

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang titik leleh material plastik *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polypropylene* (PP), dan *nylon 6* sudah banyak dikembangkan. Plastik ABS, PP, dan *nylon 6* banyak digunakan dalam dunia industri dikarenakan material plastik bersifat ringan, mudah dibentuk dan harganya terjangkau. Material plastik dilelehkan dan kemudian dibentuk menjadi berbagai macam benda sesuai dengan *die* (cetakan)

Sibarani dkk., (2018) dalam penelitian tentang perancangan unit ekstruder pada mesin ekstrusi memperoleh hasil perhitungan sebagai berikut: kapasitas *screw* 200 kg/jam, daya motor listrik sebesar 2,0 HP dan putaran sebesar 130 Rpm. Alat ini menggunakan satu buah pemanas, sehingga daya yang dibutuhkan adalah 800 watt untuk menaikkan suhu hingga 250°C. Bahan yang digunakan adalah material jenis *polypropylene*. *Screw* yang digunakan memiliki diameter 4 in.

Mohammed dkk., (2017) dalam penelitiannya menguji potensi daur ulang *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) untuk membuat *filament* untuk percetakan *3D Fused Deposition Modeling* (FDM). ABS dapat di daur ulang dan dapat membentuk *filament* kembali tanpa penambahan ABS murni. Namun terdapat perubahan pada karakteristik polimer sifat mekanik saat uji tarik dan penurunan titik leleh. ABS murni leleh pada temperatur 205°C sedangkan ABS daur ulang leleh pada temperatur 200°C.

Salina dkk., (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan peralatan yang menghasilkan panas seperti setrika, *heat gun*, *hairdryer*, solder, dan lilin menyatakan bahwa plastik jenis *polypropylene* (PP) dapat dipanaskan hingga titik leleh 130° C. Pencampuran plastik *polypropylene* (PP) bening dengan plastik *Low-density Polyethylene* (LDPE) hitam tipis menghasilkan perpaduan yang menarik.

Hu dan Yang, (2000) dalam bukunya tentang material komposit komprehensif menyatakan bahwa *nylon 6* memiliki *melting point* sebesar 214°C. *filament* dari

jenis plastik *nylon 6* memiliki permukaan yang halus. *Nylon 6* memiliki sifat ketahanan yang luar biasa terhadap abrasi.

Sumardi dan Mawardi., (2011) melakukan penelitian membuat filament dengan mesin ekstruder *single screw* dengan daya motor listrik 1,4 HP, pemanasan menggunakan *heater* dengan masing masing mempunyai daya 475 watt dan ukuran die 5 mm. Butiran plastik *polypropylene* (PP) pada temperatur proses ekstrusi 165°C telah mulai membentuk batangan bulat meskipun belum terbentuk sesuai dengan bentuk cetakan. Pada temperatur 180°C *filament* yang dihasilkan telah berbentuk batangan bulat sesuai dengan bentuk *die*. Disimpulkan Temperatur proses ekstrusi untuk plastik jenis *polypropylene* dengan ekstruder *single screw* yaitu pada temperatur 180°C.

Mujiarto., (2005) dalam penelitiannya sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif temperatur leleh *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) pada suhu 180°C-240°C. Temperatur leleh *polypropylene* pada suhu 200°C -300°C. Temperatur leleh *nylon* pada Suhu 260°C -290°C.

Dari beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur leleh plastik berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh alat dan bahan yang digunakan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terhadap mesin ekstruder yang telah dirancang agar menghasilkan *filament* dan untuk mengetahui karakteristik filament dengan berbagai variasi temperature terhadap diameter, densitas dan morfologi dari material plastik *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polypropylene* (PP), dan *nylon 6*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Definisi Mesin Extruder

Extrusion (ekstrusi) adalah proses pembentukan material dengan cara memanaskan material hingga mencapai titik lebur kemudian dialirkan oleh *screw* secara kontinyu, sehingga material keluar dengan bentuk sesuai *die* (bentuk penampang pada cetakan) (Irawan dan Rahayu, 2018).

Mesin ekstruder adalah alat pelebur butiran plastik. Proses kerja mesin ekstruder adalah biji plastik melewati zona pemanasan dalam *barrel* (pipa) didorong oleh *screw* hingga keluar diujung mesin terdapat *die* (cetakan) sebagai bentuk akhir material (Sibarani dkk., 2018).

Mesin ekstruder ini memiliki bagian utama yaitu berupa poros berulir (*screw*) yang berfungsi untuk mendorong dan memberi tekanan terhadap material butiran plastik yang dipanaskan hingga keluar melalui *die* (cetakan).

Pada saat lelehan plastik keluar melalui die akan mengalami pembengkakan (*die swell*) melebihi diameter die. *Die swell* disebabkan oleh dua faktor yaitu relaksasi kecepatan dari aliran leleh dan Relaksasi viskoelastik dari molekul-molekul polimer (Kostic dan Reifschneider, 2006)

Material ABS dan *nylon 6* memiliki sifat higroskopis dan menyerap kelembaban dalam proporsi kelembaban lingkungan. Kadar air yang terdapat pada resin ABS dan *nylon 6* tergantung pada ukuran pellet, bentuk dari resin, kelembaban relatif udara, dan berapa lama waktu penyimpanan resin pada kondisi lembab. Waktu pengeringan yang dianjurkan pada kondisi udara panas pada suhu 80°C selama 3 – 5 jam, atau pada suhu 90°C selama 2 – 4 jam (Toray plastics malaysia, 2017) .

Mesin ekstruder hasil manufaktur ini terdiri dari beberapa komponen utama dan komponen pendukung yaitu:

a. *Screw*

Screw adalah poros yang berulir berfungsi untuk mendorong dan menekan material butiran plastik yang berada didalam *barrel*.

b. *Barrel*

Barrel adalah komponen yang berbentuk pipa berlubang. *barrel* berfungsi sebagai ruang berlangsungnya proses pemanasan material butiran plastik oleh *heater* dan proses pendorongan dan penekanan material butiran plastik oleh *screw*.

c. *die*

Die adalah cetakan yang berada diujung akhir mesin ekstruder berfungsi sebagai pembentuk material plastik yang telah dilelehkan.

d. *Heater*

Heater adalah elemen pemanas yang berfungsi untuk memanaskan material butiran plastik. *Heater* memanaskan *barrel* dari luar sehingga material butiran plastik yang berada di dalam *barrel* meleleh.

e. *Box Temperature control*

Box temperature control adalah sebuah kotak yang berfungsi sebagai tempat komponen-komponen untuk menghidupkan dan mematikan mesin ekstruder dan mengatur temperatur panas pada *heater*.

f. *Gearbox Reduksi*

Gearbox reduksi adalah komponen yang berfungsi untuk mereduksi putaran.

g. Motor Penggerak

Motor penggerak adalah komponen yang berfungsi untuk menggerakkan *gearbox* reduksi kemudian *gearbox* reduksi menggerakkan *screw* sehingga *screw* dapat berputar untuk mendorong dan menekan material butiran plastik.

2.2.2. Plastik

Plastik adalah suatu polimer yang dibentuk dengan penggabungan beberapa molekul sederhana menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah plastik yang jika dipanaskan hingga mencapai temperatur lelehnya akan mencair dan dapat dibentuk kembali. Contoh *thermoplastic* antara lain: *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *Polyethylene (PE)*, *Polystyrene (PS)*, *Polypropylene (PP)*, *Polyethylene Terephthalate (PET)*, *Styrene Acrylonitrile (SAN)*, *Polycarbonate (PC)*, *nylon 6* dan lain lain. *Thermosetting* adalah plastik dalam bentuk padat tidak dapat dicairkan kembali dalam cara dipanaskan. Contoh *thermosetting* antara lain: *Urea Formaldehyde*

(UF), *Polyurethane* (PU), *Melamine Formaldehyde* (MF), *Epoksi*, *Polyester* dan lain lain. (Mujiarto, 2005)

Plastik banyak digunakan untuk berbagai keperluan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga sampai industri. Penggunaan plastik sebagai pengemas pangan dikarena bentuknya yang *fleksibel* sehingga mudah dibentuk mengikuti bentuk pangan yang dikemas, ringan, tidak mudah pecah, bersifat transparan, mudah diberi label, dan dibuat dengan aneka warna, dapat diproduksi massal, harga relatif murah dan terdapat berbagai jenis pilihan bahan dasar plastik.

Untuk memudahkan proses daur ulang plastik, plastik diurutkan ke dalam nilai yang berbeda dengan pemberian kode plastik yang sudah ditetapkan secara internasional. Kode tersebut digunakan pada kemasan plastik sekali pakai (*disposable*), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kode jenis plastik (Shahrudin dkk., 2016)

| Type of plastics | Plastics type marks | Moisture (wt%) | Fixed carbon (wt%) | Volatile (wt%) | Ash (wt%) | Ref. |
|---------------------------------------|---|----------------|--------------------|----------------|--------------|--------------|
| Polyethylene terephthalate (PET) |  | 0.46 0.61 | 7.77 13.17 | 91.75 86.83 | 0.02 0.00 | [9] [10] |
| High-density polyethylene |  | 0.00 0.00 | 0.01 0.03 | 99.81 98.57 | 0.18 1.40 | [11] [10] |
| Polyvinyl chloride (PVC) |  | 0.80 0.74 | 6.30 5.19 | 93.70 94.82 | 0.00 0.00 | [12] [10] |
| Low-density polyethylene |  | 0.30 - | 0.00 - | 99.70 99.60 | 0.00 0.40 | [13] [14] |
| Polypropylene |  | 0.15 0.18 | 1.22 0.16 | 95.08 97.85 | 3.55 1.99 | [15] [10] |
| Polystyrene |  | 0.25 0.30 | 0.12 0.20 | 99.63 99.50 | 0.00 0.00 | [16] [13] |
| Polyethylene (PE) |  | 0.10 | 0.04 | 98.87 | 0.99 | [15] |
| Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) | | 0.00 | 1.12 | 97.88 | 1.01 | [17] |
| Polyamide (PA) or Nylons | | 0.00 | 0.69 | 99.78 | 0.00 | [17] |
| Polybutylene terephthalate (PBT) | | 0.16 | 2.88 | 97.12 | 0.00 | [10] |

2.2.3. Filament Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

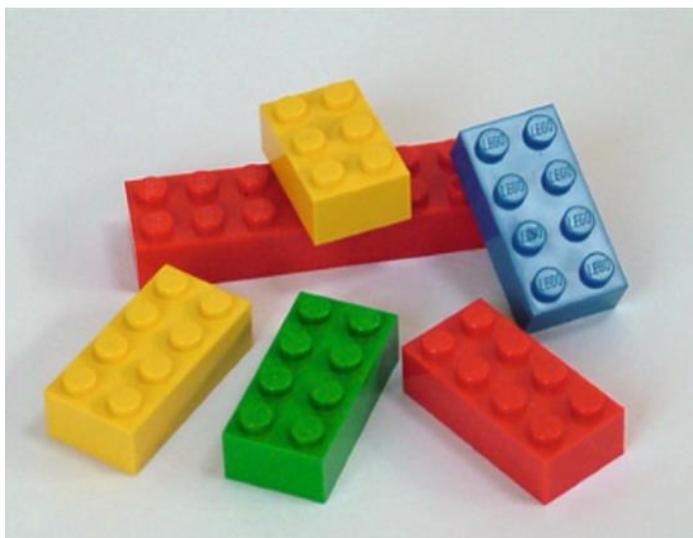
Acrylonitrile butadiene styrene (akrilonitril butadiene stirena, ABS) dengan rumus kimia $C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N$ merupakan jenis *thermoplastic* yang jika dipanaskan hingga mencapai titik leleh material ini dapat dibentuk kembali.

Densitas untuk material ABS yaitu 1010-1210 kg/m³ setara dengan 1,01-1,21 g/cm³ (Michael F, 2013).

ABS memiliki 3 monomer pembentuk yaitu acrylonitrile, butadiene, dan styrene. *Acrylonitrile* memiliki sifat stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimia. *Butadiene* memperkuat sifat ulet dan ketahanan pukul. *Styrene* mudah diproses dan menjamin kekakuan. ABS memiliki beberapa grade, dari kilap tinggi hingga kilap rendah dan dari yang mempunyai kekuatan impact tinggi hingga impact rendah. ABS memiliki beberapa sifat sebagai berikut:

- a. Keras
- b. Kaku
- c. Tahan korosi
- d. Memberi kilap permukaan yang baik
- e. Dapat didesain menjadi berbagai bentuk
- f. Tahan pukul

Contoh benda dalam kehidupan sehari-hari yang terbuat dari material plastik ABS: Korek api gas, body mesin ketik, telepon, tempat kaca spion, rumah rumah lampu, dudukan kloset, bak air, pegangan pintu kulkas, botol, dan galon. (Mujiarto, 2005). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Contoh benda yang terbuat dari plastik ABS (Michael F, 2013).

Tabel 2.2. Data Sheet Material ABS

TORAY
Innovation by Chemistry

ABS Resin
TOYOLAC

TYPICAL PROPERTIES OF TOYOLAC 700 314

| Typical Properties | Test Method | Test Conditions | SI Unit | Typical Value |
|---|-------------|--|----------|------------------------|
| Physical | | | | |
| Specific Gravity | ASTM D792 | | - | 1.05 |
| Water Absorption | ASTM D570 | 23°C x 24 hours | % | 0.3 |
| Mould Shrinkage | ASTM D955 | | % | 0.4 - 0.6 |
| Rheological | | | | |
| Melt Flow Rate | ISO 1133 | 220°C / 10 kg | g/10 min | 25 |
| Mechanical | | | | |
| Tensile stress at yield | ASTM D638 | at 5 mm/min | MPa | 49 |
| Tensile strain at break | ASTM D638 | at 5 mm/min | % | 35 |
| Flexural Strength | ASTM D790 | at 3 mm/min | MPa | 76 |
| Flexural Modulus | ASTM D790 | at 3 mm/min | MPa | 2450 |
| Rockwell Hardness | ASTM D785 | R scale | - | 116 |
| Impact | | | | |
| Izod Impact Strength, notched | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 12.7mm (23°C) | J/m | 196 |
| | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 12.7mm (0°C) | J/m | 108 |
| | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 12.7mm (-30°C) | J/m | 80 |
| Izod Impact Strength, notched | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 3.2mm (23°C) | J/m | 212 |
| | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 3.2mm (0°C) | J/m | 157 |
| | ASTM D256 | 12.7 x 62.5 x 3.2mm (-30°C) | J/m | 118 |
| Thermal | | | | |
| HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 12.7mm | ASTM D648 | 1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ² | °C | 92 |
| HDT (Unannealed) 127 x 12.7 x 6.4mm | ASTM D648 | 1.82 MPa Loading, 18.56 kg/cm ² | °C | 87 |
| Thermal Conductivity | ASTM C177 | | W/K.m | 0.15 |
| Coefficient of Linear Thermal Expansion | ASTM D696 | | mm/mm°C | 7.1 x 10 ⁻⁵ |
| Flammability | | | | |
| Flammability | UL 94 | | - | HB |
| Electrical | | | | |
| Specific Surface Resistivity | ASTM D257 | at 23°C | ohm | >10 ¹⁶ |
| Specific Volume Resistivity | ASTM D257 | at 23°C | ohm.cm | >10 ¹⁶ |
| Dielectric Strength | ASTM D149 | Short Time | KV/mm | 23 |
| Dielectric Constant | ASTM D150 | 1000 Hz | - | 3.1 |
| Power Factor | ASTM D150 | 1000 Hz | - | 6.1 X 10 ⁻³ |

Temperatur leleh ABS ini antara 230°C - 250°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. Berikut ini adalah karakteristik resin data Sheet Material dari ABS toyolac tipe 700-341 dapat dilihat pada Tabel 2.2. (Toray plastics malaysia, 2017).

2.2.4. Filament Polypropylene (PP)

Polypropylene (PP) pertama kali diproduksi secara komersial pada tahun 1958. PP sangat mirip dengan polyethylene (PE). Seperti halnya PE, PP diproduksi dalam jumlah yang sangat besar lebih dari 40 juta ton pertahun pada tahun 2010. Dalam bentuk murni PP mudah terbakar dan terdegradasi dibawah sinar matahari (Michael F, 2013).

Polypropylene (PP) dianggap sebagai salah satu polimer ringan dan paling serbaguna. PP adalah *polyolefin*. Seperti *High density polyethylene* (HDPE), PP memiliki banyak sifat serupa dalam kekuatan dan penghalang. PP sedikit mengalami deformasi pada suhu sedang dan suhu tinggi, tetapi lebih rentan retak dalam kondisi beku. Contoh barang yang terbuat dari plastik Polypropylene antara lain pot bunga, ember dan gelas ukur (Selke dkk., 2001). Salah satu contoh yaitu terdapat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Contoh benda yang terbuat dari plastik PP (Michael F, 2013)

Komposisi kimia dari PP yaitu C_3H_6 . Komposisi ini mengandung 3 atom karbon dan 6 atom hydrogen. PP dapat digunakan dalam berbagai proses seperti *injection molding* dan *extrusion*. Densitas untuk material PP yaitu $890-910 \text{ kg/m}^3$ atau setara dengan $0,89-0,91 \text{ g/cm}^3$. PP biasanya merupakan campuran dari 75% isotactic dan 25% atatic (Michael F, 2013).

Temperatur leleh PP ini antara 220°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. Berikut ini adalah data Sheet Material dari PP dapat dilihat pada Tabel 2.3. (Chandar Asri Petrochemical, 2016).

Tabel 2.3. Data Sheet Material PP



Homopolymer Polypropylene

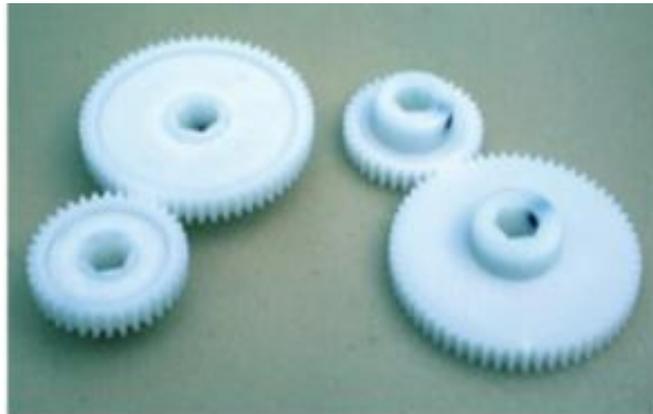
Technical Data Sheet (TDS)

| Physical Properties | Test Method* | Unit | Value |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|-------|
| Melt Flow Rate (230 °C / 2.16 kg) | ASTM D 1238 | g/10 min | 10 |
| Density | ASTM D 792 | g/cm ³ | 0.9 |
| Tensile Yield Strength (@50 mm/min) | ASTM D 638 | MPa | 35 |
| Tensile Yield Elongation | ASTM D 638 | % | 13 |
| Flexural Modulus (@1.3 mm/min) | ASTM D 790A | MPa | 1,500 |
| Notched Izod Impact Strength (@23 °C) | ASTM D 256 | J/m | 30 |
| Hardness, Rockwell | ASTM D 785 | R-Scale | 90 |
| Deflection Temperature (@0.455 MPa) | ASTM D 648 | °C | 104 |
| Vicat Softening Temperature | ASTM D1525B | °C | 152 |
| Melting Temperature | ASTM D 3418 | °C | 163 |

2.2.5. Filament Nylon 6

Nylom 6 merupakan plastik yang termasuk dalam golongan thermoplastik 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 $1120-1140 \text{ kg/m}^3$ atau setara dengan $1,12-1,14 \text{ g/cm}^3$ (Michael F, 2013).

Nylon 6 merupakan nama lain dari *polyamide 6* (PA6) yang dapat dibentuk menjadi serat, *filament* dan lempengan. Secara umum *nylon* memiliki sifat keras, sedikit tembus cahaya, dan berwarna cream. *Nylon 6* biasanya menunjukkan temperatur leleh pada suhu 214° C. *Nylon 6* memiliki ketahanan terhadap abrasi dan memiliki permukaan halus. Penggunaan *nylon 6* dapat kita temukan pada pelampung pada karburator, pelampung tangki bahan bakar, reflector lampu depan, pegangan pisau, dan gear (Hu dkk., 2000). Salah satu contoh terdapat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Contoh benda yang terbuat dari plastik nylon 6 (Michael F, 2013)

Menurut Mckeen (2019) beberapa karakteristik *nylon 6* adalah sebagai berikut:

- a. Keseimbangan sifat mekanik.
- b. Keseimbangan terhadap kadar.
- c. Resistensi kimia dan ketahanan minyak.
- d. Tahan aus dan abrasi.
- e. Tahan panas jangka panjang berkisar antara 80° C-150° C.
- f. Daya tahan rendah terhadap asam dan basa.

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. Berikut ini adalah data sheet material dari UBE nylon 6 1013 dapat dilihat pada Tabel 2.4. (UBE INDUSTRIES.LTD., 2016).

Tabel 2.4. Data sheet material *nylon 6*

| Characteristic | | Unit | Test method | Measured value |
|--------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------|------------------|
| Mechanical Characteristics | | | | |
| Tensile stress at yield | | MPa | ISO 527-1,2 | 85 |
| Tensile strain at break | | % | | 20 |
| Tensile modulus | | GPa | | 3.2 |
| Flexural strength | | MPa | ISO 178 | 110 |
| Flexural modulus | | GPa | | 2.7 |
| Charpy notched impact strength | | kJ/m ² | ISO 179-1/1eA | 5 |
| Rockwell hardness | R.Scale | - | ISO 2039-2 | 120 |
| | M.Scale | | | 80 |
| Thermal Characteristics | | | | |
| Melting temperature | | ° C | ISO 11357 | 215~225 |
| Coeff. of linear thermal expansion | | x10 ⁻⁵ /° C | ISO 11359-2 | 8 |
| Temperature of deflection under load | 0.45 MPa | ° C | ISO 75-1,2 | 175 |
| | 1.8 MPa | ° C | | 66 |
| Electical Characteristics | | | | |
| Volume resistivity | | Ω cm | JIS K6911 | 10 ¹⁵ |
| Electric strength | | kV/mm | IEC 60243-1 | 20 |
| Relative permittivity | | - | IEC 60250 | 3.5 |
| Arc resistance | | s | D-495(ASTM) | 119 |
| C.T.I | | UL index | UL746A | 0 |
| Others | | | | |
| Density | | g/cm ³ | ISO 1183-3 | 1.14 |
| Water absorption | | 23 ° C, 50 %RH | UBE method | 2.7 |
| Molding shrinkage | MD | % | UBE method(30x100x3t) | 1.2 |
| | TD | | | 1.3 |
| Nomenclature according to ISO 1874-1 | | | | PA6, MR, 12-030N |