

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Kittinaovarat (2009) telah melakukan penelitian tentang penambahan serbuk arang bambu pada PP (*Polypropylene*) dengan komposisi serbuk arang bambu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan ukuran mesh 325. Metode pencampuran dilakukan dengan mencairkannya dengan suhu 170°C atau 140°C selama 10 menit di dalam sebuah wadah. Dan dicampur ulang menggunakan *two-roll mill* (LAB TECH) selama 10 menit dengan suhu 180°C. Kemudian setelah proses pencampuran dibuat spesimen sampel dengan menggunakan *compression molding*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari komposit *polypropylene* -arang bambu meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan arang bambu hingga pada persentase kandungan arang bambu 20%, dimana kekuatan tarik komposit *polypropylene* – arang bambu meningkat 15% dari *polypropylene* murni.

Kanagaraj *et al* (2006) telah melakukan penelitian dengan judul “*Mechanical properties of high density polyethylene/carbon nanotube composites*” di mana CNT di campur dengan biji plastik HDPE sebagai bahan baku proses *injection molding*. HDPE dilelehkan pada mesin *injection molding* dengan temperatur 200°C setelah itu diinjeksikan ke dalam cetakan uji tarik. Dengan memvariasikan fraksi volume dari *carbon nanotube* dengan variasi 0.11%, 0.22%, 0.33% dan 0.44%. Dengan hasil pengujian komposit CNT-HDPE menunjukkan peningkatan yang baik pada sifat mekaniknya seiring dengan peningkatan konsentrasi CNT.

Zhipei *et al* (2013) melakukan penelitian tentang serbuk arang bambu yang digunakan sebagai penguat *ultra high molecular weight polyethylene*. Dengan variasi persentase kadar serbuk arang bambu yang digunakan adalah 0%, 60%, 70%, dan 80%. Serbuk arang bambu dan UHMWPE dicampur bersama dengan menggunakan *mixer* selama 4 menit dengan kecepatan 18 rpm untuk mendapatkan pencampuran yang homogen. Kemudian dilelehkan dengan menggunakan mesin *co-rotating twin-screw extruder* (Haake Minilab II) pada suhu 190 °C selama 10 menit lalu ditekan kedalam cetakan. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak persentase kadar serbuk arang bambu maka nilai kekuatan tariknya akan meningkat. Nilai kekuatan tarik tertinggi adalah pada kadar serbuk arang bambu 80% dengan nilai kekuatan tariknya 61,2 MPa yang meningkat 297% dari nilai kekuatan tarik UHMWPE murni yang nilai kekuatan tariknya 18,7 MPa.

Islam *et al* (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Electrical and Tensile Properties of Carbon Black Reinforced Polyvinyl Chloride Conductive Composites*” menunjukkan pengaruh penambahan *filler carbon black* (CB) pada kekuatan tarik polivinil klorida (PVC). Dengan persentase kadar CB adalah 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% yang menunjukkan hasil penelitian yaitu semakin banyak kadar CB, nilai kekuatan tariknya akan bertambah juga hingga persentase kadar CB 15% namun kemudian kekuatan tarik komposit turun ketika kadar CB diatas 15%.

Ganesh *et al* (2018) telah melakukan penelitian tentang *carbon black* digunakan sebagai penguat dalam matrik polypropylene dan ABS (80/20) dengan judul *Influence of Carbon Black (CB) on Mechanical Behaviour and Microscopic Analysis of Poly-propylene (PP)/Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) Nanocomposites*. Dengan variasi persentase kadar *carbon black* yang digunakan adalah 0%, 1%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% dan pembuatan spesimen dilakukan dengan mesin *injection molding* yang menunjukkan hasil penelitian dimana semakin banyak persentase kadar *carbon black* maka nilai kekuatan tariknya akan meningkat hingga kadar *carbon black* 2,5 % dan menurun pada kadar *carbon black* diatas 2,5%.

2.2 Komposit

Komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari kombinasi dari dua atau lebih material yang memiliki sifat fisik berbeda yang mana kombinasinya akan menghasilkan sifat-sifat yang berbeda dari material penyusunnya.

Sifat komposit bergantung pada komponennya, bentuk fisik komponen, dan cara penggabungannya untuk membentuk material baru. Beberapa komposit menggabungkan kekuatan tinggi dengan bobot yang ringan dan sesuai dengan aplikasi seperti komponen pesawat terbang, bodi mobil, lambung perahu, raket tenis, dan pancing. Komposit lainnya memiliki sifat yang kuat, keras, dan mampu mempertahankan sifat ini pada suhu tinggi.

Dari segi teknologi dan komersil material komposit banyak diminati karena faktanya sifat dari material komposit tidak hanya berbeda dari komponen penyusunnya namun seringkali jauh lebih unggul. Beberapa keunggulan material komposit meliputi:

1. Komposit dapat dirancang menjadi sangat kuat dan kaku, namun ringan, dan dapat dirancang memiliki *strength-to-weight* dan *stiffness-to-weight rasio* yang lebih besar dari baja atau aluminium. Sifat ini sangat diminati dalam pengaplikasiannya mulai dari pesawat komersial sampai peralatan olah raga.

2. Sifat kelelahan (*fatigue properties*) pada umumnya lebih baik daripada logam teknik umum. Ketangguhannya seringkali lebih besar juga.
3. Komposit dapat dirancang untuk tahan korosi, hal ini penting untuk digunakan dalam bidang otomotif atau pada aplikasi lainnya.
4. Dengan material komposit memungkinkan untuk mendapatkan kombinasi sifat yang tidak dapat dicapai hanya dengan logam, keramik atau polimer saja.
5. Penampilan yang lebih baik dan kehalusan permukaan yang terkontrol dimungkinkan dengan material komposit tertentu.

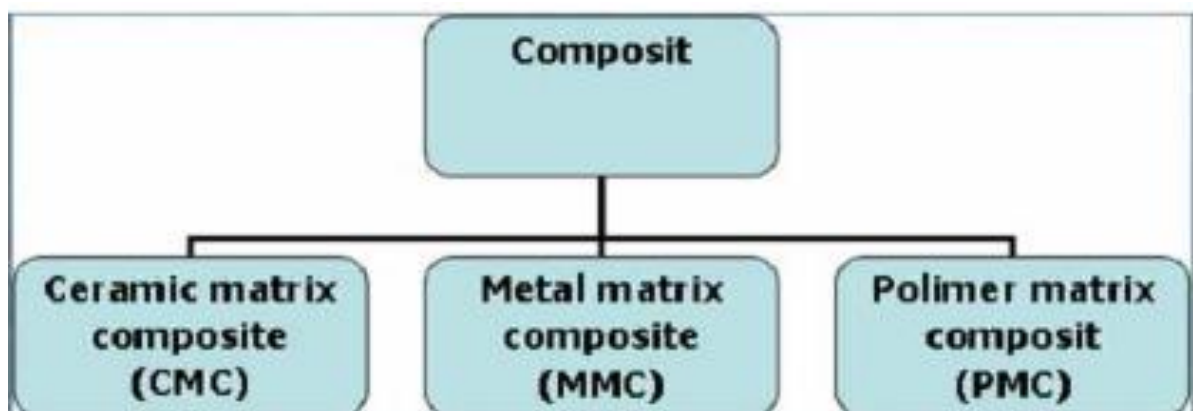
Seiring dengan kelebihanannya, material komposit juga memiliki beberapa kelemahan dan keterbatasan antara lain (Groover 2010:187):

1. Banyak komposit berbasis polimer terkena rentan terhadap reaksi bahan kimia atau pelarut.
2. Material komposit pada umumnya mahal.
3. Metode pembuatan material komposit tertentu lama dan mahal.

2.2.1 Klasifikasi Komposit

2.2.1.1 Berdasarkan Jenis Matriknya

Berdasarkan jenis matriknya komposit dibedakan menjadi 3 macam yaitu *Polymer Matrix Composite* (PMC), *Metal Matrix Composite* (MMC), *Ceramic Matrix Composite* (CMC).



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan matriknya

Sumber: Nurun Nayirah

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

Komposit matriks polimer (PMC) terdiri dari fase primernya adalah polimer dan dimana fase sekunder yang dimasukkan berbentuk serat, partikel, atau serpihan. Secara komersial, PMC adalah komposit yang paling penting dari tiga kelas komposit sintetis

lainnya. Komposit ini mencakup sebagian besar komponen cetakan plastik, karet diperkuat dengan karbon hitam, dan polimer yang diperkuat serat atau *fiber reinforced polymer* (FRPs).

Pada *polymer matrix composites* (PMC) menggunakan polimer termoset adalah polimer yang paling banyak digunakan. Epoksi dan poliester biasanya dicampur dengan penguat serat, dan fenolat yang dicampur dengan serbuk. Pada polimer termoplastik sering diperkuat, biasanya dengan serbuk (Groover 2010).

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

Metal Matrix Composite (MMCs) terdiri dari matriks logam yang diperkuat oleh fase kedua. Biasanya penguat terdiri partikel keramik dan serat dari berbagai bahan, termasuk logam jenis lainnya, keramik, karbon, dan boron.

Metal Matrix Composite (MMCs) meliputi campuran keramik dan logam, seperti karbida yang disemen dan keramik logam lainnya, serta aluminium atau magnesium yang diperkuat dengan serat yang kuat dan memiliki kekakuan tinggi.

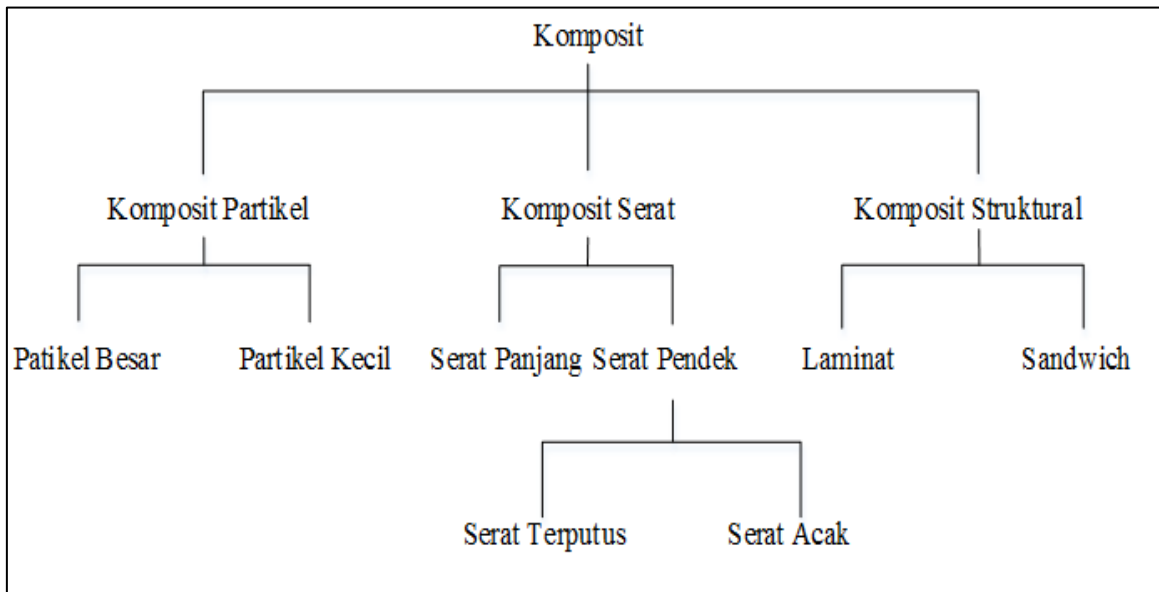
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Ceramic Matrix Composite (CMC) adalah kategori yang paling umum. Aluminium oksida dan silikon karbida adalah bahan yang dapat tertanam dengan serat untuk memperbaiki sifat, terutama untuk diaplikasikan pada suhu tinggi.

Keramik memiliki sifat menarik yaitu : kekakuan tinggi, kekerasan, kekerasan panas, kekuatan tekan; dan kerapatannya relatif rendah. Keramik juga memiliki beberapa kelemahan yaitu: ketangguhan rendah dan kekuatan tarik luar biasa, dan kerentanan terhadap retak termal. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) adalah salah satu cara untuk mempertahankan sifat keramik yang diinginkan dengan mengurangi kelemahannya.

2.2.1.2 Berdasarkan Jenis Penguatnya

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dapat dibedakan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya
Sumber: Callister (2007:579)

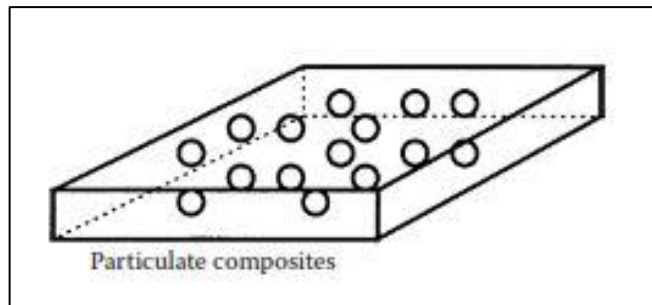
1. Komposit Partikel

Menurut Irmansyah (2015) komposit partikel adalah komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk partikel atau sebuk. Partikel sebagai elemen yang sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang terdistribusikan oleh matriks. Ukuran bentuk dan material partikel adalah faktor faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dari komposit partikel.

Komposit partikulat terdiri dari partikel yang terendam dalam matriks seperti paduan dan keramik. Komposit partikulat memiliki keuntungan seperti meningkatkan kekuatan, suhu operasi yang meningkat, ketahanan oksidasi. Contoh tipikal termasuk penggunaan partikel aluminium pada karet; partikel silikon karbida dalam aluminium; dan kerikil, pasir, dan semen untuk membuat beton (Kaw, 2006:16).

Menurut Nurun Nayiroh beberapa keuntungan dari material komposit partikel adalah:

- a. Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.
- b. Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material.
- c. Cara penguatan dan pengerasan oleh partikulat adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.



Gambar 2.3 Komposit partikel
Sumber: Kaw (2006:18)

Komposit partikel dibedakan menjadi dua yaitu:

a. *Large particle composite*

Pada komposit jenis ini, diameter partikel pengisinya diatas $0,1 \mu\text{m}$ (100 nm). Dan interaksi antara partikel penguat dan matriksnya tidak dapat terjadi pada tingkat atom atau molekul. Untuk sebagian besar pada komposit ini, fase partikelnya lebih keras dan lebih kaku dari pada matriksnya. Partikel penguat ini cenderung menahan pergerakan fase matriks di sekitar masing-masing partikel. Intinya, matriks memindahkan beberapa tekanan yang diberikan ke partikel, yang menanggung sebagian kecil dari muatan. Tingkat peningkatan sifat mekanik bergantung pada ikatan kuat antara matriks dan partikel pengisinya.

b. *Dispersion strengthened composite*

Pada *dispersion strengthened composite* partikel pengisinya biasanya jauh lebih kecil dari pada *large particle composite*, dengan diameter antara $0,01$ dan $0,1 \mu\text{m}$ (10 dan 100 nm). Interaksi antara partikel pengisi dan matriks terjadi pada tingkat atom atau molekuler. Ketika matriks menahan sebagian besar beban yang diterapkan, partikel-partikel kecil yang terdispersi menghambat atau menghalangi gerakan dislokasi. Sehingga, deformasi plastis dibatasi sedemikian rupa sehingga kekuatan tarik, serta kekerasannya meningkat (Callister 2007:580).

2. Komposit Serat

Komposit serat atau *fiber reinforced composite* adalah komposit material penguatnya berupa serat dan diikat oleh matrik Serat berfungsi sebagai penopang kekuatan dari komposit, oleh karena itu tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Komposit serat dibagi menjadi dua macam yaitu komposit serat panjang dan komposit serat pendek.

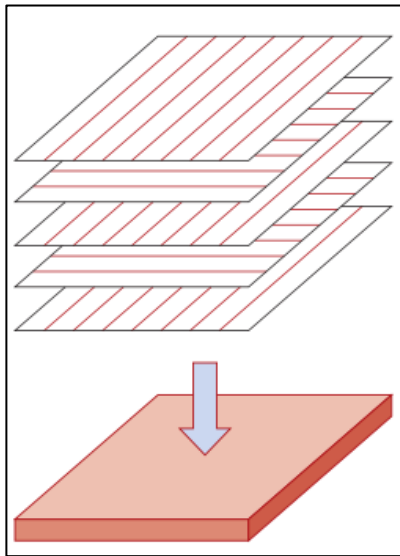
3. Komposit Struktural

Komposit struktural dibentuk oleh penguat yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Komposit struktural biasanya terdiri dari material homogen dan komposit, sifat-sifatnya tidak hanya bergantung pada sifat bahan penyusunnya tetapi juga pada desain geometris dari berbagai elemen strukturalnya (Callister 2007:610).

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur laminar dan struktur *sandwich*.

a. *Laminar composite*

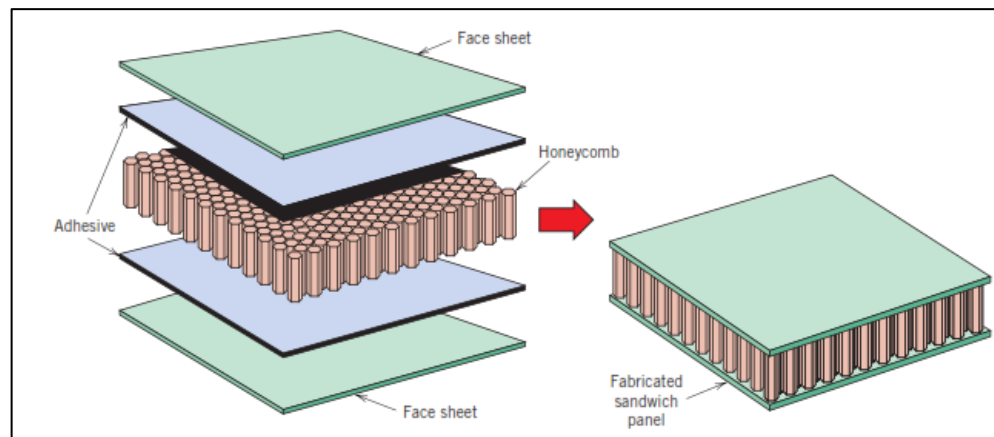
Laminar composite adalah komposit yang terdiri dari lembaran atau panel. Lapisan lembaran disusun dan selanjutnya direkatkan sehingga orientasi arah kekuatannya bervariasi sesuai dengan masing-masing lapisan.



Gambar 2.4 Penyusunan komposit laminar
Sumber: Callister (2007:611)

b. *Sandwich panel*

Sandwich panel merupakan komposit structural yang dirancang menjadi balok atau panel ringan yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang relatif tinggi. *Sandwich panel* terdiri dari dua lembar lapisan luar, yang dipisahkan oleh inti (*core*). Lembaran luar terbuat dari bahan yang relatif kaku dan kuat, biasanya paduan aluminium, titanium, baja, atau kayu lapis, yang dapat memberikan kekakuan dan kekuatan yang tinggi pada struktur, dan harus cukup tebal untuk menahan tekanan tarik dan tekan yang dihasilkan dari pembebanan. Sedangkan untuk bagian inti (*core*) berbahan dasar ringan, dan biasanya memiliki modulus elastisitas rendah.



Gambar 2.5 Skema struktur *honeycomb* pada *structural composite*
 Sumber: Callister (2007:612)

2.2.2 Matriks

Polimer, logam, dan keramik yang digunakan sebagai material matrik dalam komposit tergantung pada kebutuhan tertentu. Manfaat matrik di dalam komposit mengikat serat secara bersama-sama dalam suatu unit struktural dan melindungi serat tersebut dari kerusakan eksternal, mentransfer dan mendistribusikan beban ke serat, dan pada beberapa kasus memberikan sifat yang diinginkan seperti keuletan, ketangguhan, atau isolasi listrik (Gibson, 1994:14).

Sebagai komponen utama pembentuk komposit, dalam melakukan pemilihan terhadap matrik harus memperhatikan batas mulur (*elongation*). Matrik yang digunakan sebaiknya mempunyai batas mulur yang lebih besar daripada batas mulur *filler*. Ikatan antarmuka yang kuat antara matrik dan *filler* sangat diperlukan, oleh karena itu matrik harus mampu menghasilkan ikatan mekanis atau kimia dengan *filler*. Matrik ini juga harus cocok secara kimia dengan *filler*, sehingga reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada *interface*. Matrik dan *filler* sebaiknya mempunyai sifat-sifat mekanis yang saling melengkapi diantara keduanya (Gibson, 1994:14).

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut (Nurun Nayiroh, 2015).

- Mentransfer tegangan ke serat
- Melindungi serat
- Memisahkan serat
- Melepas ikatan
- Tetap stabil setelah proses manufaktur

2.2.3 Filler

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Penguat dari komposit pada umumnya mempunyai sifat yang kurang ulet tetapi lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat ini yaitu untuk memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi serta sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit tergantung dari penguat yang digunakan. Tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban yang diterima sampai beban maksimum. Oleh karena itu penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan matrik penyusun dari komposit.

Telah dilakukan penelitian bahwa partikel halus lebih efektif memperkuat komposit daripada partikel kasar pada fraksi volume yang sama. Partikel halus menghasilkan jarak antar partikel lebih rapat. Partikel kasar lebih mudah dicampur pada matrik tetapi rentan terhadap penggumpalan karena gravitasi dan dapat menghasilkan berat yang berbeda dalam hasil pencampuran, selain itu rentan terhadap retakan sehingga sifat mekaniknya buruk. Namun partikel halus dalam matriks yang mencair dapat terjadi pengelompokan partikel. Telah dilakukan penelitian bahwa paling banyak partikel yang digunakan berukuran 10-20 μ m untuk mengurangi *ductility*. (Nyala, 2017)

2.2.4 Karbon Aktif

Menurut Lempang (2014) arang aktif atau karbon aktif adalah suatu karbon yang mempunyai kemampuan daya serap yang baik terhadap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas. Beberapa bahan yang mengandung banyak karbon dan terutama yang memiliki pori dapat digunakan untuk membuat arang aktif.

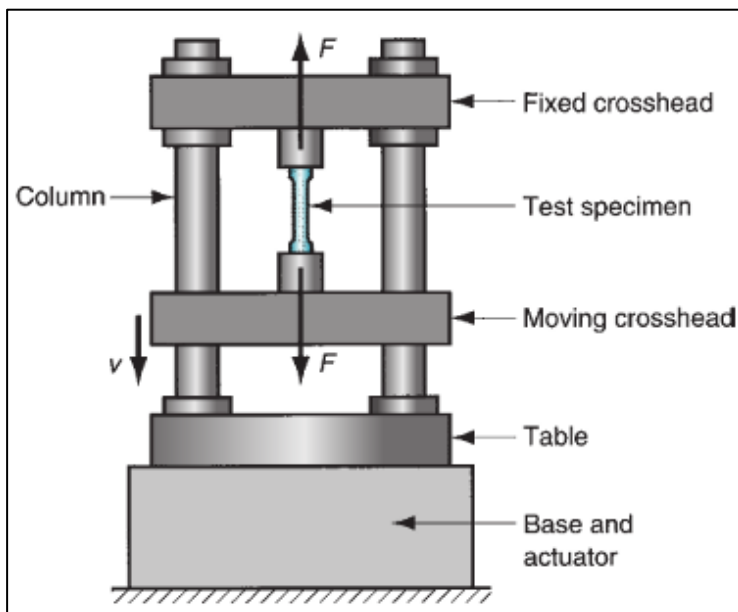
Menurut Suhartana (2006) arang aktif adalah arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap. Arang aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon baik organik atau anorganik, tetapi yang biasa beredar di pasaran berasal dari tempurung kelapa, kayu dan batubara. Pada umumnya arang aktif digunakan sebagai bahan penyerap dan penjernih. Dalam jumlah kecil digunakan juga sebagai katalisator. Sifat adsorpsi arang aktif sendiri tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif.

Struktur arang/karbon aktif menyerupai struktur grafit. Grafit mempunyai susunan seperti pelat-pelat yang sebagian besar terbentuk dari atom karbon yang berbentuk heksagonal. Jarak antara atom karbon dalam masing-masing lapisan. Pada grafit, jarak antara pelat-pelat lebih dekat dan terikat lebih teratur daripada struktur karbon aktif.

Dalam aplikasi selain untuk penyerapan arang aktif atau karbon aktif banyak dipakai sebagai material penguat dalam polimer. Karbon aktif terdiri dari partikel karbon yang sangat kecil dan pada dasarnya berbentuk bola dan hanya memiliki kandungan air yang sedikit. Ketika ditambahkan pada material karet, karbon dapat meningkatkan kekuatan tarik, ketangguhan, dan ketahanan abrasi. Agar dapat meningkatkan kekuatan yang signifikan, ukuran partikel harus sangat kecil, sekitar 20nm hingga 50nm, selain itu pesebarannya harus merata di seluruh matriksnya dan harus memiliki ikatan tarik menarik yang kuat dengan matriksnya (Callister 2007:581).

2.3 Uji Tarik

Uji tarik adalah prosedur yang paling umum untuk mempelajari hubungan tegangan-regangan pada suatu material. Dalam pengujian tarik, sebuah gaya diberikan pada material yang menyebabkan material tersebut cenderung memanjang dan mengurangi diameternya hingga patah. Proses pengujian tarik ditunjukkan seperti Gambar 2.8 dengan Standar oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Kemampuan maksimum material dalam menahan beban tarik adalah hal utama dalam pengujian tarik. Kemampuan ini umumnya disebut kekuatan tarik maksimum atau “*Ultimate Tensile Strength*”.



Gambar 2.6 Skema uji tarik
Sumber: Groover (2010:40)

2.3.1 Hubungan Tegangan Dan Regangan

Hasil dari pengujian tarik dapat dijelaskan dengan hubungan tegangan – regangan. Perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang mula-mula (L_0) disebut regangan (ε). Sedangkan nilai pembebanan yang terjadi (P) pada suatu luas penampang (A) disebut dengan tegangan (σ). Tegangan normal akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Sumber: Surdia (1999)

Keterangan:

P = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm^2)

σ = Tegangan (Mpa)

Sedangkan regangan dapat diditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2-2)$$

Sumber: Surdia (1999)

Dimana $\Delta L = L - L_0$

Keterangan:

ε = Regangan

L = Perubahan panjang spesimen akibat beban tarik (mm)

L_0 = Panjang spesimen mula-mula (mm)

Perbandingan antara tegangan regangan yang berada pada daerah proporsional dapat dilihat dari besarnya nilai modulus elastisitasnya komposit dan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2-3)$$

Sumber: Surdia (1999)

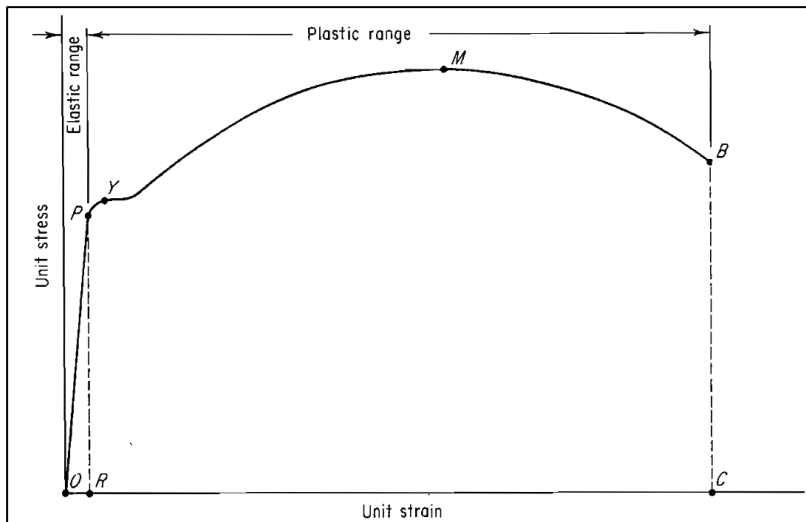
Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

Hubungan tegangan regangan dapat diketahui dari kurva tegangan – regangan sebagai berikut.



Gambar 2.7 Hubungan tegangan dengan regangan

Sumber: Avner S.H., *Introduction to Physical Metallurgy* (1974:38)

Istilah mengenai sifat-sifat mekanik bahan dengan melihat hasil uji tarik diatas. Asumsikan bahwa kita melakukan uji tarik mulai titik 0 sampai B sesuai dengan arah panah dalam Gambar 2.9.

1. Daerah Elastis (*Elastic Range*)

Dalam gambar diatas dinyatakan dengan daerah pada titik 0 sampai dengan R. Daerah terjadinya deformasi elastis, yang dimana kenaikan tegangan dan regangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linier atau nilai perubahan tegangan dan regangan sama.

2. Batas proporsional (*P*)

Titik sampai dimana penerapan hukum Hooke masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek biasanya, batas proporsional sama dengan batas elastis, yang mana merupakan batas dari keseimbangan antara penambahan tegangan dan regangan.

3. Tegangan luluh (*Yield Stress*)

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

4. Daerah plastis

Daerah dimana terjadinya deformasi plastis yang terjadi setelah *yield strength* sampai *fracture*. Kenaikan tegangan regangan merupakan fungsi *polynomial* sampai titik *ultimate strength*, kemudian putus sampai *fracture*.

5. *Ultimate Tensile Strength (M)*

Titik terjadinya tegangan regangan tertinggi yang dapat dicapai material atau spesimen. Pada saat titik *Ultimate (M)*, spesimen mengalami *necking* (pengecilan penampang)

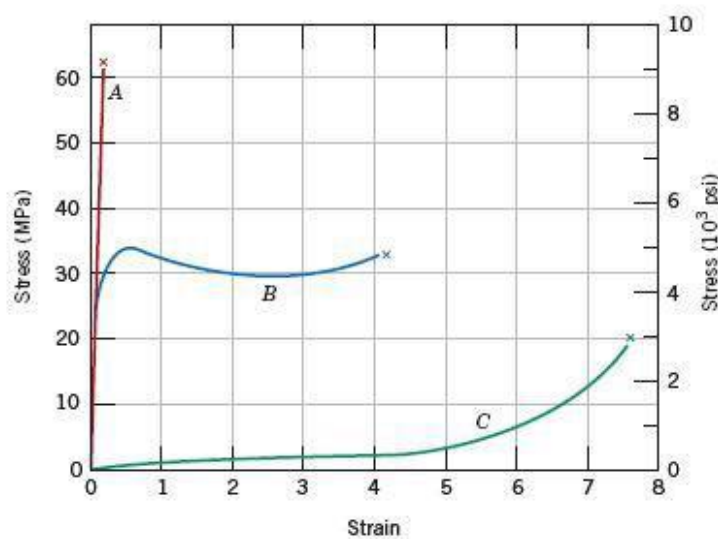
dengan diikuti penurunan tegangan, tapi panjangnya tetap bertambah sampai akhirnya putus.

6. *Fracture (B)*

Titik dimana terjadinya patahan pada spesimen.

2.3.2 Tegangan dan Regangan Bahan Polimer

Sifat mekanik polimer mempunyai parameter yang hampir sama dengan yang dimiliki oleh logam, di antaranya modulus elastisitas, tegangan luluh dan kekuatan tarik. Berikut adalah perbedaan dari tiga tipe dari grafik tegangan dan regangan untuk bahan polimer.



Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan untuk polimer a) getas (*brittle*); b) plastis; dan c) elastomer (*highly elastic*)

Sumber : Callister (2007:525)

2.4 Polimer

Polimer adalah senyawa yang terdiri dari molekul yang memiliki rantai yang panjang, setiap molekulnya terdiri dari unit yang berulang-ulang dan terhubung bersama. Mungkin ada ribuan, bahkan jutaan unit dalam satu molekul polimer. Secara Bahasa polimer dalam Bahasa Yunani terdiri dari kata *poly*, yang berarti banyak, dan kata *meros* yang berarti *part* atau komponen (Groover, 2010:153).

Polimer terdiri dari plastik dan karet. Polimer dibagi menjadi 3 kategori, yaitu *thermoplastic*, *thermoset* dan *elastomer*. *Thermoplastic* dan *thermoset* termasuk dalam kategori plastik dan *elastomer* termasuk dalam kategori karet.

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah material yang berbentuk padat pada temperatur ruang, tetapi akan menjadi (*viscous liquid*) cairan yang kental ketika dipanaskan pada suhu beberapa ratus

derajat. Karakteristik ini membuat polimer *thermoplastic* menjadi mudah dan ekonomis untuk dibentuk menjadi produk. Polimer *thermoplastic* dapat mengalami siklus pemanasan dan pendinginan berulang kali tanpa mengalami degradasi polimer yang signifikan.

2. *Thermoset*

Thermoset tidak bisa mengalami siklus pemanasan yang berulang seperti material *thermoplastic*. Ketika awal dipanaskan, material *thermoset* melunak dan mengalir ke dalam cetakan, namun temperatur yang tinggi juga menghasilkan reaksi kimia yang mengerasakan material menjadi material padat yang tidak dapat dicarikan. Jika dipanaskan lagi, polimer *thermosetting* akan menurun dan cenderung menjadi hangus dari pada menjadi lunak.

3. *Elastomer*

Elastomer adalah polimer yang menunjukkan perpanjangan elastis yang ekstrem saat mengalami tegangan mekanis yang relatif rendah. Beberapa *elastomer* dapat diregangkan dan belum sepenuhnya pulih ke bentuk semula. Meskipun sifat *elastomer* sangat berbeda dari *thermoset*, tetapi memiliki struktur molekul *elastomer* dan *thermoset* serupa dan berbeda dari *thermoplastic*.

Penggunaan polimer untuk berbagai aplikasi terus meningkat. Secara volumetrik, penggunaan polimer saat ini melebihi logam. Hal ini ditunjang dari beberapa kelebihan polimer dari material lainnya, antara lain:

1. Plastik dapat dibentuk menjadi bentuk yang rumit, tanpa proses lebih lanjut.
2. Densitas plastik relative lebih rendah daripada logam dan keramik
3. Memiliki ketahanan korosi yang tinggi
4. Konduktivitas listrik dan termal rendah.
5. Biaya polimer lebih murah dari logam.
6. Polimer umumnya membutuhkan lebih sedikit energi untuk diproduksi daripada logam. Hal ini umumnya berlaku karena suhu untuk polimer jauh lebih rendah daripada logam.
7. Plastik tertentu tembus pandang dan / atau transparan, yang dapat bersaing dengan kaca dalam beberapa aplikasi.
8. Polimer banyak digunakan untuk material komposit.

2.4.1 Sifat Mekanik Polimer

Menurut Febryanto (2013) polimer memiliki beberapa sifat mekanik diantaranya adalah:

1. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan merupakan salah satu sifat mekanik dari polimer. Ada beberapa macam kekuatan dalam polimer, diantaranya yaitu:

a. Kekuatan tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel. Kekuatan tarik dari bahan polimer umumnya memiliki nilai yang lebih rendah dari material logam. Pada resin biasa seperti polistiren, polietilen dan polipropilen kekuatan tariknya antara 0,7 - 8,4 kgf/mm² (Surdia 1999).

b. *Compressive strength*

Adalah ketahanan terhadap tekanan. Bahan polimer dapat mengalami deformasi yang besar, pada umumnya nilai kekuatan tekan lebih besar dari pada kekuatan tarik.

c. *Flexural strength*

Adalah ketahanan pada bending (*flexing*). Polimer mempunyai *flexural strength* jika dia kuat saat dibengkokkan.

d. *Impact strength*

Adalah ketahanan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Kekuatan impak adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. Umumnya kekuatan impak bahan polimer lebih kecil dari pada kekuatan impak logam. Polimer mempunyai kekuatan impak jika dia kuat saat dipukul dengan keras secara tiba-tiba seperti dengan palu.

2. *Elongation*

Semua jenis kekuatan memberitahu kita berapa tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan sesuatu, tetapi tidak memberitahu kita tentang apa yang terjadi pada sampel kita saat kita mencoba untuk mematahkannya, itulah kenapa kita mempelajari elongasi dari polimer. Elongasi merupakan salah satu jenis deformasi.

Deformasi merupakan perubahan ukuran yang terjadi saat material di beri gaya. Elongasi adalah panjang polimer setelah di beri gaya (L) dibagi dengan panjang sampel sebelum diberi gaya (L₀) kemudian dikalikan 100%. *Elongation-to-break (ultimate elongation)* adalah regangan pada sampel pada saat sampel patah. Elastomer memiliki *ultimate elongation* yang tinggi.

3. Modulus

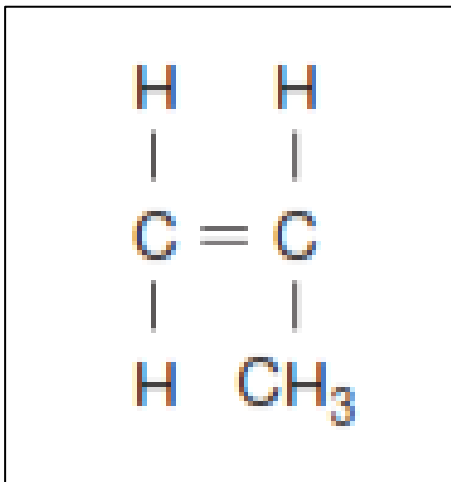
Modulus diukur dengan menghitung tegangan dibagi dengan elongasi. Satuan modulus sama dengan satuan kekuatan (N/cm²).

4. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan adalah pengukuran sebenarnya dari energi yang dapat diserap oleh suatu material sebelum material tersebut patah.

2.4.2 *Polypropylene*

Menurut Darajat (2008) secara bahasa, *polypropylene* berasal dari kata “*poly*” yang berarti banyak dan “*propylene*” yang berarti senyawa hidrokarbon yang memiliki atom karbon berjumlah tiga dan atom hidrogen berjumlah enam dengan satu ikatan rangkap pada atom karbonnya dengan rumus molekul C_3H_6 . Sehingga *polypropylene* dapat diartikan sebagai suatu molekul besar dengan banyak unit berulang yang mana setiap unitnya identik dengan propilena.



Gambar 2.9 Struktur kimia *propylene*
Sumber: Groover (2010:157)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi ($180^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}$), sedangkan titik kristalisasinya antara $130^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}$. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah (Mujiarto, 2005).

Polypropylene (PP) telah banyak dipakai menjadi bahan baku yang utama diantara jenis plastik lainnya, khususnya untuk proses *injection molding*, sejak diperkenalkan pada akhir 1950-an. PP adalah jenis plastik yang paling ringan, dan memiliki *strength to weight ratio* yang tinggi. PP sering dibandingkan dengan HDPE karena biayanya dan banyak sifatnya yang serupa. Aplikasi pemakaian PP adalah untuk peralatan rumah tangga dan otomotif, dan produk serat untuk karpet. Spesifikasi *polypropylene* dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Spesifikasi *Polypropylene*

Spesifikasi	Besaran	Satuan
Modulus Elastisitas	1400	MPa
Kekuatan Tarik	35	MPa
Elongasi	10-500	%
Temperatur leleh	176	°C
Massa jenis	0,9	gr/cm ³

Sumber: Groover (2010:170)

Polypropylene mempunyai sifat mampu bentuk yang baik sehingga banyak dipakai sebagai bahan dalam produksi peralatan meja makan, keranjang, peralatan kamar mandi, keperluan rumah tangga, mainan, peralatan listrik, barang-barang kecil, komponen mobil dan lain-lain. (Surdia 1999:213). Sifat – sifat *polypropylene* antara lain:

1. Massa jenisnya rendah (0,90gr/cm³ – 0.92gr/cm³)
2. Jenis polimer yang ringan
3. Memiliki temperatur leleh yang tinggi (176°C)
4. Kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekakuannya lebih tinggi dari HDPE
5. Sifat tembus cahaya lebih baik dari polietilen
6. Penyusutan pada hasil cetakan kecil

2.5 Proses Produksi Plastik

Macam–macam metode untuk memproses plastik bergantung pada jenis dan sifat dari polimer itu sendiri, khususnya apakah polimer itu termoplastik atau *thermosetting*. Polimer termoplastik dapat dipanaskan untuk mendapatkan material yang mudah dibentuk. Kemudian material dapat dicor atau diinjeksikan ke dalam cetakan, atau didesak masuk melalui cetakan untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan. Sedangkan polimer *thermosetting* tidak demikian karena ketika terjadi polimerisasi, struktur kerangka akan terbentuk dan tidak akan terjadi deformasi.

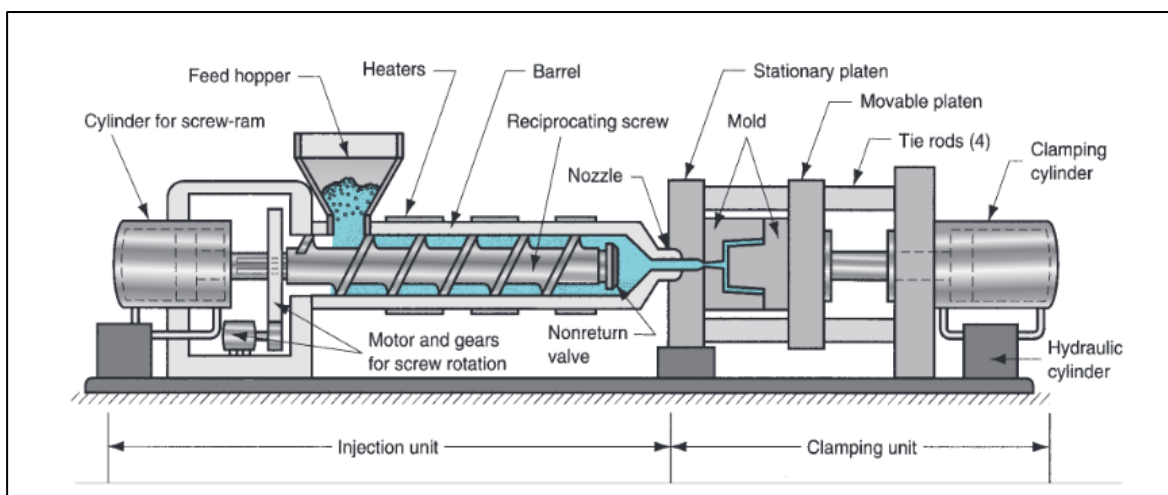
Casting, blow molding, compression molding, transfer molding, cold molding, injection molding, reaction injection molding, extrusion, thermoforming, rotational molding, dan forming molding adalah macam–macam cara untuk memproses polimer. Setiap proses memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing yang berhubungan dengan desain, material yang cocok, dan biaya produksi (De Garmo 1998:557).

2.5.1 Injection Molding

Injection molding adalah salah satu proses yang banyak digunakan untuk produksi skala besar dari komponen-komponen thermoplastik. Dimana butiran bahan baku akan masuk dari *hopper* (wadah butir bahan baku) karena adanya gaya gravitasi ke dalam rongga di depan sebuah *plunger* yang bergerak. Saat *plunger* melaju, materialnya didesak masuk ke ruang yang dipanaskan, yang sudah dipanaskan sebelumnya. Setelah itu, material didesak melalui bagian torpedo, dimana material akan dilelehkan dan dipanaskan sampai suhu 400°F hingga 600°F (200°C hingga 300°C). Material akan keluar dari bagian torpedo melalui *nozzle* yang menempel pada cetakan. Jenis lain dari injeksi unit adalah dengan menggunakan *screws* yang mana akan berputar secara aksial, atau dengan kombinasi antara *screws* dan *plungers*, untuk mengontrol aliran dari material dan memberikan tekanan kepadanya (De Garmo 1998:561).

Menurut Groover (2010), *injection molding* adalah proses dimana polimer dipanaskan hingga keadaan yang sangat plastis dan ditekan untuk dialirkan dengan tekanan tinggi ke dalam rongga cetakan hingga membeku. Komponen yang tercetak disebut *molding*, dan kemudian dipisahkan dari rongga.

Pada proses *injection molding* memungkinkan untuk membuat benda atau produk yang memiliki bentuk kompleks dan rumit.



Gambar 2.10 Mesin *injection molding* jenis *screw*
Sumber: Groover (2010:186)

Menurut Hakim (2016) *injection molding* mempunyai beberapa komponen dasar sebagai berikut:

- a) *Hopper* yang berfungsi untuk menempatkan material di mesin.
- b) *Barrel* merupakan tempat untuk pemrosesan material sebelum diinjeksi ke cetakan.

- c) *Nozzle* adalah bagian dari mesin yang berfungsi untuk menginjeksikan plastik ke dalam mold atau cetakan.
- d) *Tie Bar* digunakan sebagai penyangga untuk *mold*, *clamping*, dan *ejector*
- e) *Hydraulic Motor* berfungsi untuk mendorong *screw* pada saat injeksi dan memutar *screw* pada saat pengisian material.
- f) *Stationary platen* adalah *plate* yang tidak bergerak (diam) sebagai tempat *locating ring* pada saat menaikkan *tooling*
- g) *Moveable platen* adalah *plate* yang bergerak dengan arah maju dan mundur pada saat beroperasi/produksi.
- h) *Clamping unit* adalah berfungsi untuk membuka dan menutup *mold* pada saat beroperasi atau produksi.
- i) *Ejector* adalah berfungsi sebagai pendorong produk yang sudah tercetak

2.5.2 Parameter Proses *Injection Molding*

Dalam proses *injection molding* agar didapatkan produk yang memiliki kualitas yang optimal, dapat ditentukan dengan mengatur beberapa parameter yang dapat mempengaruhi jalannya proses produksi serta produk *injection molding* tersebut. Parameter- parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan adapula yang mempunyai peran yang signifikan dalam mempengaruhi hasil produksi yang diinginkan.

Menurut Firdaus (2002) parameter-parameter mempengaruhi produk dari proses produksi plastik pada proses *injection molding* adalah:

1. Temperatur leleh (*melt temperature*)
Adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh kalau diberikan energi panas.
2. Batas tekanan (*pressure limit*)
Adalah batas tekanan udara yang diberikan untuk menggerakkan piston guna menekan bahan plastik yang telah dilelehkan ke dalam rongga cetakan. Terlalu rendah tekanan, maka bahan plastik kemungkinan tidak akan keluar atau terinjeksi ke dalam cetakan. Akan tetapi jika tekanan udara terlalu tinggi dapat mengakibatkan tersemburnya bahan plastik dari dalam cetakan dan hal ini akan berakibat proses produksi menjadi tidak efisien.
3. Waktu tahan (*holding time*)
Adalah waktu yang diukur dari saat temperatur leleh yang diset telah tercapai hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah meleleh

semuanya. Hal ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan. Dikhawatirkan jika waktu tahan ini terlalu cepat maka sebagian bahan plastik dalam tabung pemanas belum meleleh semuanya, sehingga akan mempersulit jalannya aliran bahan plastik dari dalam *nozzle*.

4. Waktu penekanan (*holding pressure time*)

Adalah durasi atau lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada piston yang mendorong plastik yang telah leleh. Pengaturan waktu penekanan bertujuan untuk me yakinkan bahwa bahan plastik telah benar-benar mengisi ke seluruh rongga cetak. Oleh karenanya waktu penekanan ini sangat tergantung dengan besar kecilnya dimensi cetakan (*mold*). Makin besar ukuran cetakan makin lama waktu penekan yang diperlukan.

5. Temperatur cetakan (*mold temperature*)

Yaitu temperatur pemanasan awal cetakan sebelum dituangi bahan plastik yang meleleh.

6. Kecepatan injeksi (*injection rate*)

Yaitu kecepatan lajunya bahan plastik yang telah meleleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi rongga cetak. Untuk mesin-mesin injeksi tertentu kecepatan ini dapat terukur, tetapi untuk mesin-mesin injeksi sederhana kadang-kadang tidak dilengkapi dengan pengukur kecepatan ini.

7. Ketebalan dinding cetakan (*wall thickness*)

Menyangkut desain secara keseluruhan dari cetakan (*moulding*). Semakin tebal dinding cetakan, semakin besar kemungkinan untuk terjadinya cacat *shrinkage*.

2.6 Hipotesis

Menurut penelitian sebelumnya serta menurut kajian pustaka di atas maka dapat dibuat hipotesis bahwa dengan bertambahnya persentase karbon aktif tempurung kelapa maka akan mempengaruhi kekuatan tarik *polypropylene*.