

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KOMPOSIT

Komposit (Composite), berasal dari kata kerja “tocompose“ yang berarti menyusun atau menggabung, jadi secara sederhana komposit adalah penggabungan dari dua atau lebih material yang berbeda sebagai suatu kombinasi yang menyatu (Nurmaulita 2010). Material komposit pada dasarnya terdiri dari dua penyusun yaitu penguat (reinforced) dan matriks (binder). Material penguat (reinforced) komposit dapat berupa serat atau partikel sedangkan matriksnya dapat berupa polimer, logam dan sebagainya (Mukhammad, 2010).

Menurut Jones (1999) komposit adalah gabungan antara dua atau lebih material dalam skala *macroscopic* untuk membentuk material baru yang lebihbermutu. Pencampuran kedua material yang berbeda sifat tersebut diharapkan dapat memberikan material yang lebih unggul dari material sebelumnya. Komponen komposit terdiri atas penguat dan matrik. Menurut (Sirait, 2010) material komposit memiliki sifat yang lebih bagus daripada logam, material komposit ini memiliki sifat kekuatan yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis modulus *Young density* yang lebih tinggi dari pada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi. Menurut (Jones, 1975) kombinasi dari dua atau lebih bahan pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Komposit dan *alloy* / paduan memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga tidak kelihatan lagi. Jadi dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu :

a. Matriks

Matriks berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung *filler* (pengisi) dari kerusakan *eksternal*. Matriks yang umum digunakan yaitu polimer.

Matriks dalam penelitian spesimen komposit ini menggunakan HDPE (*High Density Polyethylene*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Serbuk HDPE

Matriks merupakan bahan dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks biasanya bersifat lebih ulet, kurang keras, dan berkarakter kontinyu. Matriks sebagai pengikat serat dan menyalurkan beban pada serat. Serat ditambahkan ke matriks dalam bentuk tertentu. Serat biasanya memiliki sifat lebih kuat daripada matriks (Surdia, 1999).

Sifat-sifat matriks menurut (Ellyawan, 2008) :

- a. Sifat mekanis yang baik.
- b. Kekuatan ikatan yang baik.
- c. Ketangguhan yang baik.
- d. Tahan terhadap temperatur.

Menurut Gibson (1994) mengatakan bahwa matriks dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik.

Matriks secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Matriks memiliki fungsi:

1. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur
2. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan
3. Mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat
4. Menyumbangkan beberapa sifat seperti, kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik.

Menurut Diharjo dan Triyono (1999), bahan matrik yang sering digunakan dalam komposit antara lain :

1. Polimer.

Polimer merupakan bahan matriks yang paling sering digunakan. Adapun jenis polimer yaitu:

- Thermoset, adalah plastik atau resin yang tidak bisa berubah karena panas (tidak bisa di daur ulang). Misalnya: *epoxy, polyester, phenolic*.
- Termoplastik, adalah plastik atau resin yang dapat dilunakkan terus menerus dengan pemanasan atau dikeraskan dengan pendinginan dan bisa berubah karena panas (bisa didaur ulang). Misalnya: *Polyamid, nylon, polysurface, polyether*.

2. Keramik.

Pembuatan komposit dengan bahan keramik yaitu keramik dituangkan pada seratnya yang telah diatur orientasinya dan merupakan matriks yang tahan pada temperatur tinggi. Misalnya : SiC dan SiN yang sampai tahan pada temperatur 1650°C.

3. Karet.

Karet adalah polimer bersistem *cross linked* yang mempunyai kondisi semi kristalin dibawah temperatur kamar.

4. Matriks Karbon

Fiber yang direkatkan dengan bahan dasar karbon sehingga terjadi karbonisasi.

b. Pengisi (*Filler*)

Pengisi (*Filler*) berfungsi sebagai penguat dari matriks. *Filler* yang umum digunakan adalah serat karbon atau serat alam. *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk.

filler ini berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat seperti dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat alam berupa serat batang pisang dan serat lainnya telah banyak dipergunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, nanas, sabut kelapa, ijuk, bambu, dan knaf atau goni (Schwartz, 1984). Serat alam ditunjukkan pada Gambar 2.2.



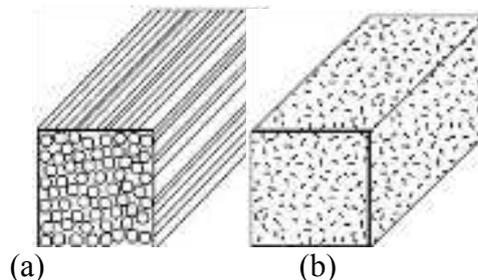
Gambar 2.2 Serat Alam (Serat Rami)

2.1.1 Klasifikasi Material Komposit

Menurut Kristiantoro (2009) komposit dibedakan menjadi 5 kelompok berdasarkan bentuk struktur dari penyusunannya, yaitu:

1. Komposit serat (*Fibrous Composites*)

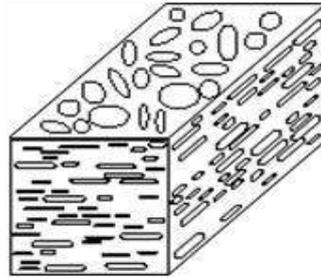
Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai bahan penguatnya. Dalam pembuatan komposit, serat dapat diatur memanjang (*unidirectional composites*) atau dapat dipotong kemudian disusun secara acak (*random fibers*) serta juga dapat dianyam (*cross-ply laminate*). Komposit serat sering digunakan dalam industri otomotif dan industri pesawat terbang. Serat panjang mempunyai struktur yang lebih sempurna karena struktur kristal tersusun sepanjang sumbu serat dan cacat internal pada serat lebih sedikit dan arah serat yang berbeda menjadikan komposit diperkuat serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian (Gibson, 1994). Tipe ini mempunyai susunan serat panjang dan lurus, tipe ini mempunyai kelemahan pemisahan antar lapisan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 fiber composites : (a) *unidirectional fiber composite* (b) *random fiber composite*

2. Komposit Serpih (*Flake Composites*)

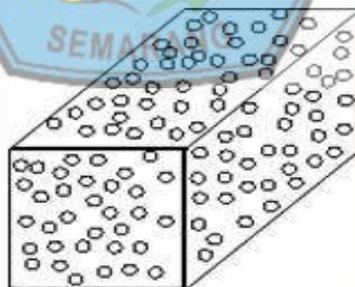
Flake Composites adalah komposit dengan penambahan material berupa serpih ke dalam matriksnya. *Flake* dapat berupa serpihan mika, *glass* dan metal, yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Komposit serpih (*flake composites*)

3. Komposit Butir/Partikel (*Particulate Composites*)

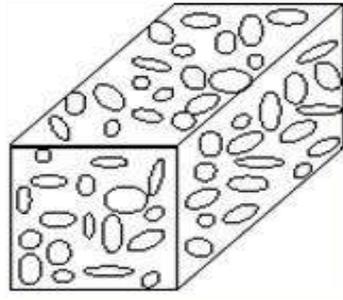
Particulate composites adalah salah satu jenis komposit dimana dalam matriks ditambahkan material lain berupa serbuk/butir. Perbedaan dengan *flake* dan *fiber composites* terletak pada distribusi dari material penambahnya. Dalam *particulate composites*, material penambah terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol daripada *flake composites*. Sebagai contoh adalah beton, yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Komposit butir/partikel (*Particulate Composites*)

4. *Filled (Skeletal) Composites*

Filled composites adalah komposit dengan penambahan material ke dalam matriks dengan struktur tiga dimensi dan biasanya *filler* juga dalam bentuk tiga dimensi, yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Filled (skeletal) composites*

5. *Laminar composites*

Laminar composites adalah komposit dengan susunan dua atau lebih layer, dimana masing-masing layer dapat berbeda – beda dalam hal material, bentuk, dan orientasi penguatannya, yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Laminar composites*

2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi Komposit

Ada tiga faktor yang sangat menentukan sifat-sifat dari suatu komposit, yaitu (Gibson, 1994) :

a. Material pembentuk

Sifat-sifat yang dimiliki oleh material pembentuk memegang peranan yang sangat penting karena sangat besar pengaruhnya dalam menentukan sifat kompositnya. Sifat dari komposit itu merupakan gabungan dari sifat-sifat komponennya.

b. Bentuk dan susunan komponen

Karakteristik struktur dan geometri komponen juga memberikan pengaruh yang

besar bagi sifat komponen. Bentuk dan ukuran tiap komponen dan distribusi serta jumlah relatif masing - masing merupakan faktor yang sangat penting yang memberikan kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.

c. Hubungan antar komponen

Komposit merupakan campuran atau kombinasi bahan-bahan yang berbeda, baik dalam hal sifat bahan maupun bentuk bahan, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda. Prinsip yang mendasari perancangan, pengembangan dan penggunaan dari komposit adalah pemakaian komponen yang sesuai dengan aplikasinya.

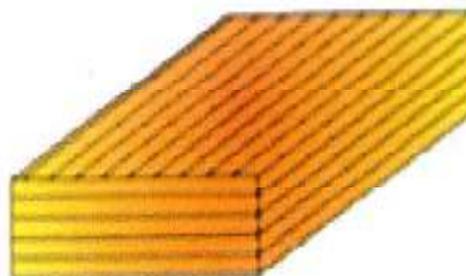
2.1.3 Komposit Serat

Berdasarkan bentuk komponen strukturalnya, bentuk-bentuk komponen utama yang digunakan dalam material komposit dapat dibagi atas tiga kelas, yaitu: (Gibson, 1994).

1. Komposit Serat

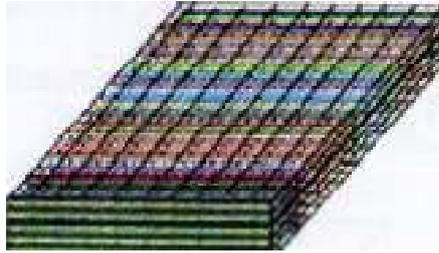
Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari *fiber* dalam matriks. Secara alami serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah (*bulk*). Serat panjang mempunyai struktur yang lebih sempurna karena struktur kristal tersusun sepanjang sumbu serat dan cacat internal pada serat lebih sedikit daripada material dalam bentuk curah. Kebutuhan akan penempatan serat dan arah serat yang berbeda menjadikan komposit diperkuat serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya (Gibson, 1994) :

- a. *Continous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinyu) yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



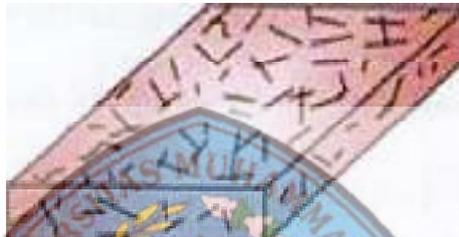
Gambar 2.8 *Fiber Composite* (Gibson, 1994)

- b. *Woven fiber composite* (komposit diperkuat serat anyaman) yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Woven Fiber Composite* (Gibson, 1994)

- c. *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak) yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Chopped Fiber Composite* (Gibson, 1994)

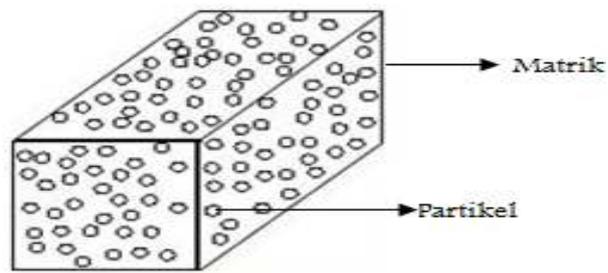
- d. *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinu dan acak) yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Hybrid Composite* (Gibson, 1994)

2. Komposit Partikel (*Particulate Composite*)

Komposit Partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya (Gibson, 1994). Skema komposit partikel diperlihatkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Particulate Composite*(Gibson, 1994)

Komposit ini biasanya mempunyai bahan penguat yang dimensinya kurang lebih sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama, yang kerap disebut partikel. Dan bisa terbuat dari satu atau lebih material yang dibenamkan dalam suatu matrik dengan material yang berbeda. Partikelnya bisa logam atau non logam, seperti halnya matrik. Selain itu ada pula polimer yang mengandung partikel yang hanya dimaksudkan untuk memperbesar volume material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat (Jones, 1999).

3. Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

Merupakan jenis komposit terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri (Gibson, 1994). Skema komposit lapis diperlihatkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Laminates Composite* (Gibson, 1994)

Laminates Composite Merupakan komposit yang tersusun atas dua (atau lebih) lamina. Komposit serat dalam bentuk lamina ini yang paling banyak digunakan dalam lingkup teknologi ataupun otomotif maupun industri. Dalam bentuk nyata dari komposit lamina adalah (Gibson, 1994) :

a. *Bimetal*

Bimetal adalah lapis dari dua buah logam yang mempunyai koefisien *ekspansi thermal* yang berbeda. *Bimetal* akan melengkung seiring dengan berubahnya suhu sesuai dengan perancangan, sehingga jenis ini sangat cocok untuk alat ukur suhu (Gibson, 1994).

b. Pelapisan Logam

Pelapisan logam yang satu dengan yang lain dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya (Gibson, 1994).

c. Kaca yang dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam. Kaca yang dilapisi akan lebih tahan terhadap cuaca (Gibson, 1994).

d. Komposit lapis serat

Dalam hal ini lapisan dibentuk dari komposit serat dan disusun dalam berbagai orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat (Gibson, 1994).

2.2 SERAT

Serat dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material. Dilihat dari jenisnya, serat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Serat alam (*nature fiber*)

Serat alam adalah serat yang berasal dari tumbuhan dan hewan berbentuk seperti benang. Untuk mendapatkan bentuk serat, diperlukan beberapa tahap pemrosesan bergantung dengan karakter bahan dasarnya. Jenis-jenis serat dari tumbuhan antara lain yang berbahan kapas, pelepah pisang, enceng gondong, rami, dan sebagainya. Sedangkan serat dari hewan misalnya wool, sutra dan bulu burung.

2. Serat sintetik atau serat buatan

Serat buatan terbentuk dari polimer-polimer yang berasal dari alam maupun polimer-polimer buatan yang dibuat dengan cara kepolimeran senyawa-senyawa kimia yang relatif sederhana. Semua proses pembuatan serat dilakukan dengan menyemprotkan polimer yang berbentuk cairan melalui lubang-lubang

kecil (*spinneter*). Serat buatan (serat *termoplastik*) disebut juga *man-made fibres* terdiri dari *nylon, perlon, decron, teriline, trivera, terlenka, tetoron, prinsip, bellini, laceri, larici, orlon, cashmilon, silk, caterina* dan lain-lain. Selain itu serat juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlal nantinya yang akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dan sebagainya (Fajri dkk, 2013). Beberapa fungsi utama dari serat adalah:

- a. Sebagai pembawa beban. Dalam struktur komposit 70% - 90% beban dibawa oleh serat.
- b. Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit.
- c. Memberikan insulasi kelistrikan (*konduktivitas*) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

2.3 SERAT BATANG RAMI



Gambar 2.14 Tanaman Rami

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan China grass tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan serat dari kulit kayunya. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah

keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintetis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun. (Eva Novarini, 2015). Serat rami diambil dari perkebunan rami Kepontren Darussalam, Garut, Jawa Barat. Batang pohon rami dipanen setelah 6 bulan, diambil kulitnya dan diproses menjadi serat rami seperti terlihat pada Gambar 2.15. Serat rami dipotong – potong dan digunakan sebagai penguat biokomposit. Seratbatang rami yang masih mengandung lignin dan kotoran tersebut dibersihkan dengan menggunakan air dan kemudian direndam di larutan alkali (5% wt NaOH) membutuhkan waktu selama 2 jam. Selanjutnya serat dinetralkan dari efek NaOH dengan pembilasan menggunakan air bersih. Setelah PH netral, kemudian serat ditiriskan hingga kering tanpa sinar matahari (Alaya Fadllu Hadi Mukhammad dan Bambang Setyoko, 2014). Menurut (Zhu Aiguo, 2014) rami pada umumnya berbentuk daun berbentuk hati, yang berwarna putih di bagian bawah dengan rambut yang lebat. Sifat mekanik dari serat rami mempunyai densitas 1,5 g/cm³, (Schuh dan Gayer, 1997). kandungan selulosanya 68-72 %, semi selulosa (18-20 %), kandungan lignin 2 %. kekuatan tarik rata-rata 400 - 938 MPa, modulus tarik 61,4 – 128 GPa dan pertambahan panjang 3,6 - 3,8 % (Teguh rahardjo, 2008).



Gambar 2.15 Serat Rami

2.4 LIGNIN

Lignin merupakan senyawa yang sangat kompleks dengan berat molekul tinggi. Lignin terdapat diantara sel-sel dan di dalam dinding sel. Dimana fungsi

lignin yang terletak diantara sel adalah sebagai perekat untuk mengikat/perekat antar sel, sehingga tidak dikehendaki. Sementara dalam dinding sel lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberi ketegaran pada sel (Putera, 2012). Menurut Agustina (2009) Lignin dapat di isolasikan dengan berbagai jenis yaitu:

1. Lignin sebagai sisa

Lignin dihasilkan sebagai sisa hidrolis asam polisakarida seperti lignin sulfat (klason) dan lignin asam klorida (*lignin halse*) serta lignin hasil oksidasi atau pelarutan hasil polisakarida seperti pada penentuan lignin kuoksam yang menggunakan asam sulfat dan kupranium hidroksida.

2. Lignin dengan pelarut

Terjadi reaksi yang cukup besar antara lignin dengan pelarut. Contohnya terjadi pada reaksi dengan getaran atau diekstraksi dioksan – air yang sering disebut lignin kayu yang digiling (MWL) atau lignin Bjorkman.

3. Lignin terlarut dalam senyawa organik, pada proses ini lignin direaksikan dengan pelarut organik.

4. Turunan dengan pereaksi organik

Secara umum, jenis lignin sangat menghasilkan lignin teknis yaitu lignin yang di hasilkan dari proses pembuatan pulp seperti lignin alkali (proses soda/NaOH), lignin kraf atau lignin sulfat (NaOH/Na₂S).

2.5 POLIMER

Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly*, yang berarti banyak, dan *mer*, yang berarti bagian atau satuan. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang besar (Stevens,2001). Menurut Surdia (1995) polimer pada umumnya dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-manarik yang disebut ikatan kovalen, dimana ikatan setiap atom dari pasangan menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron. Contoh dari senyawa polimer diantaranya: karet alam dan polimer plastik berupa polietelen (PE), polipropilena (PP), polietelen tereftafat (PET), polivinil chloride (PVC), polistirena (PS), telfon, nilon, dan lain-lain.Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang besar (Stevens, 2001). Polimer

merupakan rangkaian molekul panjang yang tersusun dari pengulangan kesatuan molekul yang kecil dan sederhana.

Molekul kecil dan sederhana penyusun polimer disebut dengan monomer. Polimer dengan massa molekul yang besar disebut dengan polimer tinggi. Polimer tinggi terdapat di alam seperti pati, selulosa, protein, dan kitosan serta yang dapat disintesis di laboratorium misalnya : polivinil klorida, polivinil alkohol, poliasam laktat, polimetil metakrilat, polietilena. Plastik merupakan salah satu contoh polimer tinggi karena memiliki massa molekul yang besar yaitu di atas 10.000 (Oktaviana, 2002).

2.5.1 Klasifikasi Polimer

Plastik adalah polimer tetapi tidak semua polimer berbahan plastik, berdasarkan sumbernya polimer dapat dibagi menjadi polimer alam dan polimer sintetik, yaitu :

a. Polimer Alam

Polimer alam adalah polimer yang terjadi melalui proses alami. Contoh polimer alam anorganik seperti tanah liat, pasir, sol-gel, silika, siloksan. Sedangkan contoh polimer organik alam adalah karet alam dan selulosa yang berasal dari tumbuhan, wol dan sutera yang berasal dari hewan serta asbes yang berasal dari mineral.

b. Polimer Sintetik

Polimer sintetik adalah polimer yang dibuat melalui reaksi kimia seperti karet fiber, nilon, poliester, polisterena, polietilen.

2.5.2 Sifat-sifat Polimer

Menurut Rahmat (2013), kekuatan merupakan salah satu sifat mekanik dari polimer. Ada beberapa macam kekuatan dalam polimer, diantaranya yaitu:

1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel. Kekuatan tarik penting untuk polimer yang akan ditarik.

Contohnya *fiber*, harus mempunyai kekuatan tarik yang baik.

2. *Compressive Strenght*

Compressive Strenght adalah ketahanan terhadap tekanan. Beton merupakan contoh material yang memiliki kekuatan tekan yang bagus. Segala sesuatu yang harus menahan berat dari bawah harus mempunyai kekuatan tekan yang bagus.

3. *Flexural Strenght*

Flexural Strenght merupakan ketahanan pada bending. Polimer mempunyai *fluxural strenght* jika dia kuat saat dibengkokkan.

4. *Impact Strenght*

Impact Strenght adalah ketahanan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Polimer mempunyai kekuatan *impact* jika dia kuat saat dipukul dengan keras secara tiba-tiba, seperti dengan palu.

2.6 PLASTIK

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer), proses ini disebut polimerisasi. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah plastik yang jika dipanaskan dalam temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Suroño, 2013). Menurut Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI (2008). *Thermoplastic* yang dapat didaur ulang kembali dibagi lagi menjadi 7 (tujuh) berdasarkan kode yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Simbol Termoplastik

Penjelasan dari simbol – simbol termoplastik berdasarkan dari kategorinya:

a. PET (*Polyethylene terephthalate*)

PET adalah hasil kondensasi polimer etilen glikol dan asam treptalat yang berasal dari minyak bumi, dan dikenal dengan nama dagang *mylar*, terdiri atas monomer *ethylene teraphtelate* dengan rumus molekul $C_{10}H_8O_4$. Sifat plastik

jenis ini adalah tembus pandang (transparan), bersih dan jernih. Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah-buahan sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah serta kuat dan tidak mudah sobek. Pada keadaan hangat atau panas, lapisan polimer akan meleleh dan mengeluarkan karsinogenik yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker (Mediastika, C.E., 2013).

b. HDPE (*High Density Polyethylene*)

HDPE merupakan polimer polietilena yang memiliki struktur rantai lurus. Proses pembuatan rantai dari plastik HDPE dilakukan pada proses dengan tekanan rendah. HDPE mempunyai sifat kristalinitas yang lebih tinggi dan kaku apabila dibandingkan dengan LDPE (Nasution, 2011). Monomernya adalah etilena, gas hidrokarbon dengan rumus C_2H_4 . HDPE direkomendasikan untuk dipakai beberapa kali karena pelepasan senyawa antimon trioksida terus meningkat seiring dengan waktu pemakaian.

c. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

PVC merupakan hasil polimerisasi monomer vinil klorida dengan bantuan katalis. Rumus kimia PVC adalah $(C_2H_3Cl)_n$. Pemilihan katalis tergantung pada jenis proses polimerisasi yang digunakan. Untuk membuat PVC digunakan beberapa proses pengolahan yaitu *calendering* (menghasilkan produk *sheet*, film, *leather cloth*, *floor covering*), ekstrusi (menghasilkan pipa dan isolasi kabel) dan cetak injeksi (menghasilkan sol sepatu dan berbagai bagian mesin listrik).

d. LDPE (*Low Density Polyethylene*)

LDPE didefinisikan sebagai polimer polietilena yang memiliki struktur rantai bercabang yang tinggi dengan cabang-cabang yang panjang dan pendek. Pertambahan panjang rantai utama polimer diikuti dengan meningkatnya gaya antar molekul monomer. Polimer yang memiliki banyak cabang, kekuatannya menurun dan hal ini juga menyebabkan titik lelehnya semakin rendah dibandingkan dengan HDPE (Zulfikar, 2010). *Polyethylene* disintesa secara kimia dari etilena, senyawa yang biasanya terbuat dari minyak bumi atau gas alam. Monomernya adalah etilena, gas hidrokarbon dengan rumus C_2H_4 yang dapat dilihat sebagai sepasang kelompok metilen ($CH_2=$) terhubung satu sama lain

(CAP, 2014). Plastik ini biasa dipakai untuk tempat makanan, kemasan, dan botol-botol yang lembek.

e. PP (*Polypropylene*)

Polypropylene merupakan polimer yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena dengan rumus molekul (C_3H_6). Propilena mempunyai massa jenis yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan jenis plastik lain. (Mujiarto, I., 2005). PP lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, dan stabil terhadap suhu tinggi. Jenis PP ini adalah pilihan bahan plastik terbaik, terutama untuk tempat makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum, dan botol susu bayi (Mediastika, 2013).

f. PS (*Polystyrene*)

Polystyrene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer *styrene* dengan rumus molekul (C_8H_8), dimana monomer tersebut didapat dari hasil proses dehidrogenisasi dari etil *benzene* (dengan bantuan katalis), sedangkan etil *benzene* merupakan hasil reaksi antara *etilene* dengan *benzene* (dengan bantuan katalis). *Polystyrene* mempunyai sifat kaku, keras namun mudah tergores, dan mempunyai bunyi seperti metal apabila dijatuhkan (Mediastika, 2013).

g. *Other*

Kategori ini mencakup seluruh plastik yang tidak termasuk kedalam 6 kategori plastik lainnya. Sebelum dikategorikan sebagai jenis plastik *other*, label 7 pada plastik mengacu pada plastik *polycarbonate* yang berbahaya apabila digunakan sebagai kemasan makanan. Namun seiring dengan berkembangnya teknologi, inovasi pembuatan plastik semakin bervariasi sehingga plastik yang belum dikategorikan tersebut masuk kedalam kategori 7.

2.7 **POLYETHYLENE**

Polyethylene adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137°C. Umumnya *polyethylene* bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar *polyethylene* tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik (Billmeyer, 1994). Menurut Yuniari (2011), *polyethylene* bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit, namun dalam pembuatannya tidak diperoleh hasil yang homogen karena perbedaan

polaritas antara polimer dan bahan pengisi. Menurut Sitepu (2009), untuk meningkatkan interaksi antara bahan pengisi dengan matriks polimer telah dilakukan beberapa cara salah satunya dengan menambahkan senyawa penghubung (*coupling agent*). sehingga meningkatkan sifat antar muka dengan bahan pengisi dengan matriks. *Polyethylene* diindustri banyak dipergunakan untuk kepentingan diindustri seperti pembuatan interior otomotif, viskositas pelelehan atau indeks pelelehan *polyethylene* menghasilkan *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) (Ni'mah dkk, 2009).

2.8 HDPE (*HIGH DENSITY POLYETHYLENE*)

HDPE merupakan polimer *polyethylene* yang memiliki struktur rantai lurus. Proses pembuatan rantai dari plastik HDPE dilakukan pada proses dengan tekanan rendah. HDPE mempunyai sifat kristalinitas yang lebih tinggi dan kaku apabila dibandingkan dengan LDPE (Nasution, 2011). Pada *polyethylene* jenis *low density* terdapat sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah, sedangkan *high density* mempunyai jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibanding jenis *low density*. Dengan demikian, *high density* memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Ikatan hidrogen antar molekul juga berperan dalam menentukan titik leleh plastik (Harper, 1975). HDPE sangat berpotensi sebagai matriks dalam pembuatan komposit. *High Density Polyethylene* (HDPE) yaitu *polyetilena thermoplastic*, terbuat dari minyak bumi yang memiliki massajenis tinggi. Percabangan yang sedikit membuat HDPE memiliki kekuatan tarik dan gaya antar molekul yang tinggi. Proses pembuatan HDPE ini disebut polimerisasi, yang melibatkan energi panas dan katalisator untuk memisahkan ikatan dalam suatu molekul agar dapat terjadi ikatan dengan molekul-molekul lain yang sejenis (Billmeyer 1994). Sifat-sifat plastik HDPE secara umum adalah tahan terhadap zat kimia (minyak, deterjen), ketahanan *impact* cukup baik, memiliki ketahanan terhadap suhu dan plastik HDPE stabil terhadap oksidasi udara (Corneliusse 2002). HDPE juga lebih keras dan bisa bertahan pada suhu tinggi ($T_m = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Wang, 2009). HDPE mempunyai sifat mekanik pada kekuatan tarik yaitu tegangan *yield* 22,63 MPa, tegangan maksimum 22,63 MPa,

dan *modulus Young* 514,5 MPa (Nurdin dkk, 2014). Pengujian tarik sesuai dengan standart ASTM-D 638 terhadap HDPE murni didapat nilai elongation 16,00% (Marwan, 2016).



Gambar 2.17 Biji Plastik HDPE

Simbol dari HDPE (*High Densisty Polyethylene*) memiliki arti bahwa pendaaur ulang plastik HDPE hanya diperbolehkan 2 kali dalam proses *recycle* menurut Direktorat Pengawasan Produk dan Bahan Berbahaya Badan Pengawasan Obat dan Makanan RI (2008).



Gambar 2.18 Simbol HDPE



Gambar 2.19 Molekul HDPE, LLDPE dan LDPE

2.9 ZEOLIT

Zeolit merupakan mineral padat berpori yang memiliki kemampuan adsorpsi yang baik (Ansari dkk, 2014). Zeolit terdiri dari unsur alumina, silica dan sodium sebagai penyusun utamanya (Steen dkk, 2004). Kemampuan adsorpsi zeolit dimanfaatkan oleh beberapa peneliti untuk dimodifikasi menjadi membran. Membran zeolit merupakan membran anorganik yang stabil pada suhu yang tinggi (Barbosa, 2016). Zeolit($M_2/nO \cdot Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$) merupakan kelompok mineral jenis bahan galian non logam atau mineral industri multi guna, seperti sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan katalisator. Pemanfaatan zeolit telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam berbagai bidang, antara lain industri, pertanian, serta lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya. Banyaknya pemanfaatan mineral zeolit diberbagai bidang ini, sehingga perlu adanya eksplorasi mineral zeolit. Berdasarkan catatan Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral kabupaten Malang (2010), ditemukan mineral zeolit yang melimpah sebesar 3,5 juta m², dengan luas wilayah 12,7 ha dan produksinya mencapai 11.125 ton yang terletak di desa Kedung Banteng, kecamatan Sumbermanjing Wetan, kabupaten Malang.

Menurut Winarni, zeolit($M_2/nO \cdot Al_2O_3 \cdot x(SiO_2) \cdot yH_2O$) secara harfiah berasal dari kata Yunani “zein” yang berarti mendidihkan dan “lithos” yang berarti batu atau disebut juga batu mendidih. Nama ini diturunkan dari sifat mineral zeolit yang molekul airnya terdehidrasi ketika zeolit dipanaskan. Zeolit memiliki struktur berongga-rongga dengan cairan di dalamnya yang mudah lepas sehingga memungkinkan zeolit mempunyai sifat khusus yaitu melakukan pertukaran kation, maupun penyerap senyawa kimia tertentu (sebagai absorben) dan mampu bertindak sebagai katalisator. Senyawa kimia zeolit merupakan suatu senyawa alumino silikat terhidrasi, dengan unsur utama yaitu unsur alkali dan alkali tanah, yang mempunyai rumus sebagai berikut. $M_2/nO \cdot [(Al_2O_3)_x \cdot (SiO_2)_y] \cdot zH_2O$.

Dimana: M = kation yang dapat dipertukarkan

n = valensi kation logam

x = jumlah atom Al

y = jumlah atom Si

z = jumlah molekul air

Perbandingan antara atom Si dan Al yang bervariasi akan menghasilkan banyak jenis atau spesies zeolit yang terdapat di alam. Sampai saat ini telah ditemukan lebih dari 50 jenis spesies zeolit, namun mineral pembentuk zeolit terbesar ada 9 (sembilan) yaitu analsim, habazit, klinoptilolit, erionit, mordenit, ferrierit, heulandit, laumontit dan filipsit (Harahap, 2006). Pengaruh suhu pada zeolit ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Stabilitas zeolit terhadap suhu

Jenis Mineral Zeolit	Suhu (°C)
Klinoptilolit (kaya ion Ca)	500
Klinoptilolit (kaya ion K)	800
Kabazit	600-865
Laumonit	345-800
Mordenit	800-1000
Filipsit	360-400

Mineral zeolit yang umum dijumpai adalah jenis klinoptilolit dan mordenit (Harahap, 2006). Jenis Mineral zeolit yang digunakan dalam proses pembuatan spesimen komposit yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Zeolit

2.9.1 Sifat-Sifat Zeolit

Menurut Muhammad Said dkk (2008), sifat-sifat zeolit meliputi :

1. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan yang menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi.

2. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila mineral zeolit dipanaskan pada suhu 300°C hingga 400°C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau cairan, zeolit juga mampu memisahkan molekul dan kepolarannya, meskipun ada 2 molekul atau lebih yang dapat melintas tetapi hanya sebuah saja yang dapat lolos. Hal ini dikarenakan faktor selektivitas dari mineral zeolit tersebut yang tidak ditemukan pada *adsorbent* padat lainnya.

3. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya.

4. Katalis

Ciri paling khusus dari zeolit yang secara praktis akan menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang akan membentuk saluran di dalam strukturnya. Bila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimum.

5. Penyaring atau Pemisah

Meskipun banyak media berpori yang dapat digunakan sebagai penyaring atau pemisah campuran uap atau cairan, tetapi distribusi diameter dari pori-pori media tersebut tidak cukup efektif seperti halnya penyaring molekular zeolit yang mampu memisahkan campuran berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan

polaritas dari molekul yang disaring. Contohnya pori-pori zeolit A berbentuk silinder dapat memisahkan parafin dari campuran hidrokarbon. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari suatu campuran tertentu karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam.

2.9.2 Jenis – Jenis Zeolit

Menurut Said dkk(2008), jenis-jenis zeolit meliputi :

a. Zeolit Alam

Mineral zeolit telah diketahui sejak tahun 1756 oleh ahli mineralogy berkebangsaan Swedia bernama F.A.F Constedt. Di alam banyak dijumpai zeolit dalam lubang-lubang batuan lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik halus. Telah diketahui lebih dari 40 jenis mineral zeolit di alam, dari jumlah tersebut hanya 20 jenis yang terdapat dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklastik.

b. Zeolit Sintetis

Karena sifat zeolit yang unik yaitu susunan atom maupun komposisinya dapat dimodifikasi, maka para peneliti berupaya untuk membuat zeolit sintetis yang mempunyai sifat khusus sesuai dengan keperluannya. Dari usaha itu dapat direkayasa bermacam-macam zeolit sintetis, antara lain :

1. Zeolit kadar Si rendah (kaya Al)
2. Zeolit Si sedang
3. Zeolit Si tinggi
4. Zeolit Si

2.10 Perhitungan Campuran Komposit

Dalam menentukan berat serbuk zat pencampur didalam komposit dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{Berat zat pencampur} = \frac{\text{Zat pencampur (\%)}}{\text{Berat campuran (gr)}} \times 100\%$$

Zat pencampur : metrix atau filler dalam campuran komposit (%)

Berat zat pencampur : berat zat pencampur dalam campuran komposit (gr)

Berat campuran : berat campuran komposit yang direncanakan (gr)

2.11 KALSINASI ZEOLIT

Zeolit agar dapat diaplikasikan sesuai fungsinya, diperlukan proses tertentu agar diperoleh zeolit dengan kualitas yang baik. Cara yang digunakan untuk menaikkan kualitas zeolit biasanya dilakukan melalui proses pengolahan dan aktivasi, baik dengan cara pemanasan, penambahan asam atau basa, maupun pelapisan dengan senyawa kimia tertentu. Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Aktivasi dengan pemanasan ini sering juga dikenal dengan kalsinasi, Atikah (2017).

Perlakuan kalsinasi pada 500°C akan mengakibatkan lepasnya ammonia dan gas CO₂, dengan berubahnya gugus penyetimbang muatan dari tetrametil ammonium menjadi ion hidrogen kembali dengan meninggalkan ruang kosong yang lebih besar, maka zeolit yang diperoleh akan mempunyai luas permukaan yang lebih besar lagi, Taslimah dkk (2004).

2.12 NaOH (NATRIUM HIDROKSIDA)

Sifat alami serat adalah *hyrophilic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hidrophilic*. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hidropholic* serat dapat memberikan ikatan *interfecial* dengan matriks secara optimal (Bismarck dkk, 2002). Goud dan Rao (2011) juga membuktikan bahwa *skin* berbahan dasar serat yang diperlakukan dengan perendaman NaOH mempunyai nilai kekuatan tarik lebih besar dibanding tanpa perlakuan alkali. Menurut Yuliono dkk (2013) Bahwa sifat mekanis kekuatan tarik dapat ditingkatkan dengan perlakuan NaOH kadar 5% selama 2 jam yaitu sebesar 35,404 MPa. Peningkatan kekuatan tarik selama 2 jam disebabkan serat belum mengalami penambahan diameter yang signifikan seperti pada hasil penelitian Eichorn (2001). Alkali yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah NaOH cair dengan kadar 5% terhadap pelarut air. Perendaman terlalu lama akan merubah kekuatan dari komposit sehingga perndaman harus diperhatikan. Menurut Diharjo (2006) perlakuan NaOH yang lebih lama dapat menyebabkan kerusakan pada unsur selulosa. Serat yang dikenai perlakuan alkali terlalu lama, dapat menyebabkan degradasi kekuatan yang signifikan yaitu memiliki kekuatan yang

lebih rendah. Gambar dari NaOH (Natrium Hidroksida) ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Cairan NaOH

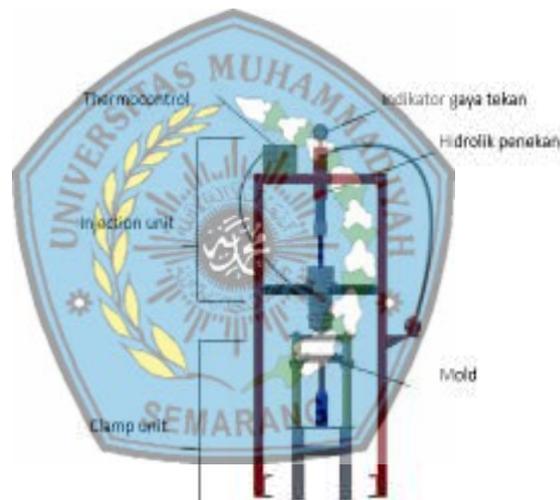
2.13 *INJECTION MOLDING*

Secara umum pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan menggunakan alat bantu berupa cetakan atau *mold*. *Mold* plastik pada prinsipnya adalah suatu alat (*tool*) yang digunakan untuk membuat komponen – komponen dari material plastik dengan sarana mesin cetak plastik, metode dasar plastik *molding* untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan sifat-sifat fisik yang diinginkan bentuk desain produk, luas penampang, ketebalan, *insert* yang panjang, tuntutan ukuran (toleransi) yang harus dipenuhi dan pemilihan material merupakan faktor yang berpengaruh. Menurut Bryce (1998) *injection molding* seperti operasi pada jarum suntik, dimana lelehan plastik disuntikan kedalam *mold* (cetakan) yang tertutup rapat yang berada didalam mesin sehingga lelehan tersebut memenuhi ruang yang berada pada *mold* sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan.

Pada proses *injection molding* dengan pengaturan parameter penekanan yang tepat dapat meningkatkan kualitas dan menghemat biaya produksi. Hal ini dikarenakan parameter proses penekanan dan waktu penekanan yang pada umumnya dilakukan oleh sistem hidrolik merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhatikan untuk keberhasilan proses produksi melalui *injection molding* (Chanda and Roy,2006). Penyebab dari *warpage* yang paling besar adalah tekanan injeksi, suhu dari cetakan, titik leleh plastik, dan waktu tahan pada

proses injeksi. (Huang dan Tai, 2001). Parameter tekanan dan waktu penekanan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap terjadinya *shrinkage* (Sendi, 2012)

Mesin *injection molding* bekerja dengan cara melelehkan bahan material seperti polimer akibat dari pemanasan yang terjadi di *unit barrel*, material yang berupa biji plastik yang dipanaskan akan meleleh selanjutnya di *inject* menggunakan tekanan dorong yang sudah ditentukan untuk mengeluarkan bahan material yang sudah meleleh dari *barrel* keluar melalui lubang nosel masuk ke ruang *molding* guna mencetak hasil dari pelelehan polimer di *unit* injeksi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22. dari *mold* tersebut bahan material yang sudah masuk dan mengeras didalam *mold* selanjutnya *mold* didinginkan agar hasil yang diinginkan tidak mengalami cacat, serta proses pengeluaran material dari cetakan *mold* itu sendiri mudah karena bahan material yang sudah mengeras dan dingin didalam cetakan.



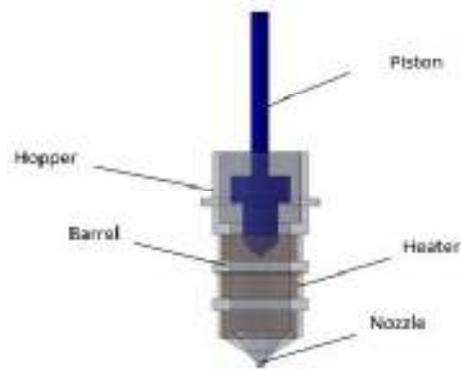
Gambar 2.22 *Inject Molding*

2.13.1 Kontruksi Mesin *Injection Molding*

Secara umum konstruksi mesin *injection molding* terdiri dari tiga *unit* pokok yang penting yaitu *injection unit*, *clamping unit* dan *mold unit*.

1. *Injection unit*

Injection unit merupakan *unit* yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan kedalam *cavity* dengan waktu, tekanan, temperatur, dan kepekatan tertentu.



Gambar 2.23 Bagian *Injector Unit*

2. *Clamping unit*

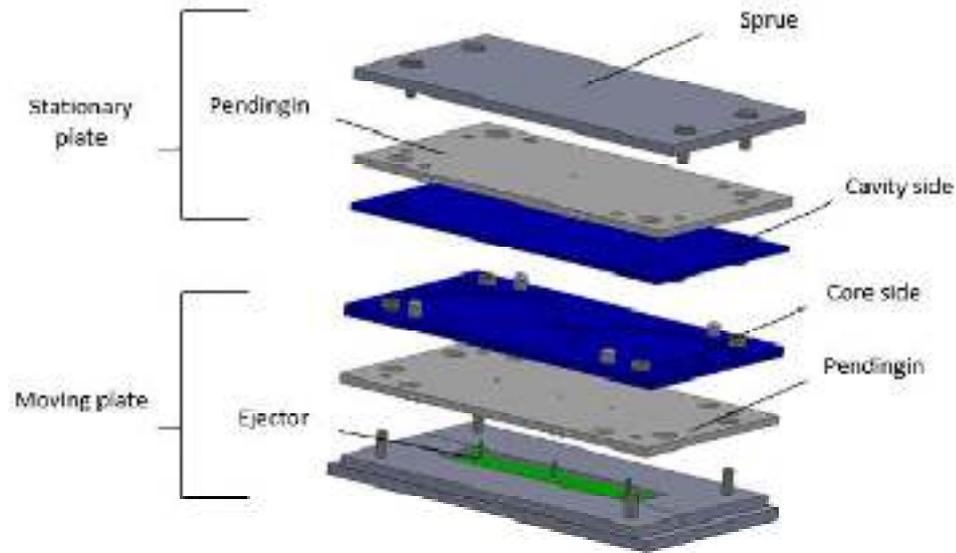
Clamping unit berfungsi untuk membuka dan menutup *mold* dan menjaga dengan memberikan tekanan pada penahan (*clamping pressure*) terhadap *mold* agar material yang diinjeksikan pada *mold* tidak meresap keluar saat proses berlangsung.



Gambar 2.24 Skematis dan Bagian – Bagian dari *Clamping Unit*

3. *Mold unit*

Mold unit merupakan bagian terpenting pada mesin *injection molding* , yang mempunyai fungsi utama yaitu untuk membentuk benda yang akan dicetak.



Gambar 2.25 Bagian Utama *Mold Unit*

2.14 EWF (*ESSENSIAL WORK OF FRACTURE*)

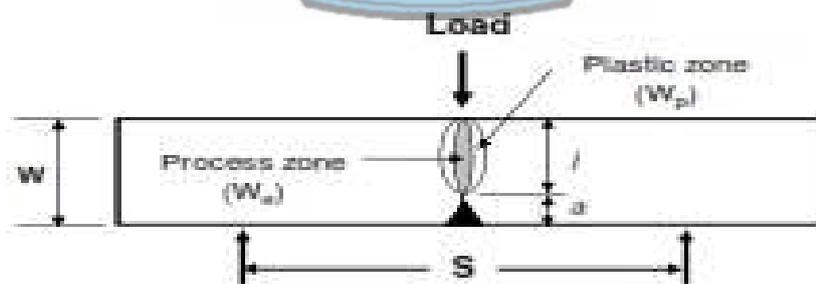
Metode EWF adalah bahwa saat benda padat ulet dengan retakan yang dikenai beban maka akan mengalami proses perpatahan, retakan tersebut diambil dari dua tempat di dua daerah yang berbeda, yaitu daerah proses bagian dalam (*the inner process zone*) dan daerah proses bagian luar (*the outer process zone*). Pada *Iner process zone* terjadi proses retakan dan pertumbuhan retak sampai spesimen patah terbagi menjadi 2 bagian. Pada *outer process zone* terjadi fenomena terbentuknya daerah plastis. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25, banyak sekali penelitian yang mengkaji tentang metode EWF.

Penelitian tentang EWF pernah dilakukan oleh Hashemi (1997) Dalam penelitiannya, Hashemi menggunakan spesimen tipe geometri DENT (*Double Edge Notch Tension*) dan SENT (*Single Edge Notch Tension*) dengan variasi tebal spesimen. Untuk tipe geometri SENT terhadap variasi tebal spesimen, lebar, panjangukur dan laju pertambahan panjang. Polimer yang digunakan adalah campuran jenis PBT/PC. Hasil penelitian ini adalah variabel seperti dimensi spesimen, tipe geometri serta laju pertambahan panjang adalah variabel yang tidak mempengaruhi kerja *essensial* patah spesimen. Penelitian juga membahas tentang syarat panjang ligament maksimum. Syarat panjang ligamen harus: $l \leq \frac{W}{3}$). Emma dan Wing (2006) melakukan penelitian dengan metode EWF untuk menganalisis pengaruh penambahan *fiber glass* kedalam komposit *rubber*. Meterial yang

digunakan tipe DENT. Hasilnya adalah dengan penambahan 10% *fiber glass* dapat meningkatkan nilai ketangguhan retak dari komposit *rubber*.

Wudan Mai (2006) melakukan penelitian menggunakan metode EWF untuk menganalisa pengaruh bentuk *geometri* dari spesimen terhadap nilai spesifik EWF. Material yang digunakan tipe DENT, SEN 3 PB, CT. Material yang diuji adalah *ductile polymers*. Hasil penelitian menyatakan bahwa geometri benda uji adalah variabel yang bebas dan tidak berpengaruh pada kerja *essensial* patah spesimen. Kwon dan Jar(2007) melakukan penelitian tentang ketangguhan material dari HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan metode EWF. Tipe material adalah DENT dengan spesifikasi material lebar 90 mm, $L_0 = 15 - 32$ mm, $L = 260$ mm, dan laju pembebanan 5 mm/min. Pembebanan 250 kN. Hasil dari penelitiannya adalah nilai spesifik EWF untuk L_0 masing – masing bagian dari daerah pertumbuhan retak ditentukan menggunakan regresi linear ke arah panjang ligamen 0 dan nilai spesifik masing – masing daerah berbeda tergantung panjang daerah retakan.

Martinatti dan Ricco (1995) berpendapat bahwa konsep EWF pada kondisi *quasi static* berlaku juga untuk beban *impact*. Formula hubungan antar parameter sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.26 adalah *valid* dan berlaku juga untuk kondisi beban tarik dan *tensile fracture toughness* material ulet dapat dikaji dengan menggunakan metode EWF.



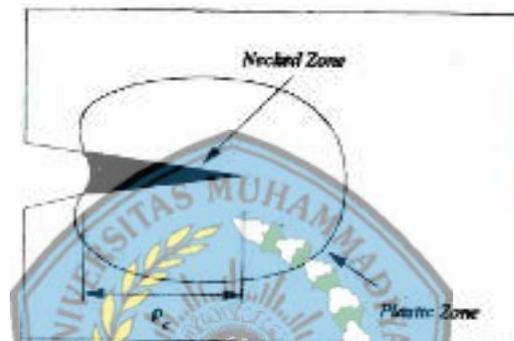
Gambar 2.26 Spesimen EWF

Selama proses perambatan retak, kerja perpatahan yang terkumpul di daerah plastisnya tidak berhubungan langsung dengan proses perpatahan. Kerja yang berpengaruh adalah kerja yang berhubungan langsung dengan daerah proses perpatahan dan merupakan konstanta material. Sehingga kerja perpatahan total

(w_f) dibagi atas dua bagian, yaitu kerja *essensial* perpatahan (w_e) dan kerja *non-essensial* perpatahan (w_p). Hal tersebut dapat dirumuskan dengan Pers 2.1:

$$(W_f) = (W_e) + (W_p) \quad (2.1)$$

Pada Gambar 2.26 proses pembebanan yang terjadi pada material akan mengalami keadaan mulur dan di lanjutkan dengan timbulnya retakan awal. Hal ini terjadi pada daerah (w_e), kemudian retakan akan menjalar hingga akhir spesimen. Hal ini terjadi pada daerah (w_p). Di dalam prosesnya perpatahan yang terjadi pada material polimer ulet (w_e) diperlukan untuk membentuk dan akhirnya untuk merobek daerah retakan takikan.



Gambar 2.27 W_e untuk membentuk dan akhirnya merobek daerah retakan pada takikan (Wu dan Mai 2006)

(W_e) Merupakan kerja dari permukaan dan sebanding dengan panjang ligamen (l), sedangkan (w_p) adalah jumlah dari kerja dan sebanding dengan (l^2) dengan demikian kerja total dari perpatahan di tulis kembali dari Pers 2.2 dan Pers 2.3 :

$$w_f = w_e + \beta w_p l^2 \quad (2.2)$$

Dan kerja patah takik spesifikasinya :

$$w_f = \frac{w_f}{tl} = \frac{w_e}{tl} + \frac{\beta w_p l^2}{tl}$$

$$w_f = \frac{w_f}{tl} = w_e + \beta w_p l \quad (2.3)$$

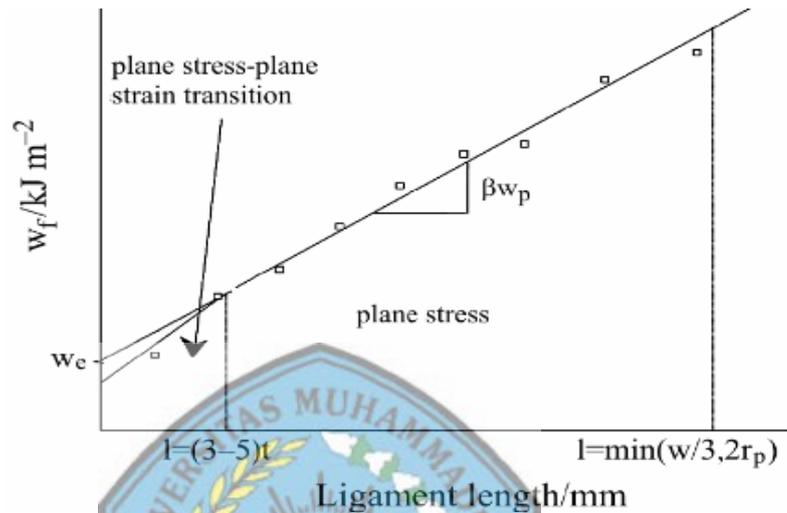
Dimana :

w_e = Kerja *essensial* perpatahan

w_p = Kerja *Non-essensial* spesifik perpatahan

β = Faktor bentuk dari daerah plastis

Hubungan panjang ligamen dan kerja patah dapat ditunjukkan sebagai berikut: Gambar 2.28 Semakin panjang ligamen yang ada dalam material maka nilai yang diperoleh dari kerja patah total material juga akan semakin besar. Hubungan antara panjang ligamen dan kerja patah total adalah linier. Untuk kondisi patahan dapat dilihat pada regangan yang terkena tarikan dari alat pengujian tarik (*tensile test*).



Gambar 2.28 Plot Grafik *Essensial Fracture* Terhadap l
(Vincent, L., 2006).

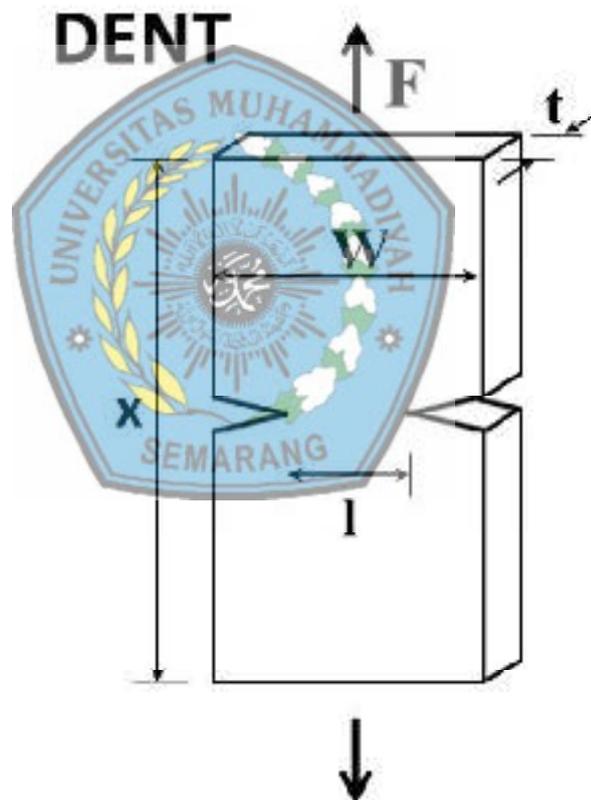
2.15 PENGUJIAN TARIK

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (Newton). Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel uji disebut deformasi. Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula. Regangan merupakan ukuran untuk kekenyalan suatu bahan yang harganya biasanya dinyatakan dalam persen (Sears, 2002). Kekuatan tarik adalah ketahanan suatu bahan terhadap beban yang bekerja dengan tujuan untuk mengetahui tegangan, regangan modulus elastisitas bahan dengan cara menarik spesimen sampai putus (Setiawan dkk, 2012). Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik atau *universal testing* standart pengujian ASTM D-638-02 dan ASTM D DENT. Spesiemen pengujian tarik menurut

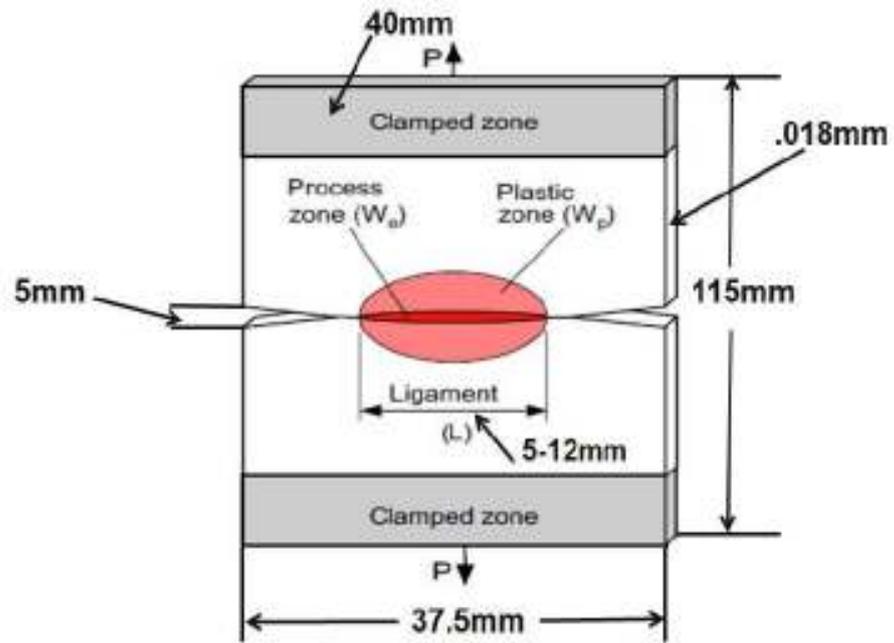
standart ASTM D-638-02 dan ASTM D DENT ditunjukkan pada Gambar 2.29 dan 2.30.



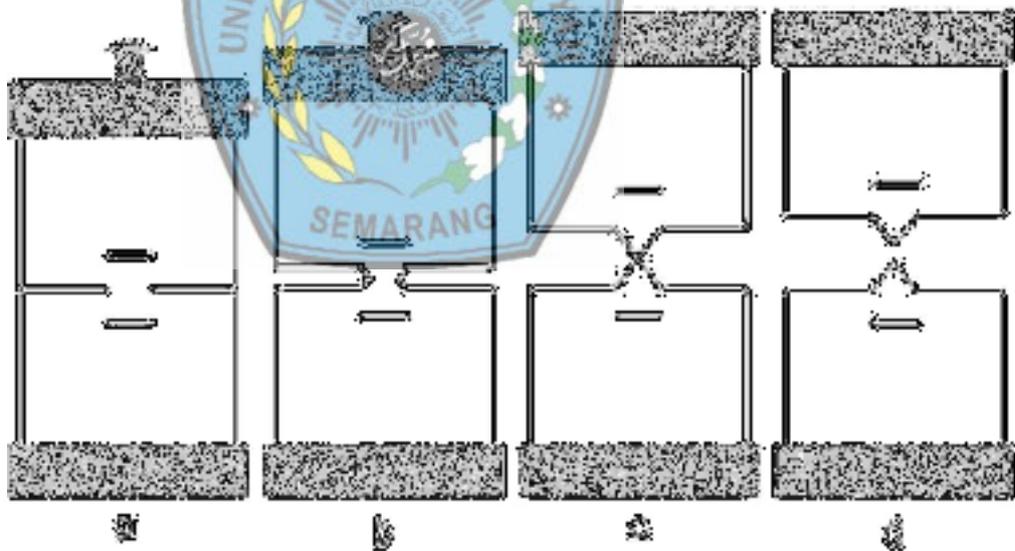
Gambar 2.29 Standart ASTM D 638-02 Pengujian Tarik
(ASTM International)



Gambar 2.30 ASTM D (Double Edge Notch Tension) DENT.
(Barany, 2010)



Gambar 2.31 Essential work of Fracture Specimen zones for Tensile Test using ESIS protocol (Nasir Mehmood dkk, 2012)



Gambar 2.32 Pengaruh pelepasan energi elastis setelah uji (Nasir Mehmood dkk, 2012)

- A. Spesimen tahap awal
- B. Perambatan retak
- C. Akhir Fraktur
- D. Pemulihan elastis

Hal-hal yang mempengaruhi kekuatan tarik antara komposit menurut (Surdia, 1995) antara lain :

a. Temperatur

Apabila temperatur naik, maka kekuatan tariknya akan turun

b. Kelembaban

Pengaruh kelembaban ini akan mengakibatkan bertambahnya absorbs air, akibatnya akan menaikkan regangan patah, sedangkan tegangan patah dan modulus elastisitasnya menurun.

c. Laju Tegangan

Apabila laju tegangan kecil, maka perpanjangan bertambah dan mengakibatkan kurva tegangan-regangan menjadi landai, modulus elastisitasnya rendah. Sedangkan kalau laju tegangan tinggi, maka beban patah dan modulus elastisitasnya meningkat tetapi regangannya mengecil.

Kekuatan tarik diukur dengan menarik sekeping sampel dengan dimensi yang seragam. Tegangan tarik σ , adalah gaya yang diaplikasikan F , dibagi dengan luas penampang A dengan menggunakan rumus Pers 2.4 yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan (N/mm^2)
 F = Gaya (Newton)
 A = Luas penampang patahan (mm^2)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibanding dengan panjang daerah ukur (*gauge length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis proporsional pada grafik tegangan-tegangan hasil uji tarik komposit. (Surdia,1995) Satuan yang dipakai adalah *dyne* per sentimeter kuadrat (CGS) atau Newton per meter kuadrat (MKS). Perpanjangan tarik ε adalah perubahan panjang (Δl) sampel dibagi dengan panjang awal (l) yang ditunjukkan rumus Pers 2.5 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2.5)$$

Keterangan :

- ε = Regangan (%)
- Δl = Deformasi/ perpanjangan (mm)
- l_0 = Panjang mula- mula (mm)
- l = Panjang akhir (mm)

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan ada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 1995).

Perbandingan tegangan (ζ) terhadap perpanjangan (ε) disebut modulus tarik (elastisitas) yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Pers 2.6:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- E = Modulus Elastisitas tarik (MPa)
- σ = Kekutan Tarik (Mpa)
- ε = Regangan (%)

2.16 UJI SEM (*SCANNING ELECTRON MICROSCOPY*)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur benda padat. Berkas sinar elektron dihasilkan dari filamen yang dipanaskan (*electron gun*). Konsep awal yang melibatkan teori *Scanning Elektron Microscope* (SEM) pertama kali diperkenalkan di Jerman (1935) oleh M. Knoll. Konsep standar dari SEM modern dibangun oleh Von Ardenne pada tahun 1938 yang ditambahkan *scan* kumparan ke mikroskop elektron transmisi. Desain SEM dimodifikasi oleh Zworykin pada tahun 1942 ketika bekerja untuk RCA Laboratories di Amerika Serikat. Desain kembali direkayasa oleh CW pada tahun 1948 seorang profesor di Universitas Cambridge. Sejak itu, semakin banyak bermunculan kontribusi signifikan yang mengoptimalkan perkembangan modern mikroskop elektron. Prinsip kerja SEM dimulai dari sebuah pistol elektron (*electron gun*),

memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Lensa magnetic memfokuskan elektron tersebut menuju sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scanning*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor CRT(*Catoda Ray Tube*).

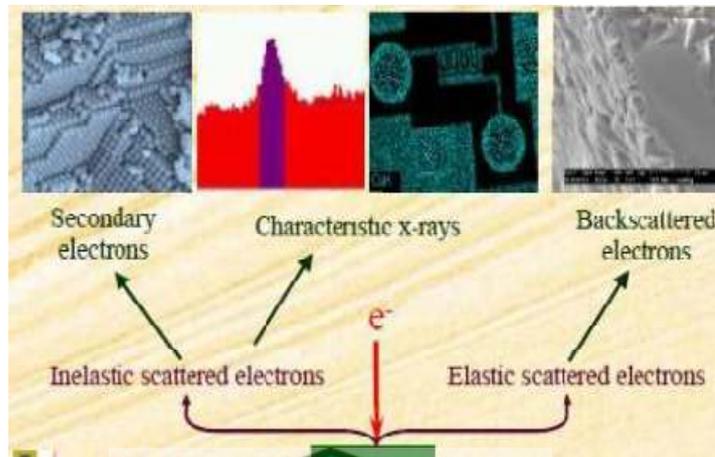
Pada SEM suatu berkas insiden elektron yang sangat halus di-*scan* menyilangi permukaan sampel dalam sinkronisasi dengan berkas tersebut dalam tabung sinar katoda. Elektron-elektron yang akan terhambur digunakan untuk memproduksi sinyal yang memodulasi berkas dalam tabung sinar katoda, yang memproduksi suatu citra dengan kedalaman medan yang besar dan penampakan yang hampir tiga dimensi. SEM memberikan informasi yang bermanfaat mengenai topologi permukaan dengan resolusi sekitar 100 Å (Stevens, 2001). Prinsip kerja dari SEM yang ditunjukkan pada Gambar 2.31 adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor atau *Cathode Ray Tube* (CRT).



Gambar 2.33 SkemaPengujian SEM (sumber: iastate.edu)

Ada beberapa sinyal penting yang dihasilkan oleh SEM dan ditunjukkan pada Gambar 2.32. Dari pantulan *inelastis* didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron*.

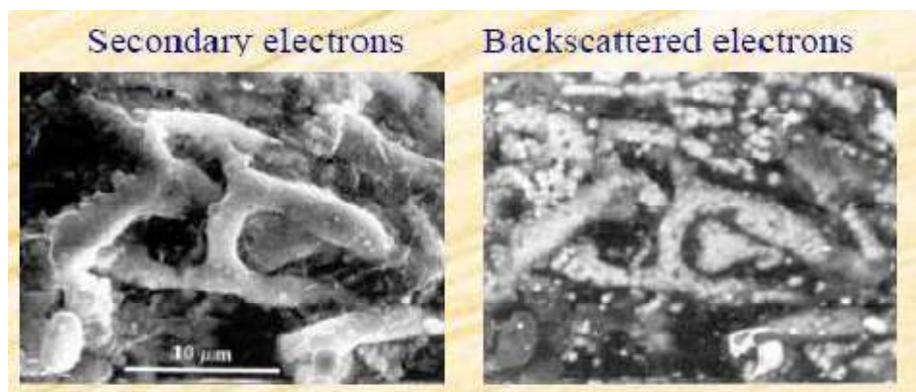


Gambar 2.34 Sinyal-sinyal yang dihasilkan SEM (sumber: *iastate.edu*)

Perbedaan dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* adalah sebagai berikut:

1. Elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah.
2. Sedangkan *backscattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah.

Contoh perbandingan antara gambar dari kedua sinyal ini yang ditunjukkan pada Gambar 2.33.



Gambar 2.35 Contoh perbandingan gambar dari sinyal-sinyal yang dihasilkan SEM (sumber: *iastate.edu*)