

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penulisan Tugas akhir dibutuhkan suatu penelitian terlebih dahulu, untuk dijadikan sebuah referensi untuk diobservasi. Berikut ini merupakan beberapa referensi yang berkaitan, yaitu:

Wawan dkk (2017), dalam penelitiannya mengenai Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan Campuran (PP+PET). Penelitiannya menggunakan metode pengujian *impact* sehingga mengetahui uji impak pada plastik sampah daur ulang dan bertujuan untuk mengetahui sifat fisik, keuletan, ketangguhan dari plastik sampah daur ulang. Spesimen uji impak berdasarkan sampel standar (ASTM E 23) yaitu batang uji Charpy memiliki dimensi ukuran yaitu 10 x 10 x 100 mm (tinggi x lebar x panjang). Dengan posisi takik (*notch*) berada di tengah, dengan bentuk takikan huruf V, kedalaman takik 2 mm dari permukaan benda uji dan sudut takik 45°. Spesimen dibuat sesuai sampel dengan pengujian dilakukan sebanyak 10 kali, dengan hasil nilai rata-rata specimen adalah plastik jenis *polypropylene* nilai mean energy impaknya = 1,31 joule dan nilai mean kekuatan impak / *impact strength* = 0,0161 joule/mm². plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* nilai mean energy impaknya = 1,15 joule dan nilai mean kekuatan impak / *impact strength* nya = 0,0138 joule/mm², plastik campuran antara PP dan PET nilai mean energy impaknya = 1,18 joule dan nilai mean kekuatan impak / *impact strength* = 0,0145 joule/mm². Hasil pengujian ini plastik *Polypropelin* mempunyai nilai harga impak tertinggi untuk plastik sampah daur ulang.

Firdaus dkk (2002), dengan penelitiannya yang berjudul Studi *Eksperimental* Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (*Shrinkage*) Pada Benda Cetak *Pneumatics Holder*. Studi *eksperimental* ini melakukan percobaan pembuatan produk *pneumatics holder* dengan memvariasikan beberapa parameter proses pada mesin *injection moulding* yang ada. Parameter proses meliputi: temperatur leleh (*melting point*), tekanan udara (*air pressure*), waktu penahanan (*holding time*), dan waktu penekanan (*pressure duration*). Hasil studi menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang tepat sangat berpengaruh terhadap hasil benda cetak yang diinginkan, sehingga

perlu dicari parameter terbaik untuk setiap benda cetak berdasarkan jenis bahan baku plastik yang ada. Selain itu, parameter temperatur leleh sangat signifikan pengaruhnya terhadap cacat *shrinkage*.

Agus (2005), dengan penelitiannya yang berjudul *Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection*. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis. *Plastic injection* merupakan proses *manufactur* untuk membuat produk dengan bahan dasar plastik atau dalam kesempatan ini *polypropylene*. Pada proses tersebut seringkali terjadi cacat produk seperti pengerutan, retak, dimensi tidak sesuai dan kerusakan saat produk keluar dari *mold*, sehingga banyak material yang terbuang percuma. Meskipun cacat produk tersebut dipengaruhi banyak factor, tetapi yang paling utama adalah masalah *shrinkage*, atau penyusutan material setelah terjadi pendinginan. Sangat penting untuk melakukan prediksi lebih awal terjadinya penyusutan setelah pendinginan untuk menghindari cacat produk. Dalam penelitian ini akan dilakukan prediksi *shrinkage* yang akan digunakan untuk material *polypropylene* dengan cara perhitungan standar. Pembuatan modeling dalam bentuk 3D (tiga dimensi) *injection molding* baik *cavity* maupun *corenya* dengan menggunakan CATIA, kemudian dilakukan analisis dengan *software MoldFlow* untuk pembuatan mesh dan memberikan batasan panas pada komponen sehingga dapat diketahui mode penyusutannya. Analisis ini akan memberikan gambaran tentang distribusi panas pada *mould* dan memberikan tentang gambaran aliran fluida. Pada analisis tersebut dapat dilihat gejala terjadinya cacat produk, jika hal itu terjadi maka perlu dilakukan perubahan *shrinkage*, sampai diperoleh hasil analisis yang baik.

Bernadeth dkk (2010), dengan penelitiannya yang berjudul *Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni Dan Daur Ulang*. Penelitian ini membandingkan sifat mekanik dan permukaan patahan *polypropylene* (PP) murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial yang biasa dipakai sebagai gantungan pakaian. Pengujian termal dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) menunjukkan bahwa daur ulang tidak menyebabkan perubahan titik leleh yang signifikan (tetap berada pada kisaran 160-163 °C). Identifikasi dengan *Fourier*

Transform Infrared (FTIR) menunjukkan bahwa PP daur ulang komersial mengandung campuran unsur *polyethylene* (PE) yang tidak terdapat pada PP murni dan PP daur ulang. Hasil uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan antara PP murni dan PP daur ulang. Di sisi lain hasil uji tarik PP daur ulang menunjukkan bahwa kuat tarik lebih rendah 22,1% daripada PP murni, modulus Young turun 8,1%, dan strain-at-break berkurang secara drastis sebesar 65,7%. Uji kekerasan pada PP daur ulang komersial menunjukkan bahwa kekerasan relatif tidak berubah. Pengamatan permukaan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memperlihatkan PP daur ulang komersial memiliki permukaan yang relatif lebih datar dengan ukuran butir lebih kecil dibandingkan dengan permukaan PP murni, yang menunjukkan bahwa bahan PP daur ulang komersial lebih *brittle* dibandingkan PP daur ulang. Hasil ini mendukung hasil uji tarik dimana terjadi penurunan signifikan pada *strain at break* PP daur ulang komersial. Dapat disimpulkan bahwa PP daur ulang memiliki sifat mekanik yang sama dengan PP murni, sehingga layak digunakan sebagai gantungan pakaian.

Jatmiko dkk (2018) dengan penelitiannya yang berjudul pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. hasil penelitian menunjukkan bahwa massa jenis minyak pirolisis adalah 0,8 g/ml. waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis suatu benda adalah 4,02 menit. pemasakan air menggunakan bahan bakar minyak pirolisis menghasilkan temperatur 75°C pada waktu pemasakan 4 menit dengan volume air yang hilang (menguap) sebesar 12,6 ml. 2) dari 4 parameter yang diamati, kualitas minyak pirolisis berada di bawah minyak tanah namun di atas minyak solar.

Anita (2015), dengan penelitiannya yang berjudul Pengaruh Penggunaan Plastik *Polyethylene* (Pe) Dan *High Density Polyethylene* (Hdpe) Pada Campuran *Lataston Wc* Terhadap Karakteristik *Marshall*. Penelitian ini mencoba menggunakan limbah plastik jenis *Polyethylene* (PE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai pengganti sebagian aspal untuk campuran *lataston* dalam kadar 0%, 2%, 4% dan 6%. Penggunaan PE dan HDPE pada jenis ini

memberikan pengaruh pada campuran latakton terhadap berbagai karakteristik *Marshall* yakni untuk nilai stabilitas, kelelahan dan VFA yang cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai Flow, VIM, VMA dan MQ yang cenderung mengalami penurunan. Pengaruh campuran aspal HDPE memberikan nilai atau hasil karakteristik *Marshall* yang lebih bagus dibandingkan campuran aspal PE.

Anwar dkk (2017), dengan penelitiannya yang berjudul analisa penyusutan produk plastik pada proses *injection molding* menggunakan media pendingin *cooling tower* dan udara dengan material *polypropylene*. Penelitian ini dilakukan dengan metode Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa penyusutan produk plastik pada proses *injection molding* menggunakan media pendingin *cooling tower* dan udara yang dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pendinginan pada *mold* terhadap seberapa besar nilai cacat penyusutan dimensi produk plastik antara media pendinginan *cooling tower* dan udara serta untuk mengetahui pengaruh terhadap efektifitas yang terjadi dalam proses *injection molding*.

Tabel 2.1 Komparasi Kajian Pustaka

Tahun	DATA SUMBER JURNAL PROPOSAL		
	Nama Peneliti	Judul	Kesimpulan
2017	Wawan dkk	Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan Campuran (PP + PET)	Kesimpulan yang dapat diambil dari analisa pengujian ini, yaitu hasil pengujian spesimen plastik jenis PP mempunyai nilai kekuatan impak / impact strength yang tertinggi dengan energi impak=1.31 Joule dan kekuatan impak/impact strength (Is)= 0.019 Joule/mm.
2002	Firdaus dkk	Studi Eksperimental Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak <i>Pneumatics Holder</i>	Berdasarkan hasil pengamatan terhadap spesimen dan mengacu pada teori dasar yang ada maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: • Desain parameter proses <i>plastic injection moulding</i> menentukan kualitas hasil benda cetak, khususnya produk <i>pneumatics holder</i> . • Diantara parameter proses <i>injection moulding</i> yang ada, parameter proses yang paling dominan pengaruhnya adalah parameter temperatur leleh.

Tahun	DATA SUMBER JURNAL PROPOSAL		
	Nama Peneliti	Judul	Kesimpulan
2005	Agus dkk	Prediksi <i>Shrinkage</i> Untuk Menghindari Cacat Produk Pada <i>Plastic Injection</i>	Berdasarkan simulasi dan analisis proses <i>injection moulding</i> yang telah penulis susun, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. a. Perancangan gambar atau desain suatu produk dengan menggunakan perangkat lunak CATIA V5 dapat dibuat dengan relatif mudah, dengan tampilan tiga dimensi sesuai dengan produk sesungguhnya. b. Perhitungan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses <i>injection molding</i> .
2010	Bernadeth dkk	Studi Perbandingan Sifat Mekanik <i>Polypropylene</i> Murni Dan Daur Ulang	Hasil pengujian memperlihatkan bahwa bahan PP mempertahankan sifat-sifat mekaniknya melalui proses daur ulang sebanyak dua kali melalui proses <i>injection molding</i> kecuali sifat keliatan (<i>ductility</i>) yang berkurang hanya 19,3%. penggunaan PP daur ulang dua kali masih layak digunakan untuk gantungan pakaian dan aplikasi non struktural lainnya. Sedangkan PP daur ulang komersial mempunyai sifat mekanik yang menurun dan lebih getas dibandingkan PP daur ulang. Penggunaan komersial PP daur ulang komersial harus memperhatikan aplikasi yang tidak mengandalkan keliatan dan secara umum juga layak digunakan untuk aplikasi non-struktur. Pada PP daur ulang komersial, diperlukan adanya pemisahan PP dan PE sehingga penggunaan bahan daur ulang PP maupun bahan daur ulang PE masing-masing dapat lebih efektif
2018	Jatmiko Dkk	Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif	Massa jenis minyak <i>pirolisis</i> adalah 0,8 g/ml. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis suatu benda adalah 4,02 menit. Pemasakan air menggunakan bahan bakar minyak <i>pirolisis</i> menghasilkan temperatur 75°C pada waktu pemasakan 4 menit dengan volume air yang hilang (menguap) sebesar 12,6 ml.

Tahun	DATA SUMBER JURNAL PROPOSAL		
	Nama peneliti	Judul	Kesimpulan
2015	Anita	Pengaruh Penggunaan Plastik <i>Polyethylene</i> (Pe) Dan High Density <i>Polyethylene</i> (Hdpe) Pada Campuran <i>Lataston-Wc</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	Pertumbuhan pesat jumlah penduduk yang diiringi dengan peningkatan jumlah konsumsi berbagai hal, seperti penggunaan agregat alam dalam bidang konstruksi sudah seharusnya dicarikan solusi untuk mendapatkan agregat alternatif. Selain itu, konsumsi plastik yang menghasilkan limbah plastik dalam jumlah besar tidak berbanding lurus dengan pemanfaatan limbah plastik. Penelitian ini mencoba menggunakan limbah plastik jenis <i>Polyethylene</i> (PE) dan <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) sebagai pengganti sebagian aspal untuk campuran <i>lataston</i> dalam kadar 0%, 2%, 4% dan 6%. Penggunaan PE dan HDPE pada jenis ini memberikan pengaruh pada campuran <i>lataston</i> terhadap berbagai karakteristik <i>Marshall</i> yakni untuk nilai stabilitas, kelelahan dan VFA yang cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai <i>Flow</i> , VIM, VMA dan MQ yang cenderung mengalami penurunan. Pengaruh campuran aspal-HDPE memberikan nilai atau hasil karakteristik <i>Marshall</i> yang lebih bagus dibandingkan campuran aspal PE.
2017	Anwar dkk	Analisa Penyusutan Produk Plastik Pada <i>Proses Injection Molding</i> Menggunakan Media Pendingin <i>Cooling Tower</i> Dan Udara Dengan Material <i>Polypropylene</i>	Berdasarkan hasil analisa dan pengujian serta pembahasan data yang diperoleh tentang <i>shrinkage</i> atau penyusutan antara pendinginan <i> mold</i> menggunakan pendingin <i>cooling tower</i> dan udara dapat disimpulkan bahwa pendinginan pada proses <i>injection molding</i> sangat berpengaruh terhadap <i>shrinkage</i> produk. Hal ini dapat diketahui pada laju perpindahan panas konveksi yang terjadi antara penggunaan media pendingin <i>cooling tower</i> dan udara.

(Sumber: diolah dari wawan dkk, Firdaus dkk, agus dkk, dan bernadeth dkk, jatmiko dkk, rahmawati, anwar dkk)

2.2 Plastik

Plastik merupakan material terbuat dari *nafta* yang merupakan produk turunan minyak bumi yang diperoleh melalui proses penyulingan. Karakteristik plastik yang memiliki ikatan kimia yang sangat kuat sehingga banyak material yang dipakai oleh masyarakat berasal dari plastik. Namun plastik merupakan material yang tidak bisa *terdekomposisi* secara alami (*nonbiodegradable*) sehingga setelah digunakan, material yang berbahan baku plastik akan menjadi sampah yang sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan. Berdasarkan jenis produknya, terdapat 6 jenis plastik yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS) dan Other. (Hartulistiyoso, dkk, 2014). Umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% *Polyethylene* (HDPE dan LDPE), 16% *Polypropylene* (PP), 16% *Polystyrene* (PS), 7% *Polyvinyl Chloride* (PVC), 5% *Polyethylene Terephthalate* (PET), 5% *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) dan polimer-polimer lainnya. Lebih dari 70% plastik yang dihasilkan saat ini adalah *Polyethylene* (PE), *Polpropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) sehingga sebagian besar studi yang dilakukan berhubungan dengan keempat jenis polimer tersebut (jatmiko dkk, 2018).

Tabel 2.2 Karakteristik Jenis Plastik

Kode	Tipe Plastik	Beberapa Penggunaan Plastik
	PET atau PETE	Botol minuman ringan dan air mineral, bahan pengisi kantong tidur dan serat tekstil.
	HDPE	Kantong belanja, kantong freezer, botol susu dan krim, botol sampo dan pembersih.
	PVC atau V	Botol juice, kotak pupuk, pipa saluran
	LDPE	Kotak ice cream, kantong sampah, lembar plastik hitam.

	PP	Kotak ice cream, kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan.
	PS	Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan.
	OTHER	Botol minum olahraga, acrylic dan nylon.

(Sumber: Jatmiko Dkk, 2018)

Berdasarkan sifatnya, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastic dan thermosetting. Thermoplastic adalah bahan plastik yang bila digunakan untuk membuat material tertentu dapat didaur ulang dan dibuat menjadi bentuk material yang lain melalui proses pemanasan. Contoh *thermoplastic* antara lain yaitu *Polyethylene*, *Polypropylene*, *Nylon*, *Polycarbonate*. *Thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam material tertentu, tidak dapat dicairkan untuk didaur ulang atau dibuat produk lain. Contoh plastik yang termasuk thermosetting antara lain *Phenol formaldehyde*, *Urea Formaldehyde*, *Melamine Formaldehyde*. (Surono, 2013)

2.3 Plastik *Polypropylene* (PP)

Plastik PP (*Polypropylene*) adalah polimer *termoplastik* yang terbuat dari kombinasi monomer *propilena*. Plastik PP pertama kali dipolimerisasi pada tahun 1951 oleh Paul Hogan dan Robert Banks yang kemudian disempurnakan pada tahun 1954 oleh Natta dan Rehn, ilmuwan asal Italia. Pada tahun 1957, plastik PP diproduksi untuk komersial dan meluas di seluruh Eropa. Sampai saat ini, plastik jenis PP merupakan salah satu plastik yang paling banyak di produksi di dunia. Berdasarkan data yang diperoleh dari website creative mechanism yang diakses pada tanggal 25 Mei 2017 pada pukul 17.26, dalam penggunaannya, plastik jenis PP digunakan sebanyak 30% dalam industri kemasan, 13% pada manufaktur peralatan, 13% pada listrik, 10% untuk peranti rumah tangga, 10% pada industri otomotif, 5% pasar, dan 5% bahan bangunan. (Ida Salina Juli Cristina Yustika Ginting, 2017)

Kelebihan:

1. Dapat dipanaskan hingga titik leleh (130°C), didinginkan, dan dipanaskan kembali tanpa degradasi yang signifikan dapat didaur ulang)
2. Dapat beradaptasi dengan berbagai teknik fabrikasi
3. Sudah tersedia dan relatif murah
4. Kekuatan lentur tinggi
5. Permukaan relatif licin
6. Tahan terhadap kelembapan
7. Memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai macam asam dan basa
8. Memiliki kekuatan benturan yang baik
9. Isolator listrik yang baik

Kekurangan:

1. Memiliki koefisien ekspansi termal tinggi yang membatasi aplikasi suhu tinggi
2. Rentan terhadap degradasi UV
3. Memiliki ketahanan yang buruk terhadap pelarut terklorinasi dan aromatik
4. Sulit dilukis karena memiliki sifat ikatan yang buruk - Mudah terbakar
5. Rentan terhadap oksidasi

(Ida Salina Juli Cristina Yustika Ginting, 2017)

2.4 Plastik *Polyethylene* (PE)

Polyethylene adalah bahan *termoplastik* yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-183°C. Umumnya *Polyethylene* tahan terhadap zat kimia. Monomernya, yaitu *etana*, diperoleh dari hasil perengkahan (*cracking*) minyak atau gas bumi.

Penggunaan *Polyethylene* sekitar 6-18% dari berat kadar aspal optimum bisa mengurangi deformasi pada perkerasan jalan dan bisa meningkatkan *fatigue resistance* sekaligus bisa memberikan peningkatan daya adhesi antara aspal dan agregat.

2.5 Sifat Fisik dan Mekanik Bahan

Secara garis besar material mempunyai sifat-sifat yang mencirikannya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat-sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat tersebut adalah Sifat

mekanik, Sifat fisik, dan Sifat teknologi. Dibawah ini akan dijelaskan secara terperinci tentang sifat-sifat material tersebut.

2.5.1 Sifat Mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (destructive test), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut.

Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impact, kekuatan mulur, kekeuatan leleh dan sebagainya.

Sifat-sifat mekanik material yang perlu diperhatikan:

- Tegangan yaitu gaya diserap oleh material selama berdeformasi persatuan luas.
- Regangan yaitu besar deformasi persatuan luas.
- Modulus elastisitas yang menunjukkan ukuran kekuatan material.
- Kekuatan yaitu besarnya tegangan untuk mendeformasi material atau kemampuan material untuk menahan deformasi.
- Kekuatan luluh yaitu besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk mendeformasi plastis.

- Kekuatan tarik adalah kekuatan maksimum yang berdasarkan pada ukuran mula.
- Keuletan yaitu besar deformasi plastis sampai terjadi patah.
- Ketangguhan yaitu besar energi yang diperlukan sampai terjadi perpatahan.
- Kekerasan yaitu kemampuan material menahan deformasi plastis lokal akibat penetrasi pada permukaan.

2.5.2 Sifat Fisik

Sifat penting yang kedua dalam pemilihan material adalah sifat fisik. Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain temperatur cair, konduktivitas panas, panas spesifik, densitas, warna, kekasaran permukaan dll.

Struktur material sangat erat hubungannya dengan sifat mekanik. Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

2.5.3 Sifat Teknologi

Selanjutnya sifat yang sangat berperan dalam pemilihan material adalah sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengecoran atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk. Sifat material terdiri dari sifat mekanik yang merupakan sifat material terhadap pengaruh yang berasal dari luar serta sifat-sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi yang dikandung oleh material itu sendiri

2.6 Injection Molding

Sebagaimana dijelaskan diatas bahwa *injection molding* merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan dalam memproduksi komponen dari bahan plastik. Mesin *injection molding* terdiri atas beberapa bagian seperti *nozzle*, *hopper*, *heating elements*, *mold* dan *piston*. Sedangkan sumber penggerak mesin terdiri

atas sumber udara bertekanan yang berfungsi menekan *piston* atau *plunyer* dan sumber listrik bolak-balik sebagai sumber tenaga untuk bagian pemanas (*heating elements*). Prinsip kerja *injection molding machine* sebetulnya mirip dengan *hot-chamber pressurized die-casting*, dimana bahan baku plastik mula-mula dimasukkan kedalam tabung pemanas untuk dilelehkan melalui *hopper* (lubang pemasukan). Setelah plastik meleleh dengan temperatur tertentu, maka plastik tersebut didorong keluar dari dalam tabung melalui *nozzle* untuk diinjeksikan kedalam cetakan (*mold*). Selanjutnya benda cetak dibiarkan membeku dan mendingin beberapa saat di dalam cetakan sebelum cetakan dilepas dan dibuka untuk mengeluarkan benda cetak. (Firdaus, 2002)

2.7 Parameter Proses Injection Molding

Untuk memperoleh benda cetak dengan kualitas hasil yang optimal, perlu mengatur beberapa parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi tersebut. Parameter-parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan adapula yang mempunyai peran yang signifikan dalam mempengaruhi hasil produksi yang diinginkan. Biasanya orang perlu melakukan beberapa kali percobaan hingga ditemukan parameter-parameter apa saja yang cukup berpengaruh terhadap produk akhir benda cetak. (Firdaus, 2002)

Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses produksi plastik melalui metoda *injection molding* adalah:

1. Temperatur leleh (*melt temperature*)

Adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh kalau diberikan energi panas.

2. Waktu tahan (*holding time*)

Adalah waktu yang diukur dari saat temperatur leleh yang diseting 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 memper-sulit jalannya aliran bahan plastik dari dalam *nozzle*.

3. Waktu penekanan (*holding pressure*)

Adalah durasi atau lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada piston yang mendorong plastik yang telah leleh. Pengaturan waktu penekanan bertujuan untuk meyakinkan 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.

4. 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.

5. Ketebalan dinding cetakan (*wall thickness*)

Menyangkut desain secara keseluruhan dari cetakan (*molding*). Semakin tebal dinding cetakan, semakin besar kemungkinan untuk terjadinya cacat *shrinkage*. (Firdaus, 2002)

2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis lokal. Nilai kekerasan tersebut dihitung hanya pada tempat dilakukannya pengujian tersebut (lokal), sedangkan pada tempat lain bisa jadi kekerasan suatu material berbeda dengan tempat yang lainnya. Tetapi nilai kekerasan suatu material adalah homogen dan belum diperlakukan secara teoritik akan sama untuk tiap-tiap titik.

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

- (1) Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- (2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)

(3) Kekerasan pantulan (*rebound*).

Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan sebagainya.

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 20 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak. Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diameter jejak. BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\pi D / 2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

dengan:

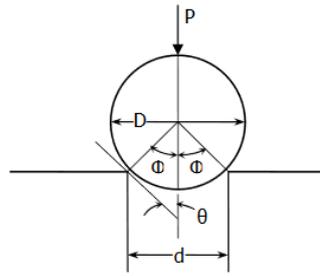
P = beban yang digunakan (kg)

D = diameter bola baja (mm)

d = diameter lekukan (mm)

Dari gambar diatas tampak bahwa $d = D \sin\Phi$. Dengan memasukkan harga ini ke dalam persamaan (1) akan dihasilkan bentuk persamaan kekerasan brinell yang lain, yaitu:

$$\text{BHN} = \frac{P}{(\pi / 2)D^2(1 - \cos\phi)} \quad (2)$$



Gambar 2.1 Sketsa Teoritis Uji Kekerasan
(Sumber: Bernadeth Dkk,2010)

2.9 Uji *Impact*

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

Pada uji *impact* terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Dasar pengujiannya yakni penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi. Pada pengujian impak ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut.

Sekarang ini kebutuhan akan material terutama plastik sangatlah penting. Plastik merupakan salah satu kebutuhan yang banyak dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*).

Ada dua metoda percobaan impak, yaitu metode charyp dan metode izod. Pada pengujian kali ini menggunakan metode charpy. Pada metode ini banyak digunakan di Amerika Serikat, dan merupakan cara pengujian dimana spesimen

dipasang secara horizontal dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen diletakkan ditengah-tengah dengan arah pembebanan tepat diatas takikan. Benda uji *charpy* mempunyai luas penampang lintang bujur sangkar (10x10x100 mm) dan mengandung takik V 45°, dengan jari-jari dasar 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. (Chairul dkk, 2010)



Gambar 2.2 Alat Uji *Impact*
(Sumber: Dokumentasi)

Rumus yang digunakan pada Uji *impact*:

$$WS = \frac{W}{A}$$

Dengan:

WS = Besaran yang mengontrol karakteristik bahan kerja

W = kerja Tumbukan

A = Penampang Patah

2.10 Uji Penyusutan (*Shrinkage*)

Shrinkage merupakan suatu cacat berupa perubahan dimensi produk hasil proses *injection molding*. Pendinginan *mold* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi cacat produk *shrinkage*. Pendinginan pada *mold* dapat dilakukan dengan media pendinginan udara (*air cooling*) atau fluida (*water cooling*). Pemanfaatannya tergantung dari efektivitas pendinginan yang perlu dicapai sehingga produk cepat berada pada batas temperatur sentak yang diijinkan sesuai

material plastik, fasilitas yang tersedia dan konstruksi pendinginan yang mendukung.

$$L_s = \left[\frac{\text{Part}_{\text{size}} - \text{Mould}_{\text{size}}}{\text{Mould}_{\text{size}}} \right] \times 100\%$$

Keterangan:

Ls = Linear Shrinkage (Penyusutan Linier)

Part Size = Ukuran Specimen

Mould Size = Ukuran Cetakan

2.11 Analysis Of Variance (Two-Way ANOVA)

(Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2018) ANOVA pada dasarnya bertujuan untuk menguji hipotesa (H_0) bahwa rata-rata dari dua atau lebih sebuah populasi adalah sama. Konsep analisis variansi didasarkan pada konsep distribusi F dan dapat diaplikasikan untuk analisis hubungan antara berbagai variabel yang diamati. Dalam perhitungan statistik, analisis variansi sangat dipengaruhi asumsi-asumsi yang digunakan seperti distribusi normal, identik (homogenitas variansi), independen (kebebasan dari kesalahan) dan linieritas model. Asumsi kenormalan distribusi memberi penjelasan terhadap karakteristik data dari tiap kelompok. Asumsi tersebut dapat dilihat dengan membuat grafik berdasarkan residual dari selisih data hasil pengujian aktual dan data hasil prediksi, ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$\text{Residual} = \text{actual value} - \text{predicted value} \quad (2.1)$$

Two-Way ANOVA (analysis of variance) pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh perbedaan beberapa variabel bebas (faktor) dengan variabel terikat (respon) dan masing-masing variabel memiliki dua taraf (*level*). Untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap respon, maka pada ANOVA perlu dihitung jumlah-jumlah kuadrat. Adapun langkah-langkah menghitung dengan *Two-Way ANOVA*, yaitu:

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak
- b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal
- c) Menentukan hipotesis :

- $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a$ (tidak ada efek terhadap perlakuan)
- $H_1 : b_1 \neq b_j$ (terdapat efek terhadap perlakuan)

d) Menentukan jumlah kuadrat total :

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.2)$$

e) Menentukan jumlah kuadrat faktor A dengan rumus :

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

f) Menentukan Jumlah kuadrat faktor B dengan rumus :

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

g) Menentukan Jumlah kuadrat faktor C dengan rumus :

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{k_C} (C_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

h) Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A, B dan C :

$$SS_{AxBxC} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{(AxBxC)_i^2}{n_{AxBxC_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B - SS_C \quad (2.5)$$

i) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*) :

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AxBxC} \quad (2.6)$$

j) Menentukan derajat kebebasan total :

$$v_T = N - 1 \quad (2.7)$$

k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A :

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.8)$$

l) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B :

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.9)$$

m) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) C :

$$v_C = k_C - 1 \quad (2.10)$$

n) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B :

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.11)$$

- o) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan C :

$$v_{AxC} = (v_A)(v_C) \quad (2.12)$$

- p) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi B dan C :

$$v_{BxC} = (v_B)(v_C) \quad (2.13)$$

- q) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A, B dan C :

$$v_{AxBxC} = (v_A)(v_B)(v_C) \quad (2.14)$$

- r) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*) :

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_C - v_{AxB} - v_{AxC} - v_{BxC} - v_{AxBxC} \quad (2.15)$$

- s) Melengkapi tabel hasil uji *bending* untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

- t) Menentukan taraf signifikansi (α)

- u) Menentukan nilai distribusi F_{TABEL}

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.16)$$

- v) Jika $F_{HITUNG} (F_o) < F_{TABEL}$, maka hipotesis (H_o) dapat diterima.

- w) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.17)$$

Tabel 2.3 ANOVA Table For Select Factorial Model

Sumber Variasi	SS	Derajat Bebas (db)	MS	F hitung	Kontribusi
Faktor A	SS_A	V_A	MS_A	MS_A/MS_e	SS'_A/SS_T
Faktor B	SS_B	V_B	MS_B	MS_B/MS_e	SS'_B/SS_T
Interaksi AxB	SS_{AxB}	$V_A \times V_B$	MS_{AxB}	MS_{AxB}/MS_e	SS'_{AxB}/SS_T
Residual	SS_e	V_e	MS_e	1	SS'_e/SS_T
Total	SS_T	V_T			100%