

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State Of Art*

Penelitian ini menggunakan referensi dari beberapa jurnal dan buku sebagai literatur dalam penulisan. *State of art* ini akan disajikan dalam bentuk tabel yang berisikan penjelasan terkait perbedaan peneliti terdahulu yang nantinya akan menjadi acuan dalam penelitian kali ini. Berikut adalah tabel *state of art* yang digunakan sebagai acuan.

Tabel 2.1 *State Of Art*

No.	Deskripsi Jurnal (Judul, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	<p style="text-align: center;">Pembuatan Cetakan <i>Injection Molding</i> Untuk Membuat Bantalan Ketiak Tongkat Kruk Dari Material <i>Polypropylene</i> (I. A. Putra et al., 2023)</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>Polypropylene</i> (PP) untuk bahan dasar pembuatan produk bantalan ketiak dengan cetakan <i>injection molding</i>.</p>	<p>Hasil penelitian : Pada penelitian kali ini menggunakan limbah plastik jenis PP, dengan variasi temperatur lelehnya 200°C dengan tekanan injeksi nya 100 bar. Untuk hasil pengujian densitas diperoleh rata-rata adalah 0,89 gr/cm³ dan untuk pengujian kekerasan hasil rata-rata nya ialah 75,6 dan material cetakan yang digunakan adalah alumunium 6061</p>
2	<p style="text-align: center;">Perancangan Alat Cetak <i>Interlocking Brick</i> dengan</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis <i>High</i></p>	<p>Hasil Penelitian: Pada penelitian ini limbah plastik yang</p>

	<p>Memanfaatkan Sampah Plastik HDPE sebagai Material Bata (Muharam et al., 2021)</p>	<p><i>Density Polyethylene</i> (HDPE) untuk bahan dasar pembuatan produk material bata</p>	<p>dilelehkan berjenis HDPE, yang mana temperatur leleh yang digunakan adalah 220°C, untuk pengujian mekanisnya menggunakan pengujian uji tarik dan diperoleh hasil tegangan tariknya 8,86 MPa</p>
3	<p>Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik (Rakhmad et al., 2018)</p>	<p>Memanfaatkan limbah plastik jenis PP menjadi produk kotak sabun</p>	<p>Hasil Penelitian : Pada penelitian ini menggunakan jenis limbah plastik PP yang mana jenis ini sangat banyak ditemukan disekitar seperti botol gelas. Pada penelitian ini menggunakan temperatur leleh plastiknya 250°C, dengan menggunakan material cetakannya adalah Alumunium 7075. Hasil dari penelitian ini isi untuk kekuatan tariknya 45 MPa</p>

2.2 Jenis-jenis plastik

Plastik hampir setiap hari digunakan untuk kebutuhan, pada umumnya plastik ini terbagi menjadi beberapa jenis. Berikut jenis plastik yang umumnya digunakan.

- a) *Polyethylene Terephthalate* (PETE)

PETE biasanya untuk kebutuhan kemasan pada makanan atau minuman, disebabkan keunggulannya yang mampu mencegah munculnya oksigen dan merusak produk. Plastik jenis PETE dapat membantu mencegah karbon dioksida keluar dari minuman berkarbonasi, menjaganya tetap segar dan berkarbonasi lebih lama. Plastik PETE jenis ini banyak dijumpai pada botol air mineral dan wadah plastik minyak sayur dan wadah plastik lainnya. Plastik PETE jenis ini dibuat berwarna bening atau transparan dan hanya untuk sekali pakai (Untoro Budi, 2018).

Hindari penggunaan plastik jenis ini untuk pengisian ulang dan penggunaan karena hanya ditujukan untuk satu kali kesempatan. Apabila digunakan berulang-ulang kali akan menyebabkan atau resiko terhadap konsumsi bakteri dari bahan plastik menumpuk pada plastik tersebut. Hal ini dikarenakan Plastik PETE sulit dibersihkan dan dapat berbahaya jika tertelan. Itu harus didaur ulang dan tidak digunakan lagi (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.1 Limbah Plastik PETE

(Sumber : teknologi.bisnis.com)

Pada umumnya karakteristik jenis plastik PETE ini akan meleleh pada suhu sekitar 150°C s.d 300°C, Jenis plastik ini juga memiliki sifat tahan terhadap reaksi kimia. Bila suhu terlalu tinggi atau terlalu rendah jenis plastik ini akan mempertahankan sifatnya. Berikut adalah *properties* dari jenis plastik PETE yang akan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.2 Properties Jenis Plastik PETE

Properties Jenis Plastik PETE	
Kekuatan Tarik (MPa)	55
Modulus Tarik (MPa)	1600
Specific Gravity	0,96
Elongation (%)	600
Tm (°C)	150 s.d 300

b) *High-Density Polyethylene (HDPE)*

High-Density Polyethylene atau biasa disebut plastik jenis HDPE adalah polietilen termoplastik tahan lama yang terbuat dari sumber daya ramah lingkungan. Sifat HDPE sedikit buram, transparan dan fleksibel. Plastik ini kedap air, tidak berbau, tahan panas dan benturan (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).

HDPE terbilang istimewa, karena plastik ini terbuat dari rantai polimer tunggal, maka jauh lebih padat dibandingkan jenis plastik lainnya. Maka dari itu, HDPE dapat dikatakan lebih kuat dan lebih tebal dari PETE. HDPE biasanya digunakan pada botol sampo, botol obat, botol deterjen, botol pemutih dan sejenisnya (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).



Gambar 2.2 Limbah Plastik HDPE

(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

Selain dapat *recycle* dan digunakan kembali, HDPE juga merupakan jenis plastik yang lebih aman untuk menyimpan makanan dan minuman. Jenis plastik ini kuat, keras, tidak tembus cahaya, dan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga dapat mencegah terjadinya reaksi kimia antara kemasan dan makanan di dalamnya.

Plastik HDPE memiliki bahan jenis katalis ziegler-natta dan memiliki kekuatan tarik dan gaya antar molekul yang tinggi (Masyruroh dan Rahmawati, 2021).

c) *Polyvinyl Chloride (PVC)*

Jenis plastik ketiga adalah polivinil klorida, atau PVC. PVC adalah bahan plastik populer yang digunakan dalam berbagai jenis produk, termasuk mainan, tabung plastik, kantong darah, dan tabung medis. Hal ini juga merupakan resin yang paling banyak digunakan di dunia, dan dianggap relatif aman bila digunakan dalam jumlah sedang. Beberapa bahan kimia yang terdapat pada PVC dapat menyebabkan gangguan kesehatan, antara lain kanker, alergi, dan masalah hormonal pada anak. Karena itu, penting untuk mewaspadaai bahaya penggunaan plastik jenis ini, dan berhati-hatilah saat memilih produk yang terbuat dari plastik (W. T. Putra et al., 2015).

Plastik PVC adalah pilihan yang berisiko untuk didaur ulang karena dapat melepaskan racun saat didaur ulang, dan sulit untuk didaur ulang. Sebaliknya, hindari penggunaan produk PVC dan dukung program daur ulang yang aman dan efektif (W. T. Putra et al., 2015).

Gambar 2.3 Limbah Plastik PVC



(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

d) *Low-Density Polyethylene (LDPE)*

Jenis plastik keempat adalah polietilen densitas rendah yang merupakan plastik serbaguna yang populer untuk berbagai aplikasi. Kimia polimernya yang sederhana membuatnya mudah diproses dan murah, menjadikannya pilihan tepat untuk berbagai keperluan. LDPE umumnya digunakan untuk melapisi kantong plastik belanjaan, tong

sampah, kantong *dry cleaning*, kantong *freezer*, dan kertas karton susu, serta kabel (Landi et al., 2017).



Gambar 2.4 Limbah Plastik LDPE

(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

LDPE adalah plastik serbaguna dan tahan lama, cocok untuk barang yang membutuhkan fleksibilitas dan ketahanan terhadap reaksi kimia. Hal ini juga dapat didaur ulang, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan (Landi et al., 2017).

Tabel 2.3 Properties Jenis Plastik LDPE

Properties Jenis Plastik LDPE	
Kekuatan Tarik (MPa)	17
Modulus Tarik (MPa)	300
Specific Gravity	0,93
Elongation (%)	300
T _m (°C)	230

e) *Polypropylene* (PP)

Jenis plastik yang kelima adalah *polypropylene* yang lebih kaku dan tahan panas, polipropilena lebih sering digunakan dalam wadah makanan panas atau untuk menyimpan benda pada suhu tinggi. PP juga merupakan jenis plastik yang paling aman untuk kemasan makanan dan minuman dan dapat digunakan berkali-kali, menjadikannya pilihan tepat untuk mengemas produk (Untoro Budi, 2018).

Plastik PP jenis ini banyak digunakan pada wadah makanan, peluit, dan pembalut Wanita. Meski banyak manfaatnya, PP sangat sulit didaur ulang dan dapat menyebabkan asma dan gangguan hormonal pada manusia (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.5 Limbah Plastik PP
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

Plastik jenis PP ini memiliki sifat yang baik sesudah dilelehkan. Dengan temperatur leleh yang tinggi membuat jenis plastik ini memiliki sifat kelenturan, kekakuan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan jenis plastik lainnya. Berikut adalah *properties* dari jenis plastik PP yang akan disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2.4 Properties Jenis Plastik PP

Properties Jenis Plastik PP	
Kekuatan Tarik (MPa)	60
Modulus Tarik (MPa)	1172
Specific Gravity	0,96
Elongation (%)	600
Tm (°C)	130 s.d 190

f) *Polystyrene* (PS)

Jenis plastik keenam adalah *polystyrene* atau PS adalah bahan plastik yang ramah lingkungan dan dapat di-*recycle*, cocok untuk kemasan styrofoam dan penggunaan lainnya. Ini juga tersedia dari asap rokok, knalpot kendaraan dan sumber lain saat bersentuhan dengan makanan (Yos et al., 2017).

PS juga memiliki banyak efek berbahaya bagi tubuh, termasuk pelepasan *styrene*, yang merupakan racun otak dan sistem saraf, selain itu, PS memiliki tingkat daur ulang yang sangat rendah (Yos et al., 2017).



Gambar 2.6 Limbah Plastik PS
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

g) *Other* (Lainnya)

Jenis plastik ketujuh adalah semua jenis plastik, kecuali yang terbuat dari bahan yang tercantum 1-6 dan plastik yang dapat dicampur dengan plastik jenis lain, seperti bioplastik. Polikarbonat (PC) adalah jenis plastik yang paling umum dalam kategori ini, tetapi PC tidak lagi digunakan dalam beberapa tahun terakhir karena toksisitas atau potensi toksisitasnya. Beberapa negara telah melarang penggunaan PC pada botol bayi dan kemasan susu formula (Untoro Budi, 2018).

SAN dan ABS sangat tahan terhadap reaksi kimia dan suhu, menjadikannya ideal untuk aplikasi ini. Apalagi ABS sering digunakan dalam pembongkaran mainan dan sulit didaur ulang, sehingga penggunaannya harus dibatasi atau dihindari (Untoro Budi, 2018).



Gambar 2.7 Limbah Plastik *Others*
(Sumber : lingkungan.itats.ac.id)

2.3 *Injection Molding*

Injection molding adalah proses manufaktur dimana bahan plastik dilelehkan dalam sebuah *barrel* dan kemudian disuntikkan ke dalam cetakan

(*mold*) yang tertutup rapat. Lelehan plastik tersebut akan mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Proses ini sering digunakan untuk menghasilkan berbagai macam produk plastik, mulai dari mainan hingga komponen otomotif, dengan cepat dan efisien (Gusniar, 2018).

Injeksi *molding* juga merupakan teknik manufaktur untuk membentuk produk plastik dari serbuk termoplastik dengan memberikan bahan melalui perangkat pengumpan yang disebut *hopper*. Plastik tersebut kemudian dipanaskan hingga mencapai tekstur yang halus. Selama proses injeksi, tekanan dijaga konstan hingga material mengeras dan siap untuk dikeluarkan dari cetakan (Gusniar, 2018)..



Gambar 2.8 Mesin Injeksi *Molding* Plastik

(Sumber : powerjetmachine.com)

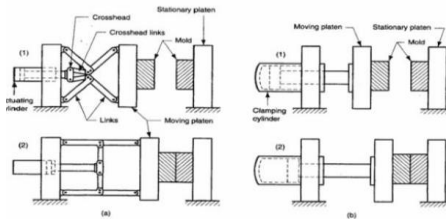
Injeksi *molding* metode yang sangat efektif untuk menghasilkan produk seragam dari cetakan, dan merupakan metode yang paling umum digunakan dalam pembuatan produk dari bahan plastik (polimer). Keunggulan menggunakan metode ini adalah kemampuan untuk memproduksi produk dengan bentuk yang rumit dengan efisiensi produksi tinggi. Injeksi *molding* adalah mesin pemroses polimer yang kunci dalam industri plastik. Dalam proses ini, polimer disuntikkan ke dalam cetakan dan dibentuk menjadi produk akhir (Kale dan Hambire, 2015).

2.4 Mekanisme Langkah Kerja *Injection Molding*

Proses *injection molding* menyerupai operasi pada jarum suntik. Bahan polimer termoplastik dilelehkan dan selanjutnya disuntikkan ke dalam cetakan yang tertutup rapat, sehingga cairan plastik mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Proses siklus pada *injection molding* terdiri dari 6 tahapan, yaitu (Widiastuti, 2019).

1. Proses *Clamping*

Proses penguncian (*clamping*) terjadi sebelum tahap injeksi ke dalam cetakan, dimana rongga cetakan dan inti (*core*) harus tertutup rapat pada mesin. Fungsi utama dari sistem penjepitan (*clamping system*) adalah menutup cetakan dengan pelat yang dapat bergerak dan menjaganya agar tetap tertutup selama proses injeksi dan pendinginan. Setelah produk cetakan selesai, sistem penjepitan akan membuka cetakan (Yulianto dan Prassetiyo, 2014).

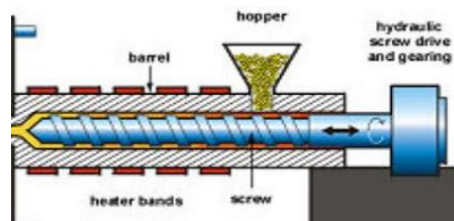


Gambar 2.9 *Clamping Unit*

(Sumber : anwarkholidi.com)

2. Proses *Injection*

Proses injeksi adalah saat bahan plastik yang telah dilelehkan disuntikkan ke dalam cetakan (*modal*) sehingga mengisi ruang cetakan sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Sebelum proses penginjeksian, bahan plastik masih berbentuk butiran serbuk yang rentan tersumbat. Selanjutnya, butiran plastik dimasukkan ke dalam *hopper* pada unit injeksi. Bahan plastik ditempatkan dalam silinder yang dipanaskan hingga mencair. Kemudian, sebuah sekrup yang ditenagai motor berfungsi untuk mencampur dan mengaduk bahan plastik yang telah meleleh serta mendorongnya hingga ujung silinder. (Mawardi, 2015).



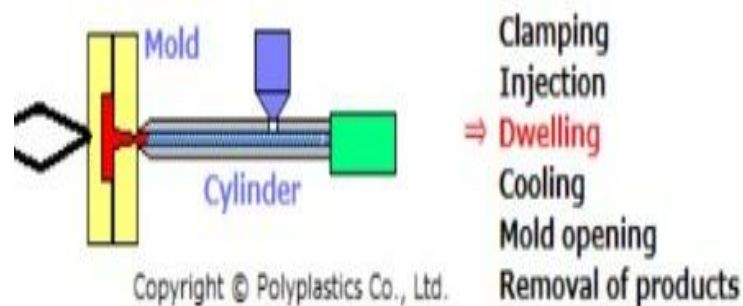
Gambar 2.10 Proses *Injection*

(Sumber : anwarkholidi.com)

Setelah mencapai suhu tertentu, plastik dilelehkan dan kemudian didorong keluar dari tabung melalui *nozzle* untuk disuntikkan ke dalam cetakan, Sehingga terakumulasi cukup bahan diujung sekrup, proses injeksi dimulai. Bahan plastik yang telah mencapai ujung sekrup kemudian disuntikkan ke dalam cetakan melalui *S*. Tekanan dan kecepatan injeksi selama proses ini dikendalikan oleh sekrup (Mawardi, 2015).

3. *Dwelling*

Dwelling merupakan tahap istirahat sementara dalam proses injeksi. Pada tahap ini, bahan plastik yang telah disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan yang ditentukan harus dibiarkan untuk memastikan pengisian seluruh rongga cetakan (*cavity*). Proses ini bertujuan untuk mencegah cacat produk akibat kekurangan material atau masalah pengelasan (*welding*).



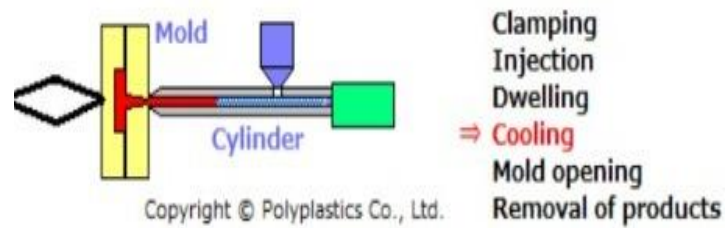
Gambar 2.11 Proses *Dwelling*

(Sumber : polyplastiks.com)

4. Proses *Cooling*

Proses pendinginan (*cooling*) terjadi pada bahan plastik setelah proses penyuntikan. Bahan plastik yang telah mengisi cetakan dan membentuk objek sesuai dengan cetakan akan kemudian didinginkan dengan suhu tertentu untuk mempercepat pengerasan atau pematatan material plastik. Proses pendinginan pada *molding* injeksi adalah tahap dimana produk plastik yang baru dibentuk dalam cetakan (*mold*)

didinginkan untuk memadatkan dan mengeraskannya sehingga dapat dikeluarkan dari cetakan dengan baik (Mawardi, 2015).

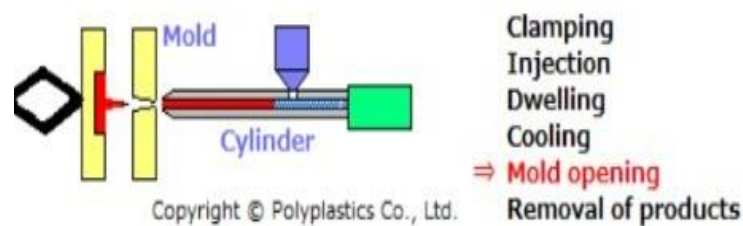


Gambar 2.12 Proses *Cooling*

(Sumber : polyplastiks.com)

5. Proses Pembukaan Cetakan (*Mold Opening*)

Proses pembukaan cetakan (*mold opening*) dalam injeksi *molding* adalah tahap di mana cetakan yang berisi produk plastik yang baru dibentuk akan dibuka untuk memungkinkan produk tersebut dikeluarkan. Langkah penting dalam siklus injeksi *molding* yang memungkinkan produk jadi untuk dikeluarkan dari cetakan. Bahan yang telah mengeras akan didinginkan hingga menjadi produk jadi. Kemudian, dua cetakan akan dibuka dengan menggunakan peralatan *clamping plate* dan *setting plate* (Mawardi, 2015).



Gambar 2.13 Proses *Mold Opening*

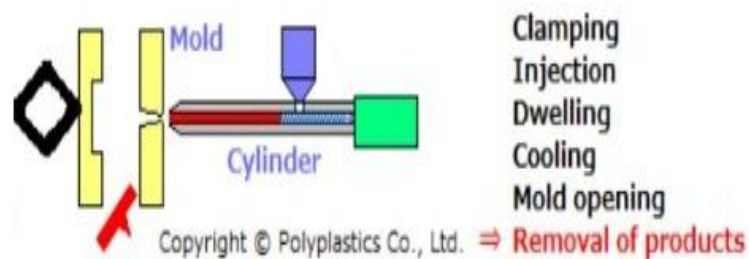
(Sumber : polyplastiks.com)

6. Proses *Ejection*

Langkah terakhir adalah untuk mengeluarkan produk jadi dari dalam cetakan sehingga proses injeksi selanjutnya dapat dilaksanakan. Pada tahap *ejection*, seringkali desain cetakan tertentu digunakan untuk memisahkan *runner* dan *sprue* dari material plastik. Ini bertujuan untuk menghasilkan produk *molding* yang tidak memerlukan pemotongan

tambahan *runner* dan *sprue*. Namun, dalam beberapa kasus dan desain khusus, *runner* dan *sprue* mungkin tidak dipisahkan secara langsung saat tahap *ejection*. Pada saat cetakan dibuka, mekanisme yang digunakan untuk sistem pengeluaran (*ejection system*) adalah mendorong bagian plastik yang telah mendingin dari cetakan (Mawardi, 2015).

Poses *ejection* ini melibatkan penggunaan mekanisme atau peralatan khusus yang mendorong atau mengeluarkan produk jadi dari cetakan, sehingga produk tersebut dapat diambil dan proses injeksi selanjutnya dapat dilakukan. Setelah proses-proses tersebut berhasil menghasilkan produk *molding*, langkah selanjutnya adalah melanjutkan dengan proses berikutnya menggunakan langkah yang sama secara berulang hingga mencapai jumlah produksi yang diinginkan (Mawardi, 2015).



Gambar 2.14 Proses *Ejection*

(Sumber : polyplastiks.com)

2.5 Komponen Mesin *Injection Molding* Plastik

Pada mesin *injection molding* plastik ini terdapat beberapa komponen yang memiliki fungsinya masing-masing. Berikut adalah komponen-komponennya, yaitu (Ferdian et al., n.d.).

1. *Hopper*

Hopper adalah tempat dimana bahan baku plastik berbentuk butiran disimpan sebelum dimasukkan ke dalam proses injeksi. *Hopper* juga merupakan tempat penyimpanan material plastik sebelum masuk ke dalam *barrel*. *Hopper* berperan dalam menjaga kondisi kering material

plastik. Jika kandungan kelembaban terlalu tinggi, hasil injeksi dapat terpengaruh negatif (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.15 Hopper

(Sumber : Aliexpress.com)

Hopper adalah wadah penampungan material plastik yang akan dipanaskan dan dilelehkan sehingga dapat mengalir ke bagian sekrup. Dalam *hopper*, bahan plastik dikeringkan oleh aliran udara dari *blower* yang dipanaskan hingga suhu 170°C melalui elemen pemanas (*heater*) dan dicampur dengan pewarna BWE *Holland Colour* oleh *Doozing Unit* (Eidelweis, 2021).

2. *Barrel*

Barrel adalah tempat di mana bahan plastik dilelehkan dan diproses sebelum disuntikkan ke dalam cetakan. *Barrel* berfungsi sebagai tempat pengisian material dan pencampuran dalam suhu barrel sehingga bahan yang telah meleleh didorong ke dalam cetakan. Penggunaan utama dari *barrel* adalah untuk memberikan dukungan pada sekrup. *Barrel* terdiri dari elemen pemanas yang berfungsi sebagai sensor suhu untuk setiap bagian *barrel* (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.16 Barrel

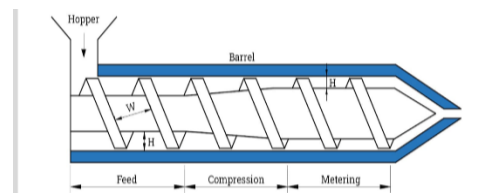
(Sumber : Aliexpress.com)

3. Sekrup

Sebuah sekrup berfungsi untuk menggabungkan, mencairkan, dan mendorong bahan plastik ke dalam cetakan. Sekrup mengambil bahan plastik dari *hopper* dan mengalirkannya ke dalam *barrel* untuk diproses. Selama perjalanan bahan plastik melalui *barrel*, sekrup berputar dan mencampurkan bahan plastik, sehingga meleleh dengan baik dan mendapatkan konsistensi yang tepat. Setelah bahan plastik meleleh, sekrup menekannya ke dalam *sprue* dan *runner*, kemudian memasukkannya ke dalam cetakan (Eidelweis, 2021).

Dikenal sebagai sekrup yang bergerak bolak-balik, digunakan dalam proses kompresi, pelelehan, dan penekanan bahan plastik. Sekrup memiliki tiga zona sebagai berikut.

- a) Zona Pengisian (*Feeding Zone*), di dalam zona pengisian tidak akan terjadi perubahan pada bahan plastik.
- b) Zona Transisi (*Transition Zone*), di zona ini terjadi pelelehan pelet plastik dan plastik cair akan di transfer ke zona berikutnya.
- c) Zona Pengukuran (*Metering Zone*), di zona ini bahan plastik cair siap untuk diinjeksikan.



Gambar 2.17 *Screw Zone*

(Sumber : Iqsdirectory.com)

4. *Mold Preform*

Mold preform adalah komponen utama dalam mesin *injection molding* yang digunakan untuk mencetak bahan plastik menjadi preform sesuai dengan cetakan yang telah dibuat sebelumnya. Bagian *mold preform* merupakan kelanjutan dari proses injeksi yang melibatkan sekrup dan *barrel*. Setelah cetakan preform tertutup, unit injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel*, dan sekrup menyuntikkan bahan plastik ke dalam cetakan yang telah didinginkan oleh *chiller*.

Kemudian, preform yang telah dingin dan mengeras dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan sistem pendorong hidrolik (Eidelweis, 2021).

Mold preform dalam mesin *injection molding* juga berfungsi untuk membentuk preform atau bentuk awal dari produk plastik yang kemudian akan digunakan sebagai bahan dasar untuk produk akhir. *Mold preform* memainkan peran penting dalam menentukan bentuk dan dimensi *preform* yang sesuai dengan desain yang diinginkan (Eidelweis, 2021).

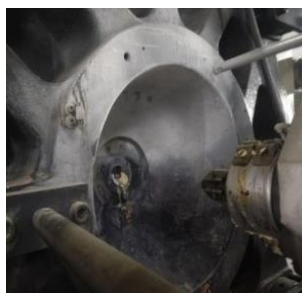


Gambar 2.18 *Mold Preform*

(Sumber : Go4mould.com)

5. *Nozzle*

Fungsi utama dari *nozzle* adalah untuk menghubungkan *barrel* ke *bushing sprue* yang akan membentuk segel antara cetakan dan *barrel*. Sangat penting bahwa suhu *nozzle* diatur sesuai dengan suhu leleh bahan plastik. *Nozzle* memandu aliran bahan plastik cair dari *barrel* ke dalam *sprue*, yang selanjutnya mengarahkan aliran plastik ke rongga cetakan (Eidelweis, 2021).



Gambar 2.19 *Nozzle*

(Sumber : Go4mould.com)

2.6 Cetakan (*Mold*)

Cetakan adalah rongga tempat untuk material yang dileburkan atau dilelehkan seperti logam atau plastik yang memperoleh bentuk sesuai desain cetakan yang dibuat. Cetakan juga pada dasarnya adalah rongga dari bentuk produk yang akan dibuat, sehingga desain dari cetakan ini terkadang kurang optimal atau tidak sesuai standar geometri yang di inginkan. Proses pembuatan cetakan (*mold*) ini melibatkan beberapa faktor yang harus diperhatikan dan harus menggunakan mesin otomatis CNC *milling* yang tingkat ketelitiannya cukup tinggi (Rakhmad et al., 2018).

Cetakan juga merupakan bagian penting dalam mencetak plastik dalam proses injeksi *molding*, karena bentuk jenis plastik tergantung dari desain cetakan itu sendiri. Untuk pembuatan cetakan itu sendiri terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti pemilihan material cetakan dan proses manufakturnya (Rakhmad et al., 2018)

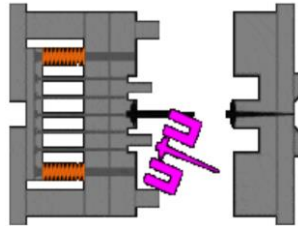
2.7 Jenis-Jenis Cetakan

Cetakan, yang juga dikenal sebagai *molding*, merupakan ruang kosong atau rongga yang digunakan untuk membentuk bahan plastik yang telah dilelehkan sehingga sesuai dengan desain cetakan. Cetakan terdiri dari dua bagian, yaitu pelat yang dapat bergerak (*moveable plate*) dan pelat yang diam (*stationary plate*). Sesuai dengan namanya, pelat yang dapat bergerak dipasang pada *moveable plate* di mesin injeksi *molding*, sementara pelat yang diam dipasang pada *stationary plate*. Secara umum, cetakan dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe cetakan 2 pelat dan cetakan 3 pelat. Cetakan 2 Pelat terdiri dari pelat rongga (*cavity plate*) dan pelat inti (*core plate*), sementara cetakan 3 Pelat juga mencakup pelat *runner*. Berikut adalah jenis tipe cetakan (Permana dan Anwar, 2021).

1. *Mold 2 Plate*

Cetakan 2 Pelat menghasilkan produk yang masih terhubung dengan runner (saluran material dari *sprue bush* dan seterusnya), sehingga perlu memisahkan produk dan runner dengan pemotong *nipper* atau tang potong untuk mendapatkan hasil pemotongan yang rapi. Untuk

mendapatkan produk yang terpisah dari *runner*, dapat diterapkan sistem gerbang tipe *sub-marine*, sedangkan untuk memungkinkan produk keluar tanpa *runner*, dapat mengaplikasikan sistem *hot runner*.

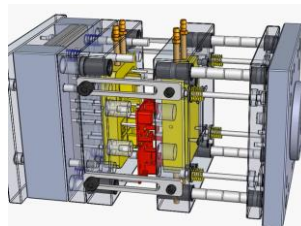


Gambar 2.20 *Mold 2 Plate*

(Sumber : plastikmoulds.com)

2. *Mold 3 Plate*

Perbedaan antara cetakan 2 Pelat dan cetakan 3 Pelat hanya terletak pada jumlah platennya. Cetakan 3 Pelat memiliki satu pelat tambahan, yang disebut pelat *runner*. Fungsi dari pelat *runner* adalah untuk memastikan produk terpisah dari *runner*, terutama dengan menggunakan gate yang biasa disebut sebagai gerbang *pin point*. Ketika cetakan terbuka, posisi *runner* harus tetap terpasang pada pelat *runner* dengan bantuan pin pengunci *runner* pada setiap gerbangnya.



Gambar 2.21 *Mold 3 Plate*

(Sumber : plastikmoulds.com)

2.8 Aluminium 6061

Aluminium 6061 ini adalah aluminium serba guna yang memiliki kekuatan yang tinggi dan biasanya banyak diaplikasikan dalam pembuatan cetakan, dimana sifat material dari *aluminium 6061* ini ketahanan korosi yang cukup tinggi dan memiliki konduktivitas termal yang baik membuat jenis material ini cocok digunakan untuk cetakan injeksi plastik. Paduan Aluminium 6061 merupakan salah satu paduan aluminium dari kelompok 6XXX yang sering

digunakan. Paduan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap panas. Selain aluminium, magnesium dan silikon adalah komponen utama dalam material ini. Kombinasi aluminium, magnesium, dan silikon juga membuat material ini sangat reaktif terhadap oksigen (Shieddieque et al., n.d.).

Paduan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap panas. Selain aluminium, magnesium dan silikon merupakan komposisi utama dalam material ini. Kombinasi aluminium, magnesium, dan silikon juga membuat material ini sangat reaktif terhadap oksigen. Beberapa produsen juga menambahkan sedikit krom dan tembaga untuk mencapai sifat tertentu. Ketika permukaan *aluminium 6061* terpapar udara, akan terbentuk lapisan tipis yang melindungi logam paduan ini dari karat. Berikut dibawah ini adalah gambar komposisi Paduan *aluminium 6061* (Shieddieque et al., n.d.).

Tabel 2.5 Paduan Kimia *Aluminium 6061*

Komposisi Kimia	Nilai	Satuan
Aluminium (Al)	95.65 - 98.65	%
Magnesium (Mg)	0.65 - 1.05	%
Silikon (Si)	0.25 - 0.7	%
Tembaga (Cu)	0.15 - 0.6	%
Mangan (Mn)	≤ 0.15	%
Kromium (Cr)	0.15 - 0.25	%
Besi (Fe)	≤ 0.35	%

2.9 Proses Permesinan

Proses permesinan merupakan kegiatan untuk menghasilkan produk melalui serangkaian tahapan dari bahan baku atau bahan mentah yang akan diolah secara sistematis dan teratur dengan metode tertentu, sehingga menghasilkan produk akhir yang diinginkan dan berfungsi sesuai kebutuhan. Proses permesinan juga merupakan transformasi bahan baku menjadi produk baru dengan peningkatan dalam fungsi, kualitas dan keunggulan lainnya, proses ini mengikuti prinsip pemotongan logam yang terbagi menjadi tiga kelompok dasar, yakni pemotongan dengan mesin pres, pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan pemotongan non-konvensional.

Pemotongan dengan mesin pres mencakup pengguntingan, pengepresan, dan penarikan. Pemotongan konvensional dengan mesin perkakas mencakup bubut, frais, dan sekrup. Proses ini melibatkan penghapusan bagian bahan kerja yang tidak diperlukan untuk membentuk geram sehingga menciptakan bentuk produk yang diinginkan (Nasution et al., 2021).

Proses pemesinan *milling CNC* adalah jenis permesinan pemotongan material menggunakan alat potong dengan beberapa mata potong yang berputar searah. Metode ini, yang menggunakan banyak gigi potong pada pisau yang berputar, dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan. Bentuk permukaan yang dihasilkan bisa datar, sudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja juga dapat berupa kombinasi dari berbagai bentuk. Mesin yang digunakan untuk menjepit benda kerja, menggerakkan pisau, dan melakukan pemotongan disebut mesin frais (Ratlalan, 2019).

2.9.1 Mesin CNC 3 AXIS

Secara garis besar, mesin *CNC 3 AXIS* terdapat dua kategori, yakni mesin *CNC 3 AXIS* untuk pelatihan (*Training Unit*) dan mesin *CNC 3 AXIS* untuk produksi (*Production Unit*). Fungsi dari kedua alat kurang lebih memiliki prinsip kerja yang serupa, namun berbeda dalam penggunaannya. Mesin *CNC 3 AXIS* untuk pelatihan digunakan untuk tugas yang ringan dan tidak terlalu kompleks, sementara mesin *CNC 3 AXIS* untuk produksi digunakan untuk tugas produksi massal karena dilengkapi dengan aksesoris yang lebih canggih seperti *chuck* otomatis dan *toolpost* otomatis (Nasution et al., 2021).

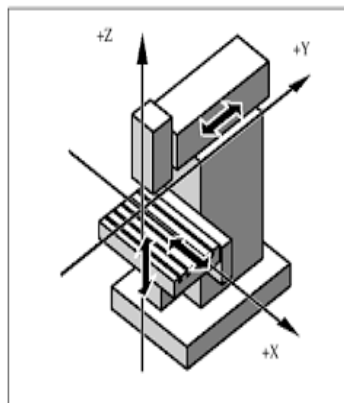


Gambar 2.22 Mesin *CNC 3 AXIS*

Mesin *CNC 3 AXIS* diperintahkan oleh komputer, sehingga semua proses berjalan secara otomatis sesuai dengan instruksi yang diberikan oleh program, maka dari itu, dengan program yang sama, mesin ini dapat diinstruksikan untuk mengulangi pelaksanaan proses secara berulang. Dimana *CNC 3 AXIS* ini diperintahkan oleh program, program tersebut memuat serangkaian instruksi yang harus dilaksanakan oleh mesin *CNC 3 AXIS*. Kelemahan dari pembuatan program NC secara langsung di mesin adalah waktu yang diperlukan sangat lama dan mesin tidak dapat digunakan selama proses pembuatan program NC berlangsung (Ratlalan, 2019).

2.9.2 Prinsip Kerja Mesin *CNC 3 AXIS*

Mesin *CNC 3 AXIS* menggunakan sistem koordinat persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesian (arah jarum jam). Sistem persumbuan pada mesin *CNC 3 AXIS* telah diatur sesuai dengan standar ISO. Prinsip kerja mesin *CNC 3 AXIS* adalah dengan meja bergerak dengan arah horizontal dan juga melintang, sedangkan mata pisau atau pahat berputar dengan menyayat badan kerja. Arah gerakan persumbuan mesin *CNC 3 AXIS* di antaranya sumbu X untuk arah bergerak horizontal memanjang (kiri-kanan), sumbu Y untuk arah gerak melintang (depan-belakang), dan sumbu Z untuk arah tegak lurus (atas-bawah) biasanya sumbu Z ini dilakan oleh pahat (Nasution et al., 2021).



Gambar 2.23 Persumbuan *CNC 3 AXIS*

(Sumber : Ratlalan, 2019)

2.9.3 Bagian-Bagian Utama Mesin CNC 3 AXIS

Terdapat bagian-bagian penting pada mesin *CNC 3 AXIS* secara garis besar semua mesin *CNC 3 AXIS* memiliki bagian yang sama, demikian juga pengoperasiannya tidak jauh beda dengan *CNC 3 AXIS* jenis yang berbeda. Berikut ini adalah bagian-bagian penting dalam mesin *CNC 3 AXIS* (Widiyaningsih & Irwanto, 2021)

1. Motor Penggerak

Motor penggerak adalah motor utama untuk menggerakkan pahat yang berfungsi untuk menyayat benda kerja, biasanya motor ini menggunakan jenis arus (*ss*) searah, dengan kecepatan yang berbeda-beda.



Gambar 2.24 Motor Penggerak

2. Step Motor

Motor step ini secara garis besar digunakan untuk menggerakkan meja benda kerja dimana terdapat dua arah gerak, yakni gerak X memanjang dan sumbu Y melintang.



Gambar 2.25 Step Motor

3. Meja Mesin

Meja mesin *CNC 3 AXIS* ini secara garis besar bergerak ke dua arah sumbu yang berbeda, yakni sumbu X dan Y dimana pada setiap sumbu nya difasilitasi dengan motor penggerak.



Gambar 2.26 Meja Mesin

4. Rumah Pahat

Rumah pahat ini secara garis besar digunakan untuk mencekam pahat yang akan digunakan (*tool holder*), pada rumah pahat ini hanya mampu menjepit satu pahat.



Gambar 2.27 Rumah Pahat

5. Ragum (cekam)

Ragum atau cekam ini digunakan untuk menjepit benda kerja ketika dilakukannya penyayatan, biasanya ragum dilengkapi oleh *stopper* guna batas pegangan pada benda kerja.



Gambar 2.28 Ragum

6. Bagian Pengendali

Bagian pengendali secara garis besar merupakan panel control pada mesin *CNC 3 AXIS* dimana panel tersebut terdapat tombol panel untuk melaksanakan perintah pada mesin.



Gambar 2.29 Bagian Pengendali

2.9.4 Parameter Permesinan

Parameter proses permesinan *CNC 3 AXIS* meliputi dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan variabel-variabel dalam proses pemakanan permesinan *CNC 3 AXIS*, seperti kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f), dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*). Pada proses permesinan mesin *CNC 3 AXIS* terdapat beberapa parameter sebagai berikut (Aziz & Saraswati, 2022).

1. Kecepatan Potong (V_c)

Kecepatan potong (V_c) adalah kecepatan linier di mana satu titik pada tepi pisau menempuh jarak dalam satuan meter dalam satu menit. Terdapat sistematika perumusan sebagai berikut.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V_c = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Jika kecepatan potong pada benda kerja diketahui maka jumlah putaran *spindle* dapat dicari putaran *spindle* nya yang akan digunakan berikut sistematika perumusannya

$$n = \frac{Vc \cdot 1000}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Vc = Kecepatan Potong (mm/min)

d = Diameter Pahat (mm)

n = Kecepatan Putar *Spindle* (putaran/min)

Sebelum memulai proses permesinan, hal yang terpenting adalah mengidentifikasi bahan yang akan dilakukan proses permesinan dan jenis pahat yang akan digunakan. Setelah menetapkan bahan dan pahat yang sesuai, langkah berikutnya adalah menentukan kecepatan potong. Kecepatan potong untuk berbagai jenis bahan biasanya telah distandarisasi dalam tabel berdasarkan hasil penelitian. Bahan-bahan tersebut dapat dibagi menjadi kategori logam dan non-logam, dengan penggunaan jenis pahat yang sesuai. Berikut adalah gambar untuk mengetahui standar kecepatan potong dari jenis bahan dan jenis pahat untuk memotong.

Material	<i>Dept of Cut</i> (mm)	<i>Speed</i> (m/min)	<i>Feed</i> (mm/tooth)
<i>Low Carbon Steel</i>	-7.0	180 - 300	0.10 - 0.30
<i>High Carbon Steel</i>	-7.0	130 - 280	0.10 - 0.30
<i>Alloy Steel</i>	-7.0	120 - 250	0.10 - 0.30
<i>Tool Steel</i>	-7.0	80 - 200	0.10 - 0.25
<i>Stainless 300 Series</i>	-4.2	80 - 170	0.08 - 0.18
<i>Stainless 400 Series</i>	-4.2	100 - 210	0.10 - 0.26
<i>Gray Cast Iron</i>	-7.0	150 - 400	0.10 - 0.30
<i>Nodular Cast Iron</i>	-7.0	100 - 250	0.10 - 0.30

Gambar 2.30 Standar Kecepatan Potong

2. Kecepatan Pemakanan (V_f)

Kecepatan pemakanan *feederate* berfokus untuk pengaturan kecepatan pergerakan meja *milling* saat melakukan proses pemotongan pada benda kerja. Secara garis besar kecepatan

pemakanan ini ialah jarak tempuh gerak benda kerja dalam satuan mm/menit. Berikut adalah sistematika perumusan untuk menentukan kecepatan pemakanan (Aziz & Saraswati, 2022).

$$Vf = f \cdot z \cdot n \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

Vf = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

f = Besar Pemakanan (mm/min)

z = Jumlah Mata Pahat Alat Potong

n = Putaran Mesin (Putaran/min)

Pemakanan per mata potong (fz) diukur dalam mm/*tooth* dan merupakan nilai yang digunakan dalam proses pemilinan untuk menghitung *feed* meja. Ketika *cutter milling* memiliki banyak mata potong, nilai fz diperlukan untuk memastikan setiap mata potong beroperasi dalam kondisi aman. Nilai *feed* per mata potong dihitung berdasarkan ketebalan *chips* yang direkomendasikan. Penentuan nilai *feed* harus dihitung menggunakan rumus yang mencakup kebutuhan *feed* dan disesuaikan dengan ukuran pahat serta jumlah mata potong yang akan digunakan. Berikut adalah gambar ketentuan pahat HSS.

Bahan	Pahat Bubut HSS		Pahat Bubut Karbida	
	m/men	Ft/min	M/men	Ft/min
Baja lunak(<i>Mild Steel</i>)	18 – 21	60 – 70	30 – 250	100 – 800
Besi Tuang(<i>Cast Iron</i>)	14 – 17	45 – 55	45 - 150	150 – 500
Perunggu	21 – 24	70 – 80	90 – 200	300 – 700
Tembaga	45 – 90	150 – 300	150 – 450	500 – 1500
Kuningan	30 – 120	100 – 400	120 – 300	400 – 1000
Aluminium	90 - 150	300 - 500	90 - 180	b. – 600

Gambar 2.31 Standar Ketentuan Pahat

3. Panjang Pemotongan dan Waktu Pemotongan

Panjang pemotongan dan waktu pemotongan dipengaruhi beberapa faktor, yakni jarak tempuh pengefraisan, kecepatan pemakanan dan

mata pisau yang digunakan. Berikut dibawah ini adalah perhitungan panjang dan waktu pemotongan.

$$L = l_n + l_w + l_v \dots\dots\dots (2.4)$$

$$t_c = \frac{L}{v_f} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

t_c = Waktu Pemotongan (min)

L = Panjang Pemotongan (mm)

l_n = Jarak Tempuh Pemakanan Keseluruhan (mm)

l_w = Jarak Awal Penyayatan (mm)

l_v = Jarak Akhir Penyayatan (mm)