

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan pustaka

Saat ini penggunaan komposit sudah banyak digunakan dalam kehidupan manusia, seperti peralatan rumah tangga, *furniture*, biomedis, dan otomotif. Penggunaan produk berbahan kaca, besi, dan kayu mulai digantikan dengan yang berbahan dasar plastik, karena harga yang lebih terjangkau dan waktu pakai yang lebih lama (Firdaus, 2002).

Material komposit terdiri dari matrik dan *filler*. Penggunaan *polypropylene* sebagai matrik mulai dilirik oleh industri otomotif karena elastis, ringan, dan harganya terjangkau. Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu pengisi komposit yang umum digunakan karena mudah ditemukan dan harganya yang terjangkau. Penggunaan komposit *polypropylene* dengan *filler* CaCO_3 dalam produk otomotif sudah dilakukan, seperti *dashboard* pada mobil (Thenepalli T. dkk, 2015).

Adeosun dkk, (2013) melakukan penelitian tentang *polypropylene* dengan penambahan *filler* CaCO_3 dengan variasi kandungannya 0- 40 % menggunakan metode *hot press*, dalam penelitian yang dilakukan nilai tegangan tarik dari kandungan 25% CaCO_3 mengalami kenaikan nilai *Ultimate Tensile Stress* mencapai 84% sebesar 7,5 MPa, tetapi semakin banyak kandungan CaCO_3 membuat penurunan pada ketahanan impaknya, pada 25% CaCO_3 penurunan ketahanan impak mencapai 12%.

Fikri dkk, (2017) telah melakukan penelitian sifat mekanis komposit *polypropylene/ CaCO₃* dengan perbandingan 5, 15, dan 25% dan dilakukan uji kuat tarik dan impak. Penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa penambahan *filler* CaCO_3 mempengaruhi sifat mekanis komposit tersebut, semakin banyak penambahan *filler* CaCO_3 membuat semakin getas. Hasil yang didapat untuk kuat tarik tertinggi pada penambahan 15% CaCO_3 yaitu 24,59 MPa , modulus elastisitas dan *impact strength* tertinggi pada penambahan 5% yaitu 242,169 MPa dan 160,03 J/cm². Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi standar pakai dalam bidang otomotif.

Fu S.F. dkk, (2007) melakukan penelitian tentang efek ukuran partikel dan penambahan volume partikel pada sifat mekanis komposit. Dalam penelitian yang dilakukan yaitu komposit PP/CaCO₃ dengan kandungan 10% dengan ukuran partikel 21 nm dan 39 nm. Semakin kecil partikel akan semakin tinggi nilai mekanisnya.

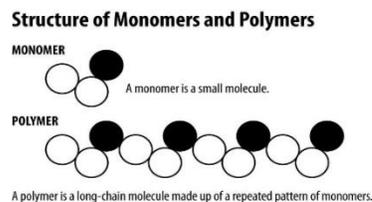
Buasri dkk, (2012) melakukan penelitian nano komposit PP/CaCO₃ menggunakan ukuran CaCO₃ 40 nm dengan variasi presentase volume CaCO₃ 3%, 5%, dan 7%. Dari penelitian yang dilakukan mendapatkan nilai kekerasan terendah pada PP murni 66,7 Shore D dan tertinggi pada PP/CaCO₃ 7% 70,3 Shore D.

Penelitian komposit *polypropylene*/CaCO₃ dari beberapa peneliti sudah banyak dilaporkan, namun penelitian tentang komposit polypropylene menggunakan filler CaCO₃ dengan perbandingan mikropartikel belum dilaporkan. Maka perlu dilakukannya penelitian tentang komposit *polypropylene*/CaCO₃ dengan variasi perbandingan ukuran partikel untuk mengetahui nilai optimal pada setiap variasi. Diharapkan komposit PP/CaCO₃ dengan variasi mikropartikel yang akan digunakan dalam bidang otomotif merupakan komposit yang lebih unggul dibandingkan dengan komposit PP/CaCO₃ tanpa variasi mikropartikel

2.2. Dasar teori

2.2.1. Pengertian *Polymer*

Polymer berasal dari bahasa Yunani, yaitu *poly* dan *meros* yang artinya banyak dan unit atau bagian. Maka, *polymer* dapat didefinisikan suatu makromolekul yang terdiri dari *monomer* molekul- molekul terkecil, pengertian lain menjelaskan *polymer* merupakan senyawa kimia atau senyawa campuran yang terbentuk dari proses polimerisasi seperti Gambar 2.1



Gambar 2.1. Struktur dari *monomer* dan *polymer* (www.quora.com)

Polymer dibedakan menjadi dua yaitu, *polymer* alam dan *polymer* campuran atau senyawa kimia. Ada banyak *polymer* alam contohnya selulosa dan karet.

2.2.2. *Polypropylene*

Polypropylene (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. *Polypropylene* berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Data *sheet polypropylene* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data *polypropylene* HI10HO (lides, 2012)

| <i>Physical</i> | <i>Nominal</i> |
|-------------------------------|-----------------------------|
| <i>Specific gravity</i> | 0.903 g/cm ³ |
| <i>Melt mass-flow rate</i> | (230° C/2 16kg) 10g/ 10 min |
| <i>Injection molding</i> | |
| <i>Processing (Melt) Temp</i> | 220 to 250 °C |
| <i>Mold Temperature</i> | 22.0 TO 40.0 °C |

Secara industri, polimerisasi *polypropylene* dilakukan dengan menggunakan katalis koordinasi. *Polypropylene* memiliki sifat tahan terhadap pelarut kimia, asam, dan basa, selain itu bahan *polypropylene* juga dapat di daur- ulang dan symbol daur ulang nomor “5” seperti terlampir pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Simbol daur ulang *polypropylene*

2.2.3. Keunggulan Polypropylene

Polypropylene memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu, mudah dalam pengolahannya, tahan terhadap penyerapan air dan ketahanan kimia yang baik sebagai pelarut. Namun untuk pengaplikasian dibidang rekayasa termoplastik masih terbatas penggunaannya karena memiliki tingkat susut yang tinggi dan temperatur *polypropylene* yang rendah (DeBoest JF, 1988).

2.2.4. Aplikasi Polypropylene

Aplikasi *polypropylene* HI10HO dalam bidang manufaktur misalnya: material *polypropylene* diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti wadah minuman botol, interior mobil, kotak makan, komponen otomotif, loudspeaker.

2.3. Kalsium karbonat (CaCO₃)

2.3.1. Pengertian dan aplikasi kalsium karbonat

Kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan mineral yang berlimpah, jumlahnya mencapai 5% dari hasil keseluruhan kerak bumi. Senyawa ini merupakan bahan yang umum dijumpai pada batu disemua belahan bumi. Merupakan komponen utama cangkang organisme laut, siput, bola arang, mutiara, dan kulit telur. Digunakan sebagai pengisi fungsional, pigmen pelapis untuk kertas, karet, plastik, perekat, dan cat. Kalsium karbonat dalam tiga bentuk polimorf : kalsit, aragonite, dan vaterite (Thenepalli T. dkk, 2015). Data sheet kalsium karbonat ditunjukkan pada Tabel 2.2. Dalam industri kalsium karbonat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan pasta gigi dan obat anti asam lambung.

Tabel 2.2. Data Kalsium Karbonat (CaCO₃) (Thenepalli T. dkk, 2015)

| Properties | Calcite | | Aragonite (Orthorhombic) | GCC | |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------------|-------------|------------------|
| | Rhombohedral | Scalenohedral | | Fine ground | Ultrafine ground |
| Solubility product (K _{sp}) | | 3.36×10 ⁻⁹ | 6×10 ⁻⁹ | | |
| Density (g/cm ³) | | 2.71 | 2.93 | | |
| Hardness (Mohs scale) | 3.0 | 3.0 | 3.5-4 | 3 | 3 |
| Refractive index | 1.58 | 1.58 | 1.63 | 1.58 | 1.58 |
| Coordination number | | 6 | 9 | | |
| Specific gravity | 2.71 | 2.71 | 2.92 | 2.71 | 2.71 |
| TAPPI brightness | 99 | 99 | 99 | 95 | 95 |
| Surface area (m ² /g) | 6-8 | 9-15 | 9-13 | 5-7 | 10-12 |
| Particle size ² | - | 2 | | | |
| +5 μm (%) | 99 | 45 | | | |
| -2 μm (%) | 0.7 | 1.0-3.0 | 0 | | |
| Mean (μm) | | | | | |

Kalsium karbonat bersifat *hygroscopic* yaitu dapat menyerap molekul air. Untuk mengetahui kandungan air pada serbuk kalsium karbonat dilakukan pengovenan secara berkala untuk mencari nilai kadar air yang terkandung di dalamnya. Pengovenan dilakukan secara bertahap lalu di timbang sampai berat kalsium karbonat tidak mengalami perubahan.

2.3.2. Definisi *mesh*

Mesh adalah ukuran dari jumlah lubang suatu jaring atau kasa pada luasan 1 inch persegi jaring atau kasa yang bisa dilalui oleh material padat. *Mesh* 200 memiliki arti terdapat 200 lubang pada bidang jaring atau kasa seluas 1 *inch*, demikian seterusnya. Ukuran *mesh* banyak digunakan pada proses penepungan atau penghalusan suatu bahan padatan, yang sebelum dihaluskan memiliki ukuran yang lebih besar.

2.3.3. Spesimen *multipurpose*

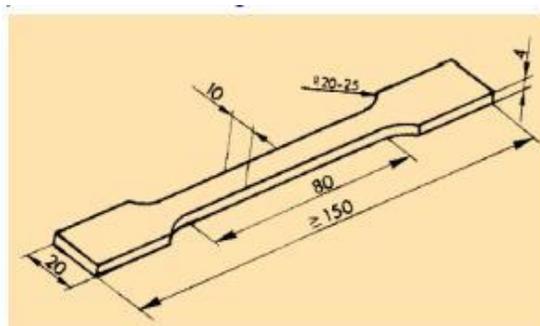
Spesimen *multipurpose* yang umum digunakan dalam berbagai pengujian-pengujian bidang teknik. Penelitian yang dilakukan menggunakan standar ISO 294-1 (2012) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, dimensi meliputi:

Panjang bentang : 150 mm

Panjang gauge : 80 mm

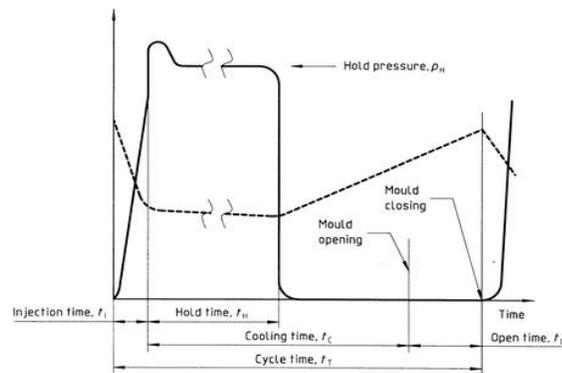
Lebar : 20 mm

Tebal : 4 mm



Gambar 2.3. Bentuk dan ukuran spesimen *multipurpose*

(standart ISO 294,. 2012)



Gambar 2.4. Diagram waktu proses pembuatan spesimen *multipurpose*

(standar ISO 294, 2012)

Keterangan :

(*t_i*) menunjukkan waktu mulai *injection* ditunjukkan pada Gambar 2.4, mesin sudah mulai beroperasi dan terjadi proses injeksi dari material yang sudah leleh ke cetakan. (*t_H*) menunjukkan waktu holding, dimana pada *cavity* dan *core* diberi tekanan untuk menahan setelah proses injeksi terjadi. Tekanan saat *holding* mempengaruhi kondisi spesimen, apabila tekanannya rendah maka spesimen cenderung terjadi *flashing* atau material plastik keluar dalam parting line dalam jumlah sedikit.

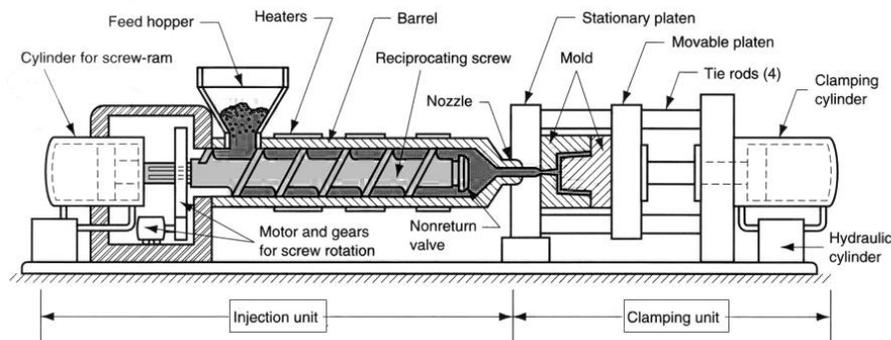
Saat proses *holding*, berlangsung juga proses *cooling* yang berada di dalam cetakan, pada proses ini berfungsi sebagai pendingin cetakan dan mengeraskan spesimen pada saat cetakan dialiri material, setelah proses *cooling* selesai cetakan akan terbuka dan spesimen bisa diambil secara manual atau otomatis dengan bantuan lengan robot, setelah itu cetakan kembali tertutup untuk proses injeksi kembali. Pada penjelasan diatas merupakan siklus waktu yang terjadi pada pembuatan spesimen *multipurpose* menggunakan mesin *injection molding* (international standar ISO 294, 2012).

2.4. Injection molding

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh plunger kedalam cetakan kemudian pada cetakan terjadi proses cooling yang membuat material mengeras. Secara umum injection molding adalah proses pembentukan benda atau produk dari bahan plastik yang dipanaskan lalu setelah meleleh diinjeksikan kedalam cetakan atau *mold*.

2.4.1. Bagian- bagian mesin *injection molding*

Pada mesin *injection molding* terdiri dari dua bagian besar yaitu *clamping* dan bagian *inject*, pada bagian *clamping* terdapat komponen yang terdiri dari *mold* (cetakan, *operation door*, dan *clam*, pada bagian *inject* terdapat juga komponen lain terdiri dari *barrel*, *hopper*, *mold (cavity)* dan *nozzle*, *screw*. Seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Bagian- bagian mesin *injection molding*

2.4.2. Fungsi bagian- bagian mesin *injection molding*

Adapun fungsi dari bagian –bagian dari mesin *injection molding* adalah :

a. Motor dan *Transmission Gear Unit*

Bagian ini berfungsi sebagai penghasil daya untuk memutar *screw*, sedangkan transmisi unit berfungsi sebagai pemindah daya dari putaran motor ke putaran *screw*, dan sebagai pengatur tenaga yang disalurkan supaya tidak terjadi pembebanan terlalu besar.

b. *Cylinder for Screw Ram*

Pada bagian ini berfungsi untuk menjaga putaran *screw* agar tetap konstan pada saat proses *injection* berlangsung.

c. *Hopper*

Hopper adalah tempat penampungan material plastik sebelum masuk kedalam barrel, selain itu *hopper* juga berfungsi untuk menjaga kelembapan material plastik, sehingga saat produk plastik diinjeksikan tidak terdapat kandungan air pada udara karena dapat menyebabkan cacat pada produk plastik saat diinjeksikan.

d. *Barrel*

Barrel adalah tempat dimana material plastik cair ditampung sebelum diinjeksikan, didalam *cylinder barrel* terdapat heter sebagai pemanas dan juga *screw*, temperature pada *barrel* dapat diubah sesuai material plastik yang akan digunakan pada saat proses *injection molding*.

e. *Screw*

Screw berfungsi untuk mencampur dan membawa material polimer dari *hopper* menuju ke *nozzle*, *screw* pada *barrel* dibagi menjadi tiga bagian yaitu, bagian pengisi (metering), bagian kompresi dan bagian pengumpan (*feeding*).

f. *Non return valve*

Velve berfungsi sebagai penghambat cairan plastik kembali ke *barrel* saat *screw* berhenti, *velve* akan terbuka saat pengisian material terjadi untuk proses injeksi selanjutnya.

g. *Nozzle*

Nozzel berfungsi sebagai penahan kebocoran atau sealing cairan plastik dan juga sebagai penghubung antara *mold* dengan injeksi unit.

h. *Mold unit*

Mold unit merupakan bagian yang terpenting pada mesin injeksi, *mold* merupakan cetakan yang digunakan untuk membuat sebuah produk, bentuk dari sebuah produk dan ukuran yang akan dibuat tergantung dari cetakan atau *mold* pada proses injeksi. untuk *mold* dengan bentuk sederhana memiliki standar *mold* yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6, meliputi :

- *Sprue dan runner system*

Bagian ini berfungsi sebagai penerima plastik dari *nozzle*, setelah itu oleh *runner* akan dimasukkan ke dalam *cavity mold*.

- *Cavity side*

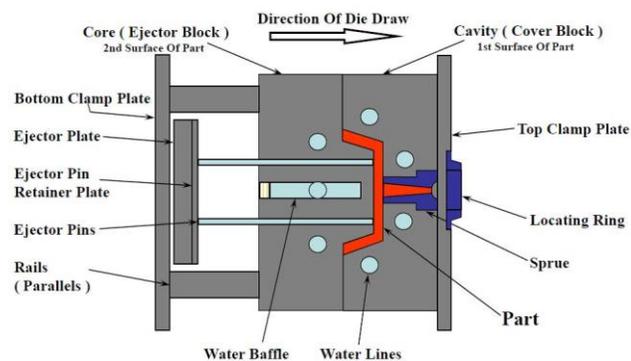
Cavity side adalah bagian dari salah satu sisi yang merupakan cetakan dari bentuk plastik, *cavity side* terletak pada *stationary plate*.

- *Core side*

Bagian ini juga berfungsi sebagai pencetak produk plastik, bedanya letak *core side* berada pada *moving plate*, dan pada bagian ini yang dihubungkan dengan *ejector* untuk melepas produk plastik.

- *Ejector system*

Ejector system merupakan alat untuk melepas sebuah produk plastik pada *mold*.



Gambar 2.6. Mold unit

2.5. Pengujian kuat tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari sebuah bahan uji terhadap gaya tarik. Pada pengujian kuat tarik mengacu pada standar ISO 527-1a-2012 yang sesuai dengan jenis material dan dimensi spesimen *multipurpose*.

2.5.1. Tegangan tarik (σ)

Besarnya tegangan tarik dari material *polypropylene* dengan CaCO_3 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan Tarik (MPa)

F = Beban tarik maksimal (N)

A = Luas penampang (mm^2)

2.5.2. Modulus Elastisitas (E)

Besarnya modulus elastisitas dari material *polypropylene* dengan CaCO_3 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3 :

$$E = \frac{\Delta F}{A} \Delta \varepsilon \dots\dots\dots(2.2)$$

$$E = \frac{\Delta F}{\left(\frac{L_1 - L_2}{L_0}\right) \times A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- ΔF = Perubahan gaya (N)
- $\Delta \varepsilon$ = Perubahan panjang (mm)
- ΔL_1 = Perubahan panjang awal (mm)
- ΔL_2 = Perubahan panjang akhir (mm)
- A = Luas penampang (mm^2)

2.5.3. Regangan

Besarnya nilai regangan dari material *polypropylene* dengan *filler* CaCO_3 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- ε = Regangan
- ΔL_0 = Perubahan panjang total (mm)
- L_0 = Panjang awal (mm)

2.5.4. Parameter kecepatan pengujian kuat tarik.

Dalam pengujian kuat tarik sesuai dengan standar ISO 527-1a, pengaturan pada kecepatan saat pengujian kuat tarik harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap waktu dan regangannya. Kecepatan yang dipakai saat melakukan pengujian ini adalah 50mm/ min karena tingkat ketelitiannya yang tinggi dan sesuai dengan standar pada ISO 527-1a. (Sahin dkk, 2005) melakukan penelitian tentang *polypropylene* untuk

mencarai parameter mekanis uji tarik menggunakan standar ISO 527-1a dengan kecepatan 50mm/min. Kecepatan yang berbeda berpengaruh pada saat pengujian terutama pada regangan yang ditunjukkan. Pada Tabel 2.3 menunjukkan kecepatan uji tarik standar ISO 527-1a.

Tabel 2.3. Kecepatan uji kuat tarik (standar ISO 527-1a)

| <i>Speed</i> (mm/min) | <i>Tolerance</i> (%) |
|--------------------------|-------------------------|
| 1 | $\pm 20^{1)}$ |
| 2 | $\pm 20^{1)}$ |
| 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*

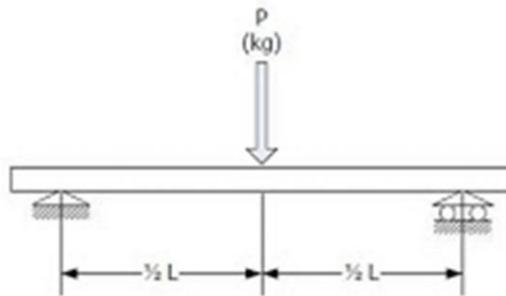
2.6. Pengujian *Bending*

Pengujian lengkung (*bending*) merupakan salah satu uji mekanik bahan, pengujian *bending* atau proses pelengkungan merupakan uji pembebanan dari suatu bahan yang di bebani pada titik tengahnya membentuk lengkungan (*bending*) dan ditahan diatas dua tumpuan. Penggunaan metode 3 *point bending* seperti pada Gambar 2.7 karena mengacu pada standar uji *bending* ISO 178:2010.

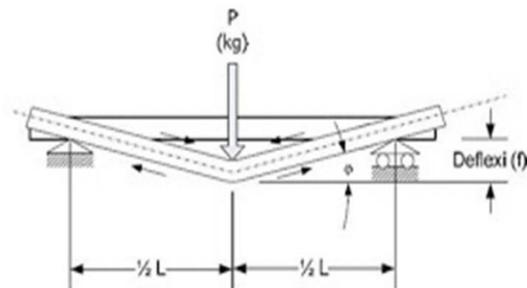
Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yaitu:

1. Kekuatan atau tegangan lengkung (σ)
2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang terbentuk dari lenturan atau defleksi
3. Elastisitas (E)

Pada pengujian pada bagian atas mengalami proses penekanan pada spesimen dan bagian bawah mengalami proses tarik sehingga akibatnya spesimen mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik.



Gambar 2.7. Penampang uji *bending* (Isdiyanto S., 2017)



Gambar 2.8. Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji
(Isdiyanto S., 2017)

Semua bahan yang dilakukan pengujian akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) secara bertahap dari elastis menjadi plastis dan akhirnya rusak atau patah. Dalam proses uji *bending* dilakukan pembebanan lengkung dimana dua gaya bekerja dengan jarak tertentu ($L/2$) serta arah yang berlawanan berkerja secara bersamaan dan membuat spesimen uji mendapatkan beban kearah bawah (lihat gambar 2.8).

Untuk mendapatkan angka kekuatan dari pengujian *bending* digunakan persamaan berikut :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \left[1 + 6 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 4 \left(\frac{d}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right) \right] \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

σ_b = tegangan *bending* (MPa)

P = gaya pembebanan (N)

L = jarak antar tumpuan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

D = defleksi maksimum (mm)

Keterangan :

Pada persamaan 2.5 digunakan jika perbandingan $L/d \leq 16$, dimana L adalah *support span* dan (d) adalah tebal spesimen. Pada persamaan 2.6 digunakan jika nilai perbandingan $L/d > 16$.

Untuk mendapatkan nilai regangan *bending* digunakan persamaan berikut :

$$\varepsilon_b = \frac{6Dd}{L^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

ε_b = regangan (mm/mm)

D = defleksi maksimum (mm)

L = panjang span (mm)

d = tebal (mm)

untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas *bending* digunakan persamaan seperti berikut :

$$E_b = \frac{L^3 m}{4bd^3} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

E_b = modulus elastisitas *bending* (MPa)

L = panjang span (mm)

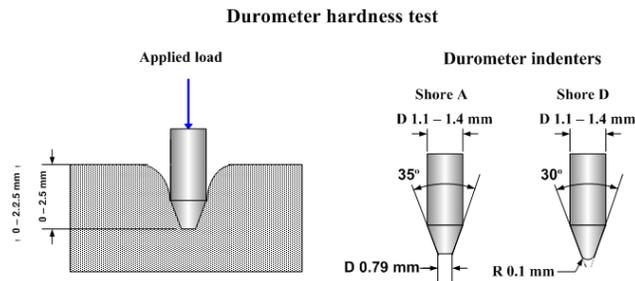
b = lebar spesimen (mm)

d = tebal spesimen (mm)

m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

2.7. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian material untuk mengetahui ketahanan terhadap perubahan bentuk (*deformasi*) plastis yang terlokalisasi. *Shore Hardness Tester* merupakan alat yang dirancang untuk mengukur kekerasan pada material plastik, pipa, dan karet. Pada pengujian kekerasan dengan alat *Shore Hardness Tester* dibagi menjadi dua metode tergantung bahan yang digunakan yaitu sangat lunak dan lunak. Metode *Shore A* (konus terpancung) digunakan untuk material yang sangat lunak sedangkan *Shore D* (konus runcing) digunakan untuk material yang lebih keras (lihat Gambar 2.9 dibawah).



Gambar 2.9. Durometer *hardness test* Shore D dan Shore A

(www.subtech.com)

2.8. Microscope Optic Digital



Gambar 2. 10.Microscope Digital USB

Mikroskop digital adalah variasi dari mikroskop optik tradisional yang menggunakan optik dan *charge coupled device* (CCD) kamera ke *output* gambar digital yang disambungkan ke monitor, atau dengan menggunakan perangkat lunak yang berjalan pada komputer. Sebuah mikroskop digital berbeda dengan mikroskop optik yang ketentuannya untuk mengamati sampel secara langsung melalui sebuah lensa mata. Karena gambar diproyeksikan langsung pada kamera CCD, seluruh sistem ini dirancang untuk gambar monitor. Bagian-bagian Mikroskop Digital USB ditunjukkan pada Gambar 2.10.

- a. *LED Switch*, untuk mengatur pencahayaan terang atau redup.
- b. *LED Light*, lampu mikroskop.
- c. *Zoom Button*, tombol untuk memperbesar pengelihatian mikroskop.
- d. *Snap Button*, tombol untuk mengambil gambar.
- e. *Focus Wheel*, untuk mengatur fokus gambar.

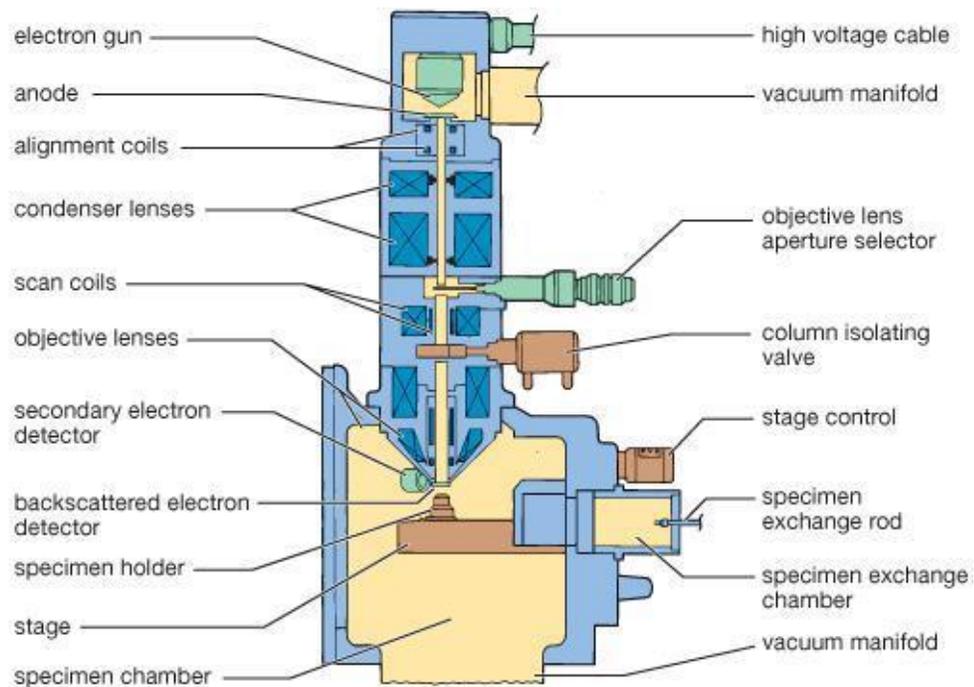
2.9. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Bagian-bagian SEM ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut (Farikhin, 2016) :

- a. *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten hairpin gun dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

- b. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- c. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- d. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.



Gambar 2. 11. bagian SEM