini mengandung 6 atom Karbon, 11 atom hydrogen, 1 atom nitrogen, dan 1 atom oksigen. Densitas untuk material Nylon 6 yaitu 1120-1140 kg/m<sup>3</sup> atau setara dengan 0,00112-0,00114 g/mm<sup>3</sup> (Michael F, 2013).

Temperatur leleh *nylon 6* ini antara 215°C-225 °C, temperatur leleh ini harus sering diperiksa dan dikontrol agar tidak melebihi suhu yang telah direkomendasikan. Pengontrolan temperatur leleh bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat penampilan dan sifat mekanik pada sebuah produk plastik yang dihasilkan (UBE INDUSTRIES.LTD. 2016). Berikut ini adalah data sheet material dari UBE nylon 6 1013, dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Data sheet material nylon 6

PROPERTIES	Test methods	Units	VALUES
Colour	-	-	natural (ivory)/ black
Density	ISO 1183-1	g/cm <sup>3</sup>	1.15
<b>Water absorption:</b>			
- after 24/96 h immersion in water of 23 °C (1)	ISO 62	mg	44 / 83
- at saturation in air of 23 °C / 50 % RH	ISO 62	%	0.65 / 1.22
- at saturation in water of 23 °C	-	%	2.2
- at saturation in water of 23 °C	-	%	6.5
<b>Thermal Properties (2)</b>			
Melting temperature (DSC, 10 °C/min)	ISO 11357-1/-3	°C	215
Glass transition temperature (DSC, 20 °C/min) - (3)	ISO 11357-1/-2	°C	-
Thermal conductivity at 23 °C	-	W/(K.m)	0.29
<b>Coefficient of linear thermal expansion:</b>			
- average value between 23 and 60 °C	-	m/(m.K)	80 x 10 <sup>-6</sup>
- average value between 23 and 100 °C	-	m/(m.K)	90 x 10 <sup>-6</sup>
<b>Temperature of deflection under load:</b>			
- method A: 1.8 MPa	+ ISO 75-1/-2	°C	80
<b>Max. allowable service temperature in air:</b>			
- for short periods (4)	-	°C	170
- continuously : for 5,000 / 20,000 h (5)	-	°C	105 / 90
Min. service temperature (6)	-	°C	-30
<b>Flammability (7):</b>			
- "Oxygen Index"	ISO 4589-1/-2	%	25
- according to UL 94 (3 / 6 mm thickness)	-	-	HB / HB
<b>Mechanical Properties at 23 °C (8)</b>			
<b>Tension test (9):</b>			
- tensile stress at yield / tensile stress at break (10)	+ ISO 527-1/-2	MPa	86 / -
	++ ISO 527-1/-2	MPa	55 / -
- tensile strength (10)	+ ISO 527-1/-2	MPa	88
- tensile strain at yield (10)	+ ISO 527-1/-2	%	5
- tensile strain at break (10)	+ ISO 527-1/-2	%	25
	++ ISO 527-1/-2	%	> 30
- tensile modulus of elasticity (11)	+ ISO 527-1/-2	MPa	3600
	++ ISO 527-1/-2	MPa	1750
<b>Compression test (12):</b>			
- compressive stress at 1 / 2 / 5 % nominal strain (11)	+ ISO 604	MPa	34 / 64 / 93
Charpy impact strength - Unnotched (13)	+ ISO 179-1/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	no break
Charpy impact strength - Notched	+ ISO 179-1/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	3
Ball indentation hardness (14)	+ ISO 2039-1	N/mm <sup>2</sup>	165
Rockwell hardness (14)	+ ISO 2039-2	-	M 88
<b>Electrical Properties at 23 °C</b>			
<b>Electric strength (15)</b>			
	+ IEC 60243-1	kV/mm	25
	++ IEC 60243-1	kV/mm	17
<b>Volume resistivity</b>			
	+ IEC 60093	Ohm.cm	> 10 <sup>14</sup>
	++ IEC 60093	Ohm.cm	> 10 <sup>12</sup>
<b>Surface resistivity</b>			
	+ IEC 60093	Ohm	> 10 <sup>13</sup>
	++ IEC 60093	Ohm	> 10 <sup>12</sup>
<b>Relative permittivity <math>\epsilon_r</math> : - at 100 Hz</b>			
	+ IEC 60250	-	3.6
	++ IEC 60250	-	6.6
<b>- at 1 MHz</b>			
	+ IEC 60250	-	3.2
	++ IEC 60250	-	3.7
<b>Dielectric dissipation factor tan <math>\delta</math> : - at 100 Hz</b>			
	+ IEC 60250	-	0.012
	++ IEC 60250	-	0.14
<b>- at 1 MHz</b>			
	+ IEC 60250	-	0.016
	++ IEC 60250	-	0.05
<b>Comparative tracking index (CTI)</b>			
	+ IEC 60112	-	600
	++ IEC 60112	-	600