

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Adeosun, *et al.*, (2013) meneliti tentang sifat fisik dan mekanik komposit *polypropylene* dengan *filler* kalsium karbonat (CaCO_3). Variasi Penambahan CaCO_3 yang digunakan yaitu 10 wt%, 20 wt%, 25 wt%, 30 wt% dan 40 wt%. Komposit dibuat dengan metode *hot press*. Kekuatan mekanik yang diuji yaitu uji tarik dan impak yang mengacu pada standar ASTM D4812. Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai kekuatan mekaniknya akan semakin tinggi dengan semakin besarnya perbandingan kalsium karbonat. Kekuatan mekanik yang paling tinggi diperoleh pada variasi kalsium karbonat 25 wt% dimana nilai uji tarik dan impak adalah 7,5 MPa dan 60 J.

R. C. Dante, *et al.*, (2012) meneliti tentang pengaruh perlakuan *thermal* terhadap sifat mekanik dan fisik nano komposit *polypropylene* (PP) dengan *filler* kalsium karbonat (CaCO_3). Perbandingan kalsium karbonat yang digunakan yaitu 3 wt%, 5 wt% dan 7 wt% berat. Nano komposit *polypropylene* (PP) dengan *filler* kalsium karbonat dibuat dengan menggunakan mesin *injection molding*. Perlakuan suhu *thermal* pada sampel yaitu -10°C hingga 300°C . Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak presentase kalsium karbonat yang digunakan maka kekuatan tarik yang dihasilkan semakin rendah. Kekuatan tarik yang paling optimum dimiliki serat yang mengalami perlakuan suhu *thermal* $162,37^\circ\text{C}$ yaitu 31,06 MPa. Pada uji fisik hasil foto SEM ditunjukkan bahwa ditemukan disperse yang baik pada nano komposit dengan penambah kalsium karbonat sebanyak 3 wt%, tetapi penambah kalsium karbonat pada jumlah yang lebih tinggi, ditemukan penggumpalan nanopartikel dari kalsium karbonat.

Suharty et al. (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh penambah kalsium karbonat terhadap kuat tarik dan impak dari komposit kenaf/PP/CaCO₃. Pada penelitiannya, komposit dibuat dalam beberapa variasi yaitu komposit kenaf/PP tanpa *filler* kalsium karbonat dengan perbandingan 80 : 20 dan komposit dengan *filler* berupa kalsium karbonat pada umumnya, lalu dengan kalsium karbonat berukuran nano dengan perbandingan kenaf/PP/CaCO₃ 65 : 15 : 7. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa penambahan kalsium karbonat kedalam komposit dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dan impaknya, kemudian nilai kekuatan tarik dan impak tertinggi diperoleh oleh komposit kenaf/PP dengan penambahan kalsium karbonat berukuran nano.

Penelitian yang dilakukan oleh Abdul Aziz, et al., (2016), tentang efek komposisi kalsium karbonat (CaCO₃) terhadap sifat fleksural dan morfologi dari komposit kenaf dan gabah sebagai filler dan HDPE sebagai matriks dengan fraksi berat kenaf dan gabah pada komposit kenaf/HDPE dan gabah/HDPE adalah 30 wt.% dan variasi fraksi berat kalsium karbonat (CaCO₃) 10 wt.%, 20 wt.% dan 30 wt.%. Dari uji fleksural, menunjukkan bahwa kekuatan fleksural tertinggi terdapat pada fraksi berat 20 wt.% kalsium karbonat yaitu sebesar 22 MPa dan modulus fleksural sebesar 1369 MPa. Hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya fraksi berat dari kalsium karbonat semakin besar juga kekuatan dan modulus fleksuralnya. Kemudian pada morfologi hasil SEM, ditunjukkan bahwa dispersi yang baik terjadi pada penambah kalsium karbonat sebanyak 20 wt.%.

Nurhasikin (2016), juga meneliti tentang sifat mekanik dari komposit campuran serat alam dengan matrik LDPE untuk mengetahui pengaruh dari penambahan kalsium karbonat (CaCO₃). Variasi komposisi kalsium karbonat yang digunakan adalah 0 - 40 wt.% dan komposit dibuat dengan metode hotpress pada temperatur 160oC. Hasil pengujian tekan dan fleksural menunjukkan bahwa komposisi kalsium karbonat dengan kandungan 15 wt.% memiliki nilai kekuatan tekan dan fleksural paling tinggi yaitu 51.23 MPa dan 1531,30 MPa.

Juntuek, et al, (2016), juga meneliti tentang sifat mekanik komposit serat rumput vetiver, matriks PLA dengan penambahan kalsium karbonat (CaCO₃). Komposit dibuat dengan menggunakan metode compression molding. Fraksi berat kalsium karbonat (CaCO₃) yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 20%. Hasil

uji tarik menunjukkan bahwa pada fraksi berat kalsium karbonat 20% memiliki kekuatan mekanik yang paling tinggi yaitu sebesar 26.14 MPa.

2.1. Dasar Teori

2.2.1. Komposit

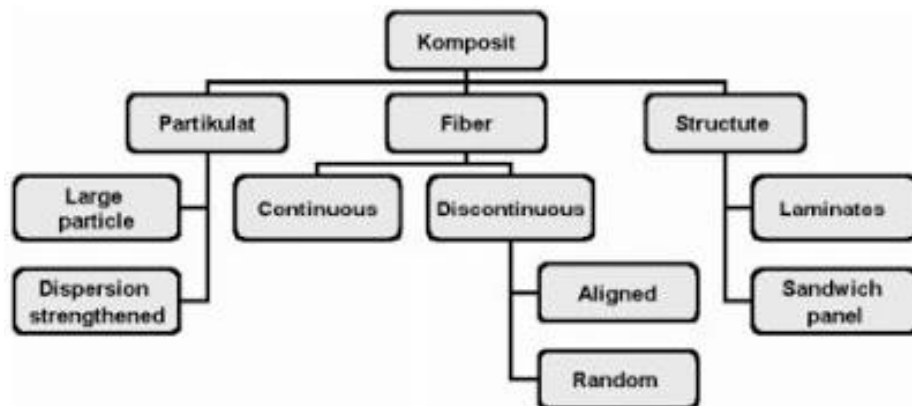
Komposit adalah material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, sehingga menghasilkan material baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Schwartz, 1984). Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya (Handoyo Kus, 2008). Material komposit memiliki beberapa kelebihan, diantaranya material komposit memiliki daya tahan yang cukup baik terhadap lingkungan korosif, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik dan insulasi listrik yang baik, struktur yang ringan serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Namun, komposit juga memiliki kekurangan, seperti sifat kekakuan yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam (Darmansyah, 2010).

Bentuk dasar dari material komposit merupakan satu, yaitu material komposit adalah gabungan dari beberapa material yang bekerjasama untuk memproduksi sifat bahan berbeda dengan menonjolkan karakter khusus dari penyusunnya. Material komposit disusun dari dua bagian utama, yaitu bagian penguat (*reinforcement*) dan bagian pengikat (matriks). Bagian penguat (*reinforcement*) pada komposit umumnya mempunyai sifat kaku dan kuat, namun kurang ulet. Penguat pada komposit berfungsi untuk menopang kuat mekanik komposit, sehingga tingginya kekuatan mekanik komposit tergantung dari jenis penguat yang digunakan. Oleh sebab itu, penguat pada komposit haruslah memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi daripada matriksnya (Porwanto, 2011), penguat pada komposit umumnya berbentuk serat (fiber). Adapun pengikat (matriks) merupakan komponen penyusun komposit yang memiliki fraksi volume terbesar (dominan) di dalam komposit. Matriks umumnya lebih ulet, namun mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah. Matriks pada komposit berfungsi mentransfer tegangan kepada penguat, melindungi penguat,

memisahkan penguat, membentuk ikatan koheren antara permukaan matriks dan penguat, menjaga penguat tetap berada pada posisinya di dalam struktur (Harris, 1999).

2.2.2. Klasifikasi Material Komposit

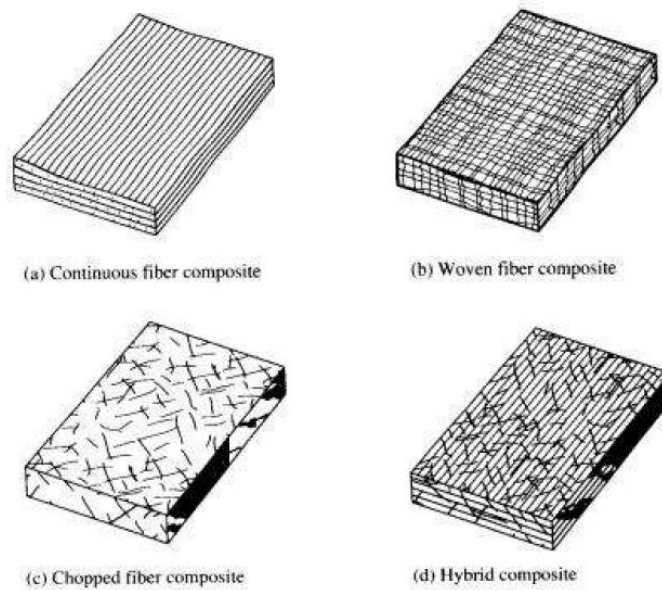
Penguat (*reinforcement*) bagian utama dalam komposit yang berfungsi sebagai penahan beban pada material komposit. Secara garis besar ada 3 macam material komposit berdasar material penguatnya, yaitu komposit serat (*fibrous composite*), komposit laminier (*laminated composite*) dan komposit partikel (*particulate composite*) seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi Material Komposit

2.2.2.1. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)

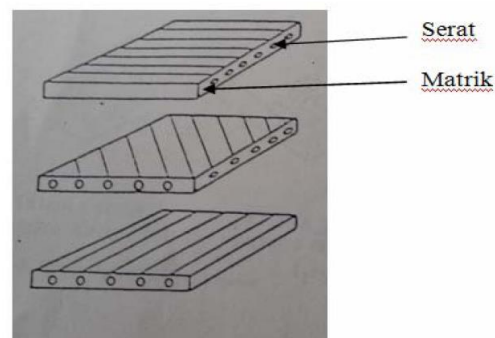
Komposit serat adalah komposit yang tersusun dari serat-serat yang sebagai penguat yang diikat oleh matriks (Gambar 2.1). Bahan komposit serat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu serat anyaman, serat gabungan, serat panjang dan serat pendek. Komposit serat sangat kuat dan kaku sehingga sangat efisien dalam menerima beban dan gaya.



Gambar 2.2. Komposit Serat (Gibson, 1994)

2.2.2.2. Komposit Lamina (*Laminate Composite*)

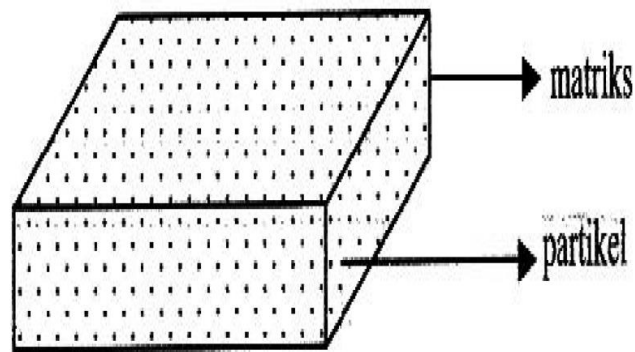
Komposit lamina adalah komposit yang terdiri dari beberapa lamina atau lapisan material yang berbeda yang membentuk elemen struktur pada komposit (Gambar 2.2). Komposit lamina sering digunakan dalam industri karena sifat-sifatnya yang menguntungkan.



Gambar 2.3. Komposit Laminer (Jones, 1975)

2.2.2.3. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit partikel adalah komposit yang tersusun dari partikel-partikel sebagai penguat yang diikat oleh matriks (Gambar 2.3). Bahan komposit partikel dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *large particle* dan *dispersion strengthened particle*. Pada komposit partikel terjadi ikatan yang baik antara partikel dengan matriks sehingga tidak mudah retak.



Gambar 2.4. Komposit Partikel (Gibson, 1994)

2.2.3. *Natural Fiber*

Natural fiber atau serat alam bukanlah serat hasil rekayasa, melainkan serat yang berasal dari alam seperti tumbuh-tumbuhan dan hewan. *Natural fiber* biasanya didapat dari serat tumbuhan atau tanaman seperti tanaman nanas, tanaman sisal, tanaman kenaf serta tanaman. *Natural fiber* juga dapat oleh hewan, contohnya seperti benang sutera yang dihasilkan oleh ulat sutera dan benang wool yang dihasilkan dari bulu domba.

Penelitian serta pengaplikasian *natural fiber* berkembang sangat cepat pada saat ini dikarenakan *natural fiber* memiliki keunggulan yang lebih banyak dibandingkan dengan serat hasil rekayasa, *natural fiber* memiliki keunggulan seperti murah, mudah didapat, ringan dan ramah lingkungan. Saat ini *natural fiber* telah digunakan dalam berbagai bidang kehidupan manusia, seperti halnya serat buatan, *natural fiber* dapat digunakan sebagai pengganti dari serat buatan.

Dalam dunia otomotif di Indonesia, penggunaan serat alam telah berkembang dengan sangat pesat dan diaplikasikan untuk bahan tambahan dalam fabrikasi dekorasi interior mobil maupun kebutuhan yang lainnya. Dalam hal ini membuat persaingan dalam dunia otomotif antara satu produsen dengan produsen lainnya menjadi sangat bersaing dalam memodifikasi bahan baku yang ada ketika fabrikasi kendaraan bermotor.

a) Serat kenaf



Gambar 2.5. Tanaman Kenaf

(<http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id>)

Kenaf berasal dari bahasa Persia yang artinya lenan atau tali, yang telah dikenal sebagai serat dari tanaman *Hibiscus cannabinus* (Mauersberger, 1954). Tanaman kenaf berasal dari Afrika dan telah ditanam sejak lebih dari seribu tahun yang lalu untuk makanan dan serat. Tanaman ini tumbuh liar pada daerah tropis dan subtropis di Afrika dan Asia (LeMahieu, *et al.*, 1991).

Serat kenaf mempunyai mempunyai kandungan selulosa sebanyak 72%, hemiselulosa 20,3%, lignin 9%, sedangkan untuk sifat mekanik, serat kenaf mempunyai *tensile strength* sebesar 450 MPa, Modulus Young sebesar 53 GPa, dan regangan sebesar 1,6% (John & Anandiwala, 2008).

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Serat Alam

Fiber	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
OPEFB	0.7-1.55	248	3.2	2.5
Flax	1.4	88-1500	60-80	1.2-1.6
Hemp	1.48	550-900	70	1.6
Jute	1.46	400-800	10-30	1.8
Ramie	1.5	500	44	2
Coir	1.25	220	6	15-25
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Abaca	1.5	980	-	-
Cotton	1.51	400	12	3-10
Kenaf (bast)	1.2	295-1191	-	2.7-6.9
Kenaf (core)	0.21	-	-	-
Bagasse	1.2	20-290	19.7-27.1	1.1
Henequen	1.4	430-580	-	3-4.7
Pineapple	1.5	170-1672	82	1-3
Banana	1.35	355	33.8	53

Sumber : Jawaid, et al, 2011

2.2.4. Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Sejak tahun 1983 pemakaian kalsium karbonat (CaCO₃) terus meningkat sejalan dengan perkembangan industri, diantaranya industri kosmetik, pasta gigi, ban, sepatu karet dan industri yang lain. Kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan sejenis garam kalsium yang dapat ditemukan pada batu pualam dan batu kapur, yang juga komponen utama pada kulit telur (Soine, 1961). Karakteristik yang dimiliki kalsium karbonat yaitu berbentuk serbuk yang berwarna putih, tidak berbau dan berasa. Kalsium karbonat (CaCO₃) pula tidak larut dalam air, namun dapat larut dalam asam nitrat dengan membentuk gelembung gas (Ditjen POM, 1995).



Gambar 2.6. Kalsium Karbonat

(<https://www.vns-mineral.com>)

kalsium karbonat (CaCO_3) juga banyak diproduksi oleh produsen khusus penyalur kalsium karbonat. Biasanya produsen tersebut melampirkan *Material Safety Data Sheet* (MSDS) yang berisi tentang informasi fisik seperti dibawah ini:

- Berat molekul : 100,09 gr/mol
- Massa jenis : 2,8 gr/cm
- Titik lebur : 825 °C
- Berbentuk kristal atau serbuk
- Tidak berwarna atau putih
- Tidak berbau dan tidak berasa (Anonim, 2012).

Selain itu, kalsium karbonat juga memiliki beberapa sifat fisika antara lain kalsium karbonat terjadi dalam dua bentuk yaitu heksagonal kristal yang dikenalebagai kalsit, dan bentuk ortorombik sebagai aragonit. Kalsit terurai padapemanasan di 825 °C, aragonit meleleh pada 1339 °C (102.5 di atm). Densitas 2.71 g/cm³ untuk kalsit dan 2.83 g/cm³ untuk aragonit; larut dalam air (15mg/L pada 25 °C); K_{sp} 4.8x10⁻⁹; larut dalam asam mineral encer (Patnaik, 2003).

Tabel 2.2 Karakteristik Kalsium Karbonat

Molecular Formula	CaCO_3
molecular weight (g/mol)	100.0809
Specific Gravity	2,71
Mohs' hardness	3
decomposition T°(C)	From 875

Sumber : <http://www.calcium-carbonate.org.uk/calcium-carbonate.asp>

2.2.5. Matriks

Matrik dalam komposit berfungsi sebagai pengikat serat agar beban yang diterima oleh komposit dapat langsung diteruskan kepada serat. Komposit diklasifikasikan menjadi matriksnya, yaitu :

1. *Polymer Matrix Composit* (PMC)

Thermoplastic dan *thermoset* merupakan polimer yang sering digunakan. *Thermoplastic* merupakan plastik yang bisa dilelehkan berkali-kali (*recycle*) melalui proses pemanasan. *Thermoplastic* juga dapat menjadi keras apabila didinginkan. Contoh-contoh dari *thermoplastic* seperti nylon 66, poliester, PET, PP, PTFE, PES, dan PEEK. Berbeda dengan *thermoplastic*, *thermoset* tidak bisa mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila pengerasan telah terjadi sekali, maka bahan tersebut tidak bisa dilelehkan kembali. Pemanasan pada suhu tinggi tidak bisa melelehkan material *thermoset* tetapi membuatnya menjadi arang dan hancur. Beberapa contoh dari material *thermoset* yaitu bismaleimida, poli-imida dan epoksi.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Metal matrix composites merupakan jenis komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya. Material MMC dikembangkan dari tahun 1996 hingga saat ini. Pada awalnya yang diteliti adalah *continous filamen* MMC dan diaplikasikan pada penerbangan dan *aerospace*.

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

CMC adalah material yang memiliki 2 fasa, fasa yang pertama digunakan sebagai penguat dan fasa yang kedua digunakan sebagai matriks yang terbuat dari material keramik. penguat yang sering dipakai pada CMC adalah carbide, nitrid dan oksida. Proses pembuatan dari CMC yaitu pembentukan material komposit melalui reaksi oksidasi peleburan material logam untuk mengembangkan *matriks* keramik disekitar area *filler*.

2.2.6. Polimer

Asal kata dari Polimer yaitu *poly* yang memiliki arti banyak dan juga kata *meros* yang artinya adalah bagian, sehingga polimer memiliki arti yaitu rantai panjang berulang dari atom yang terbentuk dari pengikat yang berupa molekul-

molekul identic yang disebut monomer. Polimer berasal dari hidrokarbon, dimana atom karbon sebagai tulang punggung dalam rantai ikatan kimianya.

Resin merupakan salah satu jenis polimer anorganik yang seringkali digunakan untuk pembuatan struktur, dikarenakan resin memiliki banyak sifat mekanik yang tidak begitu baik bila dibandingkan dengan logam, akan tetapi resin memiliki kemampuan untuk mudah dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan.

Jenis resin polypropylene yang jika digabungkan dengan serat reinforcement atau penguat maka sifat yang lainnya akan dapat terpenuhi. Matrik yaitu resin berfungsi untuk menyalurkan beban yang digunakan pada komposit, melindungi serat dari kerusakan dan sifat dari resin yaitu mudah untuk dibentuk, kekakuannya yang tinggi dan berat jenis yang rendah sehingga akan menghasilkan komposit dengan kualitas yang lebih baik.

Berdasarkan sifat-sifat polimer dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Thermoplastic Polimer*

Polimer Thermoplastic merupakan polimer yang dapat dibentuk kembali (*recycleable*) melalui proses pemanasan dan kembali menjadi keras apabila didinginkan Contoh: *Polyvinyl Chloride, Polyethylene* dan *Polieter Sulfon*.

2. *Thermoset Polimer*

Polimer Thermoset merupakan polimer yang tidak dapat dibentuk kembali apabila sudah mengalami proses pemanasan. Contoh: *Epoksida, Bismalaimida* dan *Poli-imida*.

3. Elastomer

Elastomer adalah polimer yang bisa berubah kembali ke bentuk permulaannya ketika tegangan yang diberikan kepadanya hilang.

2.2.7. Polypropylene

Polypropylene(PP) merupakan salah satu polimer termoplastik yang diproduksi oleh industri kimia dan diaplikasikan dalam berbagai hal dalam industri dan kehidupan sehari-hari, beberapa contoh diantaranya adalah tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dankarpet), pengemasan, berbagai tipe wadah terpakaian

ulang serta bagian plastik, alat tulis, pengeras suara, perlengkapan laboratorium, komponen otomotif, dan uang kertas polimer (Hartono, 2012).



Gambar 2.7. Butiran Polypropylene

(<https://www.repsol.energy/en/>)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Polypropylene mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain.

Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi ($190 - 200^{\circ}\text{C}$), sedangkan titik kristalisasinya antara $130 - 135^{\circ}\text{C}$. Untuk temperatur proses polypropylene rata-rata $200^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$. Polypropylene mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah (Imam, 2005). Sifat-sifat yang lain dari polypropylene antara lain sebagai berikut:

- a. lebih tahan panas
- b. keras, flexible, dapat tembus cahaya
- c. ketahanan kimianya bagus

Polypropylene dapat diproses dengan berbagai macam metode, antara lain *injection moulding*, *ekstrusi* dan *blow moulding*. *Injection moulding* menghasilkan produk-produk dalam bentuk profil, seperti *cap*, tutup botol dan *cup of ice cream*. *Blow moulding* menghasilkan produk berlubang seperti botol dan galon air minum

Tabel 2.3. Karakteristik Polypropylene HI10HO

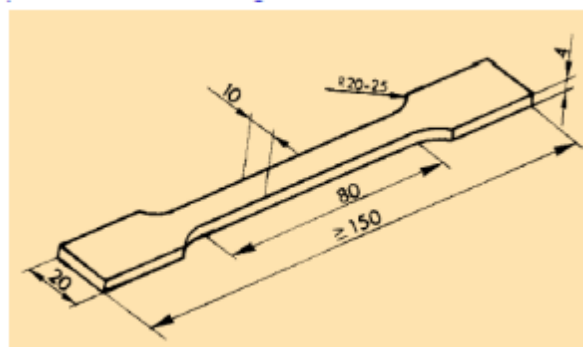
Physical Properties	Test Method*	Unit	Value
Melt Flow Rate (230 C / 2.16 kg)	ASTM D 1238	g/10 min	10
Density	ASTM D 792	g/cm ³	0.903
Tensile Strength @Yield @ 50 mm / min	ASTM D 638	MPa	34
Elongation @Yield	ASTM D 638	%	13
Flexural Modulus (1% secant) @ 1.3 mm / min	ASTM D 790A	MPa	1280
Notched Izod Impact Strength @ 23 °C	ASTM D 256	J/m	35
Hardness, Rockwell	ASTM D 785	R Scale	100
Deflection Temperature @ 0.455 MPa (4.64 kg/cm ²)	ASTM D 648	°C	104
Vicat Softening Temperature	ASTM D 1525B	°C	152
Melting Temperature DSC, 10 ^o C/min, 2 nd heat)	ASTM D 3418	°C	163

*) Polypropylene tested per ASTM D 4101

Conversion : 1 MPa = 10.2 kgf/cm²
1 kJ/m² = 0.01 kgf.cm/mm²

Sumber : PT Chandra Asri Petrochemical Tbk

2.2.8. Spesimen *Multipurpose*



Gambar 2.8. Bentuk dan ukuran spesimen *multipurpose*

Sumber : Standar ISO 294-1

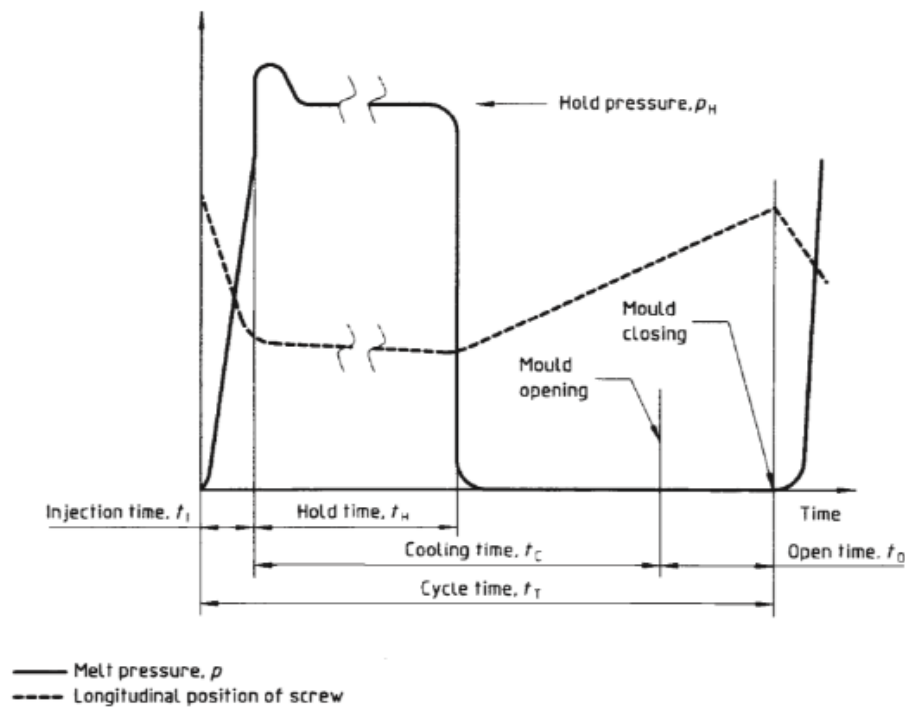
Spesimen *multipurpose* yang umum digunakan dalam berbagai pengujian-pengujian bidang teknik. Penelitian ini menggunakan standart ISO 294-1 (2012), dimensi meliputi :

Panjang bentang : 150 mm

Panjang *gauge* : 80 mm

Lebar : 10 mm

Tebal : 4 mm



Gambar 2.9. Diagram waktu proses pembuatan spesimen *multipurpose*

Sumber : (Standar ISO 294, 2012)

Keterangan :

(t_i) menunjukkan waktu mulai *injection*, mesin sudah beroperasi dan terjadi proses injeksi dari material yang sudah leleh ke cetakan. (t_H) menunjukkan waktu *holding*, dimana *cavity* dan *core* diberi tekanan untuk menahan setelah proses injeksi. Tekanan saat *holding* mempengaruhi kondisi spesimen, apabila tekanan *holding* rendah maka spesimen cenderung terjadi *flashing* atau material plastik keluar dari *parting line* dalam jumlah sedikit.

Saat proses *holding*, berlangsung juga proses *cooling* (t_c) yang berada di cetakan. Proses *cooling* berguna untuk mendinginkan cetakan dan mengeraskan produk. Setelah proses *cooling* cetakan terbuka dan spesimen dapat diambil manual oleh operator atau dengan lengan robot. Kemudian cetakan tertutup memulai proses injeksi kembali. Penjelasan diatas merupakan siklus waktu (t_T) yang terjadi dalam pembuatan spesimen *multipurpose* menggunakan mesin *injection molding*.

2.2.9. *Plastic Injection Molding*

Plastic Injection Molding (PIM) merupakan salah satu metode fabrikasi atau proses produksi yang seringkali menjadi pilihan utama yang diaplikasikan untuk memproduksi bagian-bagian komponen berukuran kecil dan memiliki bentuk yang rumit, biaya yang dikeluarkan pun menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan metode-metode lain yang sering digunakan (Boses, 1995).

John Wesley Hyatt pada tahun 1868 untuk pertama kalinya mengenalkan teknik *Plastic Injection Molding*, proses injeksi dilakukan dengan menekan celluloid yang panas kepada cetakan, untuk membuat bola billiar. Lalu dengan bersama saudara perempuannya yaitu Isaiiah, mereka menggunakan hak patennya pada mesin *plastic injection molding* untuk membuat mesin penyedot debu pada tahun 1872. Ketika Tahun 1946 James Hendri pada kali pertamanya membuat sebuah mesin *screw injection mold* pada mesin *plastic injection molding* yang membuat perubahan besar pada industri plastik dan 95 % mesin *plastic injection molding* pada saat ini mengikuti teknik ini, untuk menghasilkan efisiensi campuran, panas dan injeksi cairan plastik ke dalam cetakan. (Anif Jamaludin, 2007).

Mesin *plastic injection molding* memiliki kemampuan untuk memproses material dengan tingkat ketelitian yang tinggi pada material yang dihasilkan dibandingkan dengan metode-metode lainnya. Pada proses fabrikasinya, mesin PIM mampu menghasilkan benda dengan bentuk yang rumit dalam jumlah banyak dan sedikit sekalipun. Diantara keunggulan *plastic injection molding* adalah kemampuannya untuk mengkombinasikan dan memanfaatkan keunggulan teknologi seperti kemampuan memfabrikasi bahan polimer, akurasi ketika pencetakan dalam molding dan tidak ada batasan dalam memilih bahan. Barang-barang yang telah diproduksi melalui teknologi *plastic injection molding* saat ini seringkali digunakan dalam dunia industri misalnya listrik, otomotif, computer, peralatan rumah tangga dan masih banyak lagi.

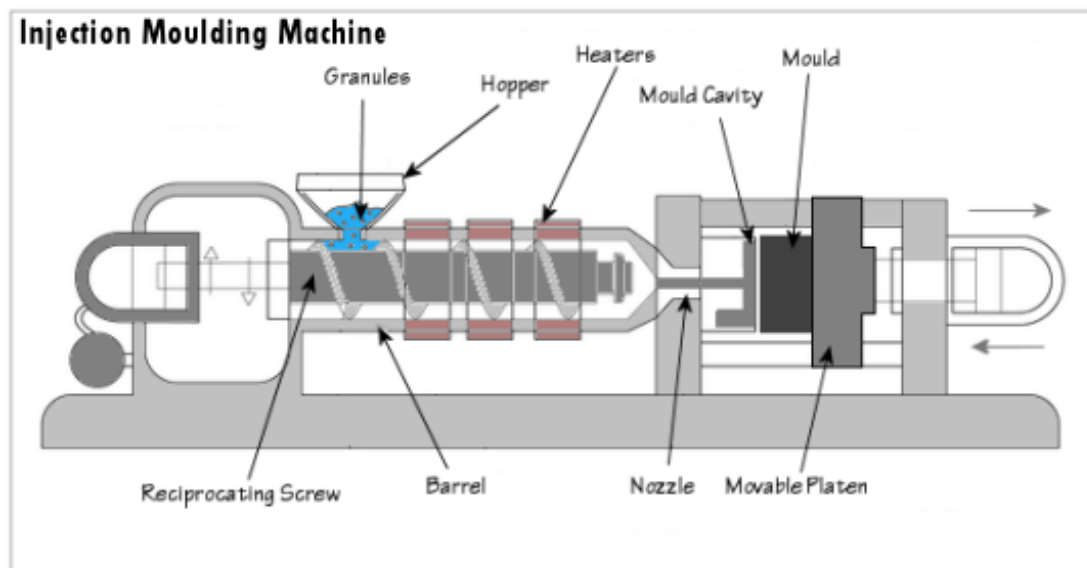
Barang-barang yang diproduksi melalui teknologi *Plastic Injection Moulding* saat ini banyak diaplikasikan didalam industri kimia, penerbangan, otomotif, komputer, kedokteran, listrik dan militer. Misalnya spakbor, pesawat telepon,

keyboard, mouse, rumah lampu mobil, dashboard, reflektor, helm, sisir, roda furnitur, casing telepon seluler, dan lainnya

Pada gambar 2.10 menunjukkan serangkaian langkah kerja, dimulai dari pemasukan *plastic granule* kedalam *hopper*, setelah itu menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan material leleh yang telah dipanasi oleh *barrel* menuju *nozzle*. Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak ini akan terus didorong/ ditekan melalui *nozzle* dengan injektor dan melewati *sprue* ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup.

Umumnya siklus proses *injection moulding* adalah sebagai berikut:

1. Cetakan menutup (*Mould Closing*);
2. Injeksi material ke dalam cetakan (*injection*);
3. Menekan material dalam waktu tertentu (*holding pressure*);
4. Pendinginan material plastik di dalam cetakan (*cooling*); Bersamaan dengan pendinginan, terjadi pengisian material plastik dalam barel (*plasticizing*), screw mundur (dekompresi), kemudian barel mundur;
5. Cetakan membuka (*Mould Opening*);
6. Ejektor mendorong mould;
7. Ejektor mundur (produk turun), setelah itu kembali lagi ke langkah awal.



Gambar 2.10. Mesin *Plastic Injection Molding*

(<https://www.engineerstudent.co.uk>)

Langkah kerja pada proses *injection molding* adalah sebagai berikut:

1. Material yang berupa biji plastik dimasukkan kedalam *hopper*. Karena akibat dari gaya gravitasi maka biji plastik akan turun dengan sendirinya masuk ke dalam rongga ulir pada *screw*.
2. *Screw* tersebut bergerak mundur dan berputar berlawanan arah jarum jam membawa butiran-butiran biji plastik ke *barrel* untuk dipanasi hingga biji plastik meleleh.
3. Bila *screw* mundur hingga mencapai batas yang telah ditentukan, maka *screw* akan berhenti berputar dan bergerak maju untuk mendorong biji plastik yang sudah meleleh masuk ke dalam mould melalui *nozzle* (proses injeksi).
4. Setelah melakukan penginjeksian, *screw* akan berhenti untuk melakukan *holding pressure* dan setelah itu terjadi proses pendinginan pada cetakan.
5. Setelah proses pendinginan pada cetakan selesai, kemudian *screw* akan mundur secara otomatis untuk pengisian pada *barrel*. Disaat yang sama *clamping unit* bergerak membuka cetakan dan produk yang telah terbentuk dikeluarkan oleh *ejector* yang telah terpakai di dalam *mould* (*full automatic*). Bila sistem *ejectorsemiautomatic* maka *ejector* mendorong produk tetapi tidak sampai keluar dari *mould*, diperlukan tenaga operator untuk mengeluarkan produk.
6. Setelah produk keluar dari mould, maka *clamping unit* akan menutup cetakan dan *screw* melakukan penginjeksian lagi seperti pada langkah awal.

2.2.10. Parameter Proses *Injection Molding*

Untuk mendapatkan hasil produk molding dengan *quality* hasil yang optimum, haruslahmen-*setting* beberapa macam parameter yang sangat mempengaruhi berjalannya proses fabrikasi mesin tersebut. Parameter yang ada pada mesin *injection molding* dari suatu proses fabrikasi tentu ada yang berperan sedikit juga adayang memiliki peran yang sangat signifikan dalam mempengaruhi hasil fabrikasi yangdiinginkan. Seringkali orang harus melakukan berkali-kali percobaan sehinggadidapatkan parameter yang dapat berpengaruh kepada produkakhir benda dari molding. (Firdaus, 2002)

Ada beberapa parameter yang memengaruhi proses fabrikasi plastik dengan metode *plastic injection molding* yaitu:

- Temperatur leleh (melt temperature)

merupakan titik batas temperatur saat material plastik mulai melebur jika diberikan panas.

- Batas tekanan (pressure limit)

Merupakan titik batas tekanan udara yang harus diberikan agar dapat menggerakkan piston untuk menekan material plastik yang sudah melebur. Tekanan yang terlalu rendah, kemungkinan besar material plastik yang telah melebur tidak akan keluar dari nozzle menuju cetakan. Akan tetapi bila tekanan yang sangat tinggi bisa mengakibatkan material plastik tersebur berlebihan kedalam cetakan dan hal ini mengakibatkan proses fabrikasi menjadi tidak efisien.

- Waktu tahan (holding time)

Merupakan waktu yang telah ditetapkan sejak saat temperatur leleh yang diatur sudah dicapai sehingga semua material plastik yang terdapat didalam barrel sudah benar-benar telah meleleh. Hal ini disebabkan diperlukannya waktu untuk panas agar dapat merambat ke seluruh bagian dari barrel mesin injection molding. Apabila waktu tahan yang ditetapkan terlalu cepat akan membuat sebagian dari material plastik yang ada didalam barrel belum melebur seluruhnya, yang akan membuat sulit jalannya aliran material plastik dari dalam nozzle menuju barrel.

- Waktu penekanan (holding pressure)

Merupakan durasi lamanya waktu yang dibutuhkan agar dapat memberikan tekanan pada piston yang menekan material plastik yang sudah melebur. Setting waktu penekanan memiliki tujuan untuk memastikan bila material plastik sudah benar-benar mengisi penuh kedalam molding. Oleh sebab itu, waktu penekanan sangatlah bergantung pada besar dan kecil dari dimensi molding. semakin besar ukuran molding maka semakin lama pula waktu yang diperlukan untuk penekan.

- Temperatur cetakan (mold temperature)

adalah temperatur pemanasan awal molding sebelum dituangi material plastik yang meleleh.

- Kecepatan injeksi (injection rate)

adalah kecepatan laju material plastik yang sudah melebur keluar dari nozzle menuju kedalam molding. Pada mesin plastic injection molding tertentu kecepatan injeksi dapat diukur, akan tetapi untuk mesin plastic injection molding yang sederhana seringkali tidak memiliki pengukur kecepatan ini.

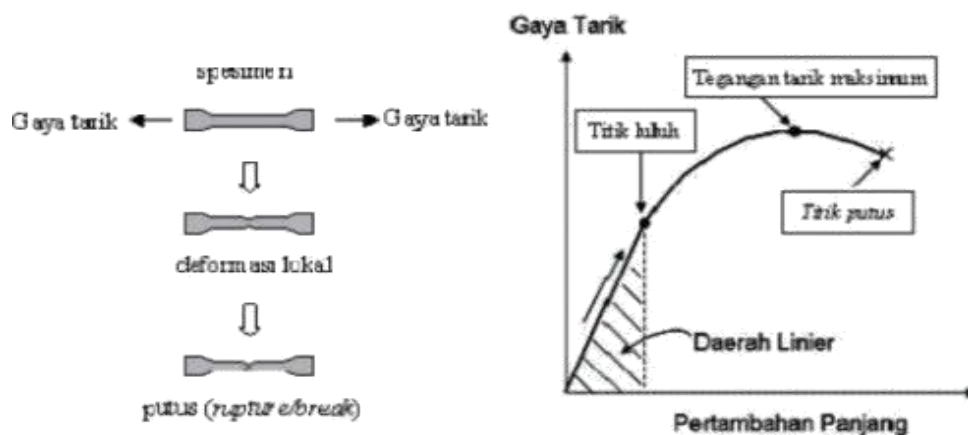
- Ketebalan dinding cetakan (wall thickness)

Menyangkut desain secara keseluruhan dari molding. Semakin tebal dinding molding, maka semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya cacat shrinkage.

2.2.11. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah metode pengujian material yang paling dasar. Pengujian tarik ini sangat sederhana dan sudah menjadi standar pengujian di seluruh dunia. Prosedur pengujiannya adalah dengan menarik suatu material yang telah diprepakan, maka akan segera diketahui reaksi bahan tersebut terhadap tarikan dan sejauh mana material yang diuji tersebut bertambah ukuran panjangnya. Pengujian harus menggunakan Alat yang memiliki cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi.

Ada banyak hal yang dapat diperoleh melalui hasil pengujian tarik, jika suatu material terus ditarik hingga putus, maka akan didapatkan profil hasil uji tarik lengkap berbentuk kurva seperti halnya pada Gambar 2.9. yang menunjukkan hubungan antara gaya tarik dengan pertambahan panjang yang terjadi.



Gambar 2.11. Spesimen dan Kurva Pengujian Tarik

(<https://air.eng.ui.ac.id>)

Tabel 2.4. Kecepatan uji kuat tarik (standar ISO 527-1a)

Speed mm/min	Tolerance %
1	± 20 ¹⁾
2	± 20 ¹⁾
5	± 20
10	± 20
20	± 10
50	± 10
100	± 10
200	± 10
500	± 10

1) These tolerances are smaller than those indicated in ISO 5893.

Seringkali yang menjadi perhatian dalam pengujian tarik ialah kemampuan maksimum material tersebut ketika menahan beban uji. Kemampuan itu sering disebut "*Ultimate Tensile Strength*" yang disingkat dengan nama UTS, yang bila diterjemahkan kedalam bahasa Indonesia yaitu tegangan tarik maksimum.

A. Hukum Hooke

Pada material komposit saat pengujian tarik, hubungan yang terjadi beban diberikan kepada material uji, selalu berbanding lurus dengan pertambahan panjang material uji tersebut. Hal ini disebut sebagai daerah linier. Pada daerah ini, kurva pertambahan panjang dan beban selalu mengikuti aturan hukum Hooke sebagai berikut:

Nilai tegangan dengan regangan pada uji tarik selalu konstan. Tegangan adalah nilai besarnya beban yang diberikan dibagi dengan luas penampang bahan, lalu regangan adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\sigma = F/A$$

$$\varepsilon = \Delta L/L$$

Keterangan:

F	: gaya tarikan (N)	Σ	: <i>stress</i> /tegangan (N/ m ²)
A	: luas penampang (m ²)	E	: <i>strain</i> /regangan
ΔL	: pertambahan panjang (m)	L	: panjang awal (m)

Hubungan antara tegangan dan regangan dirumuskan:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

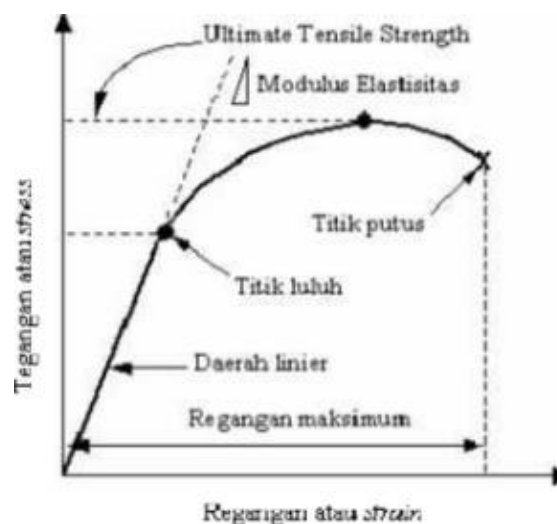
Keterangan:

E : Modulus Elastisitas (N/ m²)

σ : tegangan (N/ m²)

ε : regangan

Agar mempermudah pembahasan tentang tegangan dan regangan, maka Gambar 2.10 sedikit dimodifikasi pada hubungan yang terjadi antara gaya tarik dan pertambahan panjang, menjadi hubungan antara nilai tegangan dan regangan. Selanjutnya didapatkan Gambar 2.11 yang merupakan kurva standar saat dilakukan eksperimen pengujian tarik. Huruf *E* merupakan gradien kurva didalam area linier, di mana tegangan (σ) dan regangan (ε) memiliki perbandingan yang selalu tetap. *E* dinamakan dengan “*Modulus Elastisitas*” atau “*Young Modulus*”. Hubungan yang terjadi antarategangan dan regangan seperti ini seringkali disebut dengan kurva SS (*SS curve*) atau strain stress curve.

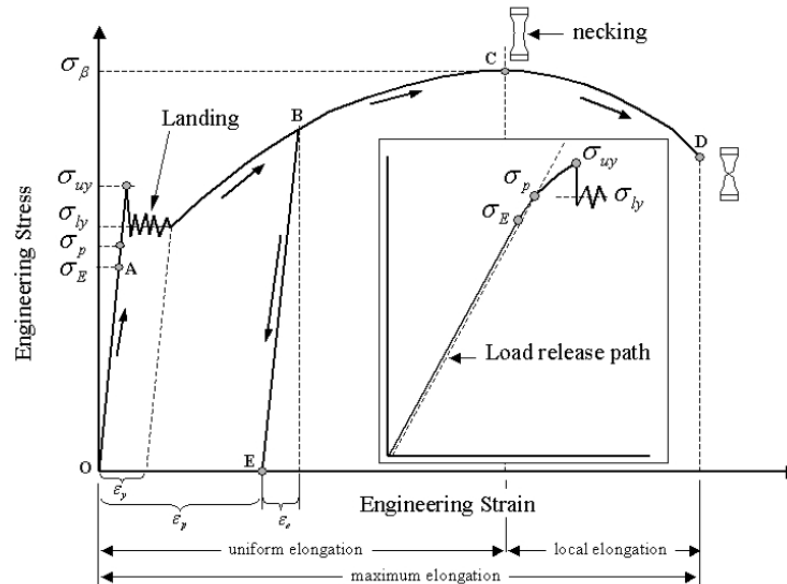


Gambar 2.12. Kurva SS (*Strain Stress Curve*)

(<https://air.eng.ui.ac.id>)

B. Detail profil uji tarik dan sifat mekanik komposit

Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian tarik, dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.13. Data Grafik Hasil Uji Tarik

(<https://air.eng.ui.ac.id>)

Pembahasan istilah tentang sifat-sifat mekanis material harus berpedoman kepada hasil dari pengujian tarik, yang terlihat pada Gambar 2.11. Dapat pula diasumsikan bahwa pengujian tarik dimulai dari titik O sampai dengan titik D sesuai dengan arah anak panah yang terdapat dalam gambar.

1. Batas elastis σ_E (elastic limit)

Pada Gambar 2.11 ditetapkan dengan titik A. Jika sebuah material diberi beban uji hingga ke titik A, lalu beban ujinya dihilangkan, yang terjadi adalah material tersebut akan segera kembali kepada kondisi awal atau regangan sama dengan nol yang ada pada titik O. Namun apabila material ditarik sampai melewati batas titik A, maka hukum Hooke tidak bisa lagi digunakan (tidak berlaku) dan terjadinya perubahan permanen dari material. Adanya konvensi batas regangan permanen sehingga masih dapat disebut sebagai perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, akan tetapi sebagian sumber mengatakan 0.005%, namun tidak ada standarisasi yang universal tentang nilai-nilai ini.

2. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik batas yang di mana penerapan dari hukum Hooke masih bisa digunakan dan tidak ada standarisasi tentang nilai-nilai ini. Saat prakteknya, seringkali batas proporsional selalu sama dengan batas elastis.

3. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Adalah perubahan bentuk dari suatu material yang tidak dapat kembali ke bentuk semula. Pada Gambar 2.11 apabila material ditarik hingga melewati batas proporsionalnya dan mencapai daerah *landing*.

4. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah *landing* peralihan deformasi elastis ke plastis.

5. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

6. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

7. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

8. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

9. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

10. Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)

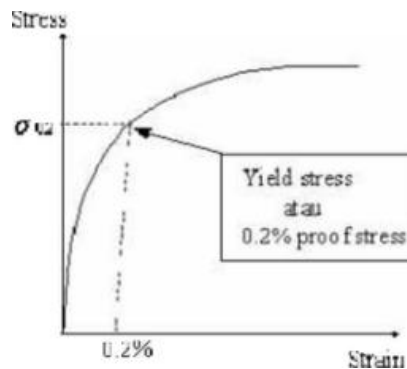
Pada Gambar 2.11 ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

11. Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada Gambar 2.11 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

C. Tegangan luluh pada data tanpa batas jelas antara perubahan elastis dan plastis

Pada hasil pengujian tarik yang tidak adanya area linier dan area landing yang jelas, tegangan luluh dapat didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain* (Gambar 2.12).



Gambar 2.14. Penentuan *yield stress* untuk kurva tanpa daerah linier, (<https://air.eng.ui.ac.id>)

Perlu untuk diingat bahwa satuan SI untuk tegangan (*stress*) adalah Pa (Pascal, N/m^2) dan strain adalah besaran tanpa satuan.

D. Istilah-istilah lain

1. Kelenturan (*ductility*)

Adalah sifat mekanik suatu material yang menunjukkan besar kecilnya deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu material putus atau gagal pada pengujian tarik. Bahan dapat disebut lentur apabila nilai dari regangan plastis yang terjadi ketika sebelum material putus lebih dari 5%, namun apabila kurang dari itu maka suatu material disebut getas (*brittle*).

2. Derajat kelentingan (*resilience*)

Derajat kelentingan diartikan sebagai kapasitas suatu material dapat menerima sejumlah besar energi dalam fase perubahan elastis dan sering juga

disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dalam satuan *strainenergy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa). Dalam Gambar 2.11, modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas area yang diarsir.

3. Derajat ketangguhan (*toughness*)

Merupakan kapasitas suatu bahan dapat menerima sejumlah energi pada fasa plastis hingga material tersebut putus. Sering pula disebut dengan Modulus Ketangguhan (*modulus of toughness*). Dalam Gambar 2.11, modulus ketangguhan adalah luas area dibawah kurva OABCD.

4. Pengerasan regang (*strain hardening*)

Sifat kebanyakan material yang dicirikan dengan naiknya nilai tegangan yang berbanding regangan ketika setelah memasuki fasa plastis.

5. Tegangan sejati, regangan sejati (*true stress, true strain*)

Didalam beberapa kejadian pengertian dari tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas sebelumnya tidak bisa dipakai. Oleh karena itu dipakailah definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan yang berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

2.2.12. Mikroskop Optik



Gambar 2.15. Mikroskop Optik

Mikroskop merupakan salah satu alat bantu yang biasa digunakan untuk mengamati objek berukuran sangat kecil dengan cara memperbesar bayangan objek hingga berkali – kali lipat, bayangan objek yang diamati dapat diperbesar 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali. Perbesaran yang mampu dijangkau semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Bagian - bagian dari mikroskop optik secara lebih lengkap terdapat pada Gambar 2.15. Bagian yang paling penting dalam sebuah mikroskop terdapat pada lensa okuler (*eyepiece*) dan lensa objektif.