

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah suatu proses manufaktur yang digunakan untuk membentuk produk atau komponen logam dengan cara mencairkan logam hingga mencapai temperatur lebur, kemudian menuangkannya ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai bentuk benda yang diinginkan. Setelah logam cair mengisi seluruh rongga cetakan, logam tersebut didinginkan hingga membeku dan membentuk produk sesuai dengan bentuk cetakan. Pengecoran logam merupakan salah satu metode pembentukan logam paling banyak digunakan dalam industri karena mampu menghasilkan komponen dengan bentuk yang kompleks, ukuran yang beragam, serta biaya produksi yang relatif ekonomis. Metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis logam dan paduan (F. R. Saputra dkk., 2020).

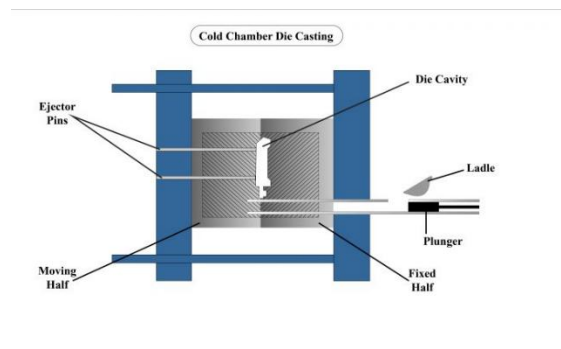
Berikut adalah beberapa metode dalam pengecoran logam:



Gambar 2.1 Pengecoran Logam (McLellan, 2024)

2.1.1 Die Casting

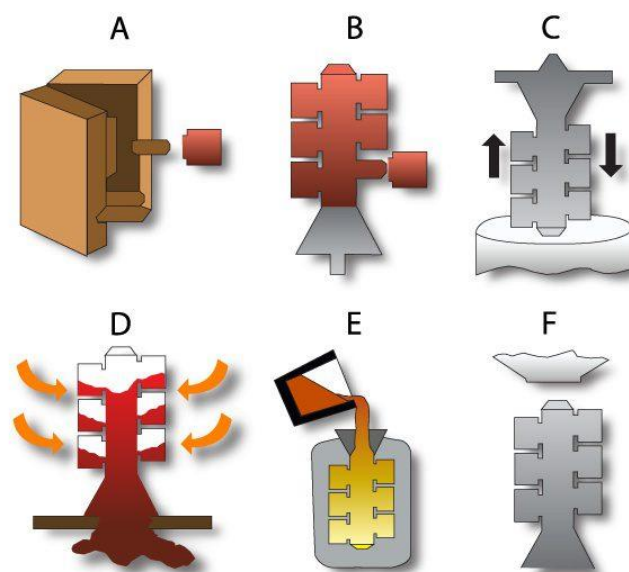
Die casting merupakan salah satu proses pengecoran logam yang dilakukan dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam cetakan permanen menggunakan tekanan tinggi. Cetakan yang digunakan umumnya terbuat dari baja sehingga dapat digunakan berulang kali. Pada proses *die casting*, logam terlebih dahulu dilebur hingga mencapai suhu tertentu. Setelah logam cair, kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan dengan bantuan sistem injeksi bertekanan tinggi. Tekanan yang diberikan memungkinkan logam cair mengalir dan mengisi seluruh bagian cetakan. Setelah logam membeku dan mengeras, cetakan dibuka dan produk hasil cor dikeluarkan menggunakan sistem ejektor. Dalam praktiknya, *die casting* terbagi menjadi dua metode utama, yaitu *hot chamber die casting* dan *cold chamber die casting*. Pada metode *hot chamber*, sistem injeksi berada langsung di dalam logam cair sehingga proses produksi dapat berlangsung dengan sangat cepat. Metode ini umumnya digunakan untuk logam yang memiliki titik lebur rendah seperti seng dan magnesium. Sementara itu, pada metode *cold chamber*, logam cair dipindahkan terlebih dahulu ke ruang injeksi sebelum ditekan ke dalam cetakan. Metode ini lebih cocok digunakan untuk logam dengan titik lebur yang lebih tinggi, seperti aluminium dan paduan tembaga (Taufik & Ma'ruf, 2021).



Gambar 2.2 *Die casting* (Wilisindomas, 2021)

2.1.2 Investment Casting

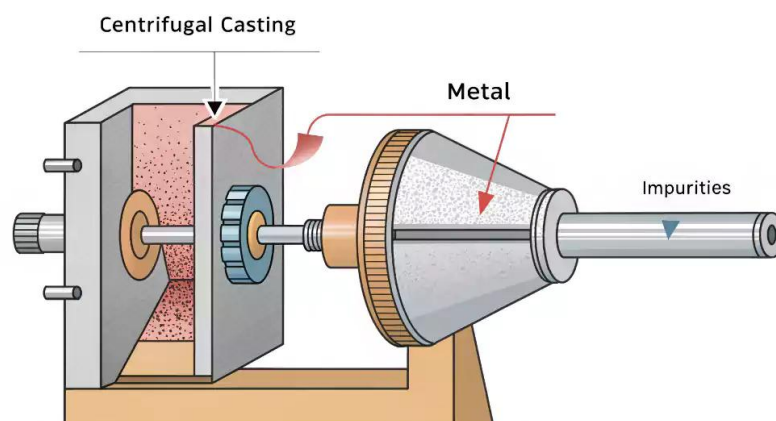
Investment casting atau *lost wax casting* adalah metode pengecoran logam presisi yang menggunakan pola lilin sebagai model pembentukan cetakan. Proses *investment casting* dimulai dengan pembuatan pola lilin sesuai dengan bentuk produk. Pola kemudian dilapisi bahan keramik hingga membentuk cangkang cetakan. Setelah keramik mengeras, pola lilin dilelehkan sehingga terbentuk rongga cetakan. Logam cair kemudian dituangkan ke dalam rongga tersebut dan dibiarkan membeku. Setelah proses pendinginan selesai, cetakan keramik dipecahkan untuk mengambil hasil coran yang selanjutnya dibersihkan dan diperiksa kualitasnya. Keunggulan *investment casting* terletak pada kemampuan menghasilkan komponen dengan akurasi tinggi, permukaan halus, dan detail yang baik. Selain itu, metode ini mampu menghasilkan produk yang mendekati bentuk akhir sehingga dapat mengurangi pemborosan material (Khristyson & Prahasti, 2020).



Gambar 2.3 *Investment Casting* (Olsen, 2020)

2.1.3 Centrifugal Casting

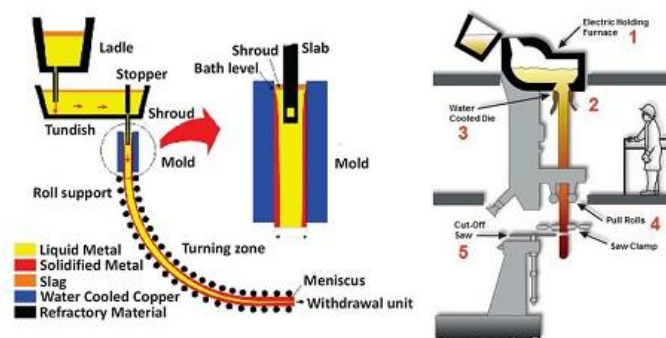
Centrifugal casting adalah metode pengecoran logam yang memanfaatkan gaya sentrifugal untuk mendistribusikan logam cair ke seluruh bagian cetakan. Pada proses ini, cetakan diputar dengan kecepatan tinggi saat logam cair dituangkan sehingga gaya sentrifugal mendorong logam menuju dinding cetakan dan membentuk produk sesuai bentuk yang diinginkan. Proses *centrifugal casting* dimulai dengan persiapan dan pemutaran cetakan pada kecepatan tertentu. Setelah cetakan berputar, logam cair dituangkan ke dalam cetakan. Gaya sentrifugal yang dihasilkan akan menyebarkan logam secara merata ke permukaan cetakan. Logam kemudian didinginkan hingga membeku, setelah itu putaran dihentikan dan hasil coran dikeluarkan dari cetakan. Keunggulan *centrifugal casting* adalah mampu menghasilkan struktur logam lebih padat, kualitas mekanik baik, serta porositas lebih rendah dibandingkan metode pengecoran lainnya. Selain itu, proses ini tidak selalu memerlukan inti (*core*) untuk membentuk rongga bagian dalam sehingga dapat mengurangi biaya produksi (MANURUNG, 2022).



Gambar 2.4 *Centrifugal Casting* (TonyLiu, 2025)

2.1.4 Continuous Casting

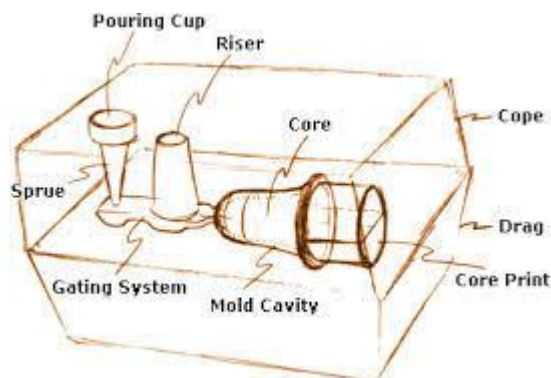
Continuous casting adalah proses pengecoran logam yang dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan berpendingin sehingga menghasilkan produk setengah jadi. Pada proses *continuous casting*, logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang didinginkan menggunakan air. Saat logam bergerak keluar dari cetakan, lapisan luar mulai membeku sementara bagian dalamnya masih cair. Produk kemudian ditarik secara terus-menerus melalui sistem rol pendingin hingga seluruh bagian logam membeku sempurna. Setelah mencapai panjang tertentu, produk dipotong sesuai ukuran yang diinginkan. Hasil pengecoran ini biasanya berupa *billet*, *bloom*, *slab*, atau bentuk setengah jadi lainnya yang selanjutnya diproses melalui pengerolan dan penempaan. Keunggulan *continuous casting* terletak pada produktivitas yang tinggi, kualitas produk lebih seragam, serta efisiensi penggunaan material yang lebih baik. Selain itu, proses ini mampu mengurangi waktu produksi dan kebutuhan proses lanjutan sehingga biaya produksi dapat ditekan. Namun, *continuous casting* memerlukan investasi peralatan yang besar dan sistem pengendalian proses yang baik untuk menjaga kualitas produk. Gangguan selama proses pengecoran juga dapat menyebabkan cacat pada produk dan mengurangi efisiensi produksi (ALAMSYAH, 2025).



Gambar 2.5 *Continuous casting* (Jaya, 2023)

2.2 Cetakan

Cetakan merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mencetak material, proses pencetakan material bisa menggunakan sistem injeksi sehingga prosesnya disebut dengan *injection molding*. Proses Pembuatan suatu produk dengan menggunakan injeksi merupakan pembentukan material yang dipanaskan kemudian diinjeksi kedalam cetakan kemudian didinginkan menggunakan fluida air sampai dingin sehingga material tersebut menjadi keras. Komponen yang berfungsi untuk tempat mendorong logam yang sudah dipanaskan adalah *nozzle* dan *sprue bushing* kemudian masuk kedalam rongga cetakan (Diswiratna dkk., 2022).



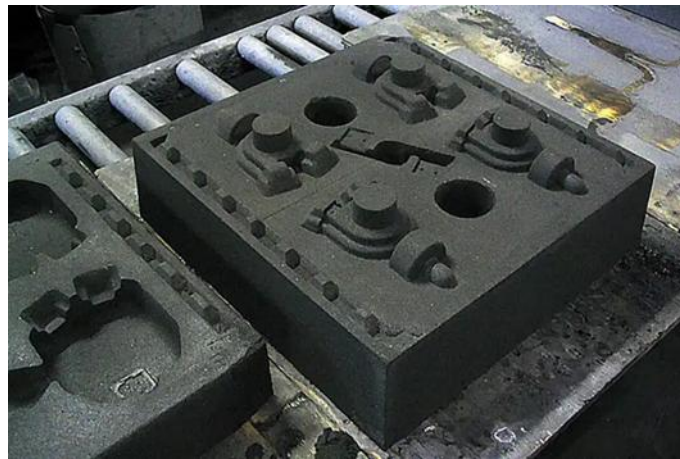
Gambar 2.6 Cetakan (Jaya, 2023)

2.2.1 Jenis Cetakan

1. Cetakan Pasir (*Sand Mold*)

Cetakan pasir merupakan jenis *mold* yang paling banyak digunakan dalam proses pengecoran logam karena memiliki biaya pembuatan yang relatif rendah dan mampu menghasilkan berbagai bentuk produk. Cetakan ini dibuat dari campuran pasir silika, bahan pengikat (*binder*) seperti bentonit atau resin, serta air. Rongga cetakan dibentuk menggunakan pola (*pattern*) yang memiliki bentuk sesuai produk

yang akan dibuat. Setelah logam cair dituangkan dan membeku, cetakan harus dihancurkan untuk mengeluarkan hasil cor sehingga hanya dapat digunakan satu kali (Raharjo dkk., 2025).



Gambar 2.7 *Sand Mold* (Ryan, 2024)

2. Cetakan Logam (*Permanent Mold*)

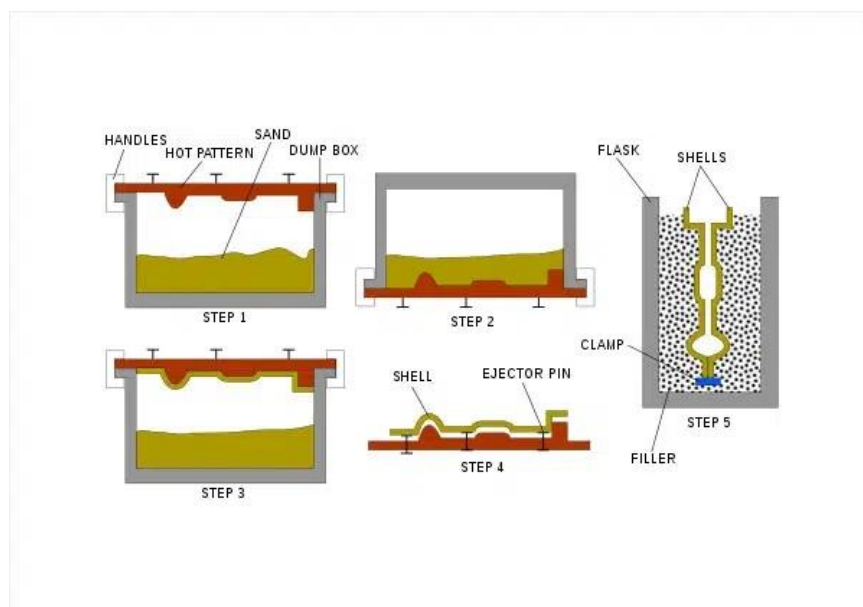
Cetakan logam atau *permanent mold* merupakan cetakan yang dibuat dari baja paduan, baja perkakas, atau besi tuang yang memiliki ketahanan tinggi terhadap temperatur pengecoran. Cetakan ini dapat digunakan berulang kali sehingga sangat sesuai untuk produksi massal. Pada proses pengecoran, logam cair dituangkan ke dalam rongga cetakan secara gravitasi. Setelah logam membeku, cetakan dibuka dan produk dikeluarkan tanpa merusak cetakan. Karena memiliki konduktivitas panas yang tinggi, pendinginan logam berlangsung lebih cepat sehingga struktur mikro logam menjadi lebih halus dan sifat mekaniknya meningkat (Prayoga dkk., 2024).



Gambar 2.8 *Permanent Mold* (Tria, 2020)

3. *Shell Mold*

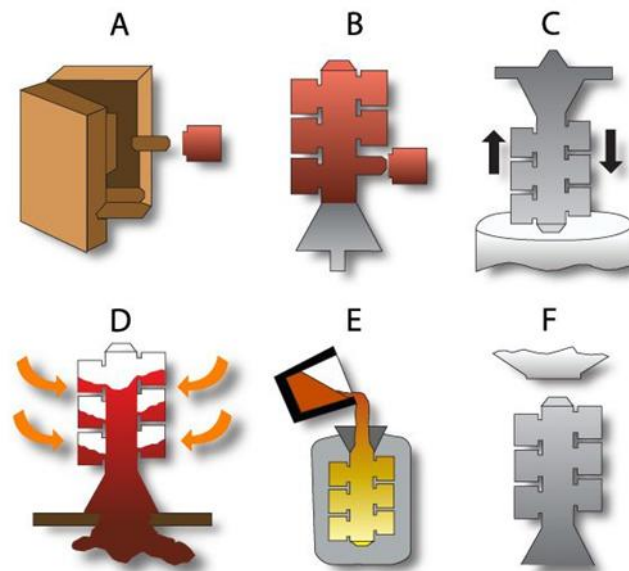
Shell mold merupakan pengembangan dari cetakan pasir. Pada proses ini, pasir silika dicampur dengan resin termoset kemudian dipanaskan menggunakan pola logam sehingga terbentuk lapisan tipis (*shell*) yang mengeras mengikuti bentuk pola. *Shell mold* menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan cetakan pasir biasa karena ukuran butiran pasir lebih halus dan proses pembentukannya lebih presisi (Pratama & Burhanuddin, 2025).



Gambar 2.9 *Shell Mold* (Zhiye, 2022)

4. *Investment Mold (Lost Wax Casting)*

Investment mold merupakan cetakan yang dibuat menggunakan pola lilin (*wax pattern*). Pola lilin terlebih dahulu dilapisi material keramik secara berulang hingga terbentuk lapisan yang cukup tebal. Setelah itu, lilin dilelehkan sehingga terbentuk rongga cetakan. Logam cair kemudian dituangkan ke dalam rongga tersebut dan setelah membeku, cetakan keramik dipecahkan untuk mengambil hasil cor. Metode ini banyak digunakan pada industri dirgantara, kedokteran, perhiasan, dan komponen mesin yang membutuhkan detail sangat tinggi (Al Hakim & Purwanto, 2021).



Gambar 2.10 *Investment Mold* (Olsen, 2020)

5. *Cetakan Grafit (Graphite Mold)*

Cetakan grafit dibuat dari material grafit yang memiliki konduktivitas panas tinggi, ketahanan terhadap kejut termal, serta sifat pelumasan alami. Cetakan ini banyak digunakan pada pengecoran aluminium, tembaga, kuningan, emas, dan perak. Grafit tidak mudah bereaksi dengan logam non-ferro sehingga mampu

menghasilkan permukaan produk yang baik. Namun, grafit memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah dibanding baja sehingga umur pakainya bergantung pada kondisi operasi (Massa dkk., 2024).

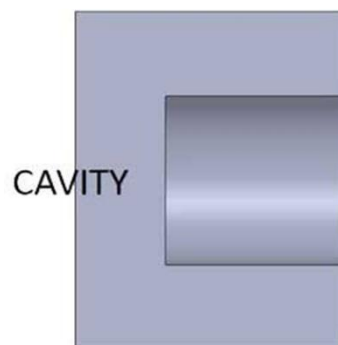


Gambar 2.11 *Graphite Mold* (Jinsun, 2024)

2.2.2 Komponen Cetakan

1. *Cavity*

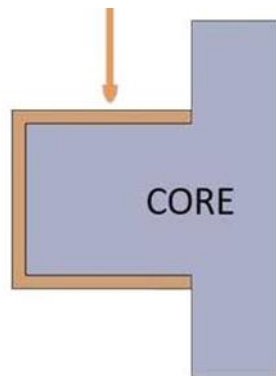
Cavity adalah rongga pada cetakan yang digunakan sebagai tempat masuknya logam cair hingga membeku menjadi produk sesuai bentuk yang diinginkan. Pembentukan *cavity* dilakukan dengan pembentukan pola (*pattern*), setelah pola dilepas terbentuk ruang kosong yang kemudian diisi logam cair melalui sistem saluran pengecoran (PARIRI & Buyung, 2022).



Gambar 2.12 *Cavity* (Zdcpu, 2023)

2. *Core*

Core adalah bagian tambahan yang digunakan untuk membentuk rongga, lubang, atau saluran pada bagian dalam benda cor. Penggunaan *core* sangat penting pada pembuatan komponen yang memiliki bagian dalam berlubang. Tanpa *core* bagian dalam produk tidak dapat terbentuk dengan baik. Dalam penggunaannya, *core* harus memiliki kekuatan yang cukup agar tidak pecah saat terisi logam cair, tetapi mudah dihancurkan atau dilepas setelah proses pengecoran selesai (Julian & Handoyo, 2020).

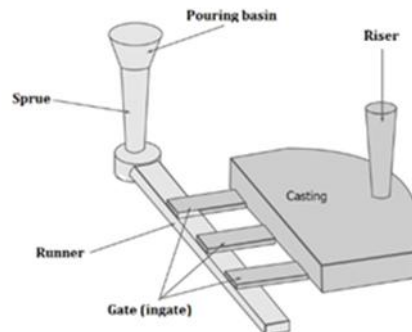


Gambar 2.13 *Core* (Zdcpu, 2023)

3. *Sprue*

Sprue adalah saluran vertikal pada sistem pengecoran yang berfungsi mengalirkan logam cair dari tempat penuangan menuju *runner* dan *cavity*. *Sprue* biasanya berbentuk silinder atau sedikit meruncing ke bawah untuk menjaga aliran logam tetap stabil dan mengurangi turbulensi. *Sprue* harus dibuat cukup kuat dan memiliki ukuran yang sesuai agar mampu menahan aliran logam cair bersuhu tinggi. Jika ukuran *sprue* terlalu kecil, aliran logam menjadi lambat dan dapat menyebabkan cetakan tidak terisi penuh. Sebaliknya, jika terlalu besar aliran dapat

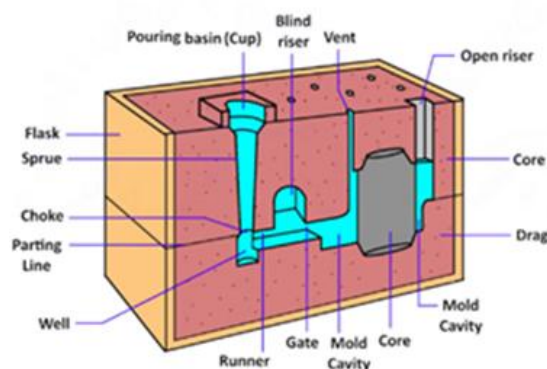
menjadi tidak stabil dan menimbulkan pemborosan logam (Susilowati & Permana, 2020).



Gambar 2.14 *Sprue* (Diecasting-mould, 2021)

4. *Runner*

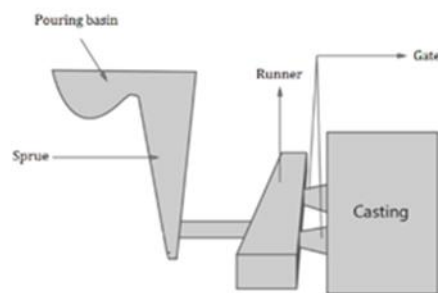
Runner adalah saluran mendatar pada sistem pengecoran yang menjadi penghubung utama antara saluran vertikal dan rongga cetakan sehingga aliran logam dapat tersebar dengan baik. Aliran yang terlalu cepat dapat menyebabkan udara terjebak dan menimbulkan cacat pengecoran, sedangkan aliran yang terlalu lambat dapat membuat logam membeku sebelum *cavity* terisi penuh. *Runner* biasanya dibuat dan dirancang agar mudah dibersihkan setelah proses pengecoran selesai. Ukuran *runner* harus disesuaikan dengan jenis logam, ukuran produk, dan *cavity* (Kaswadi, 2023).



Gambar 2.15 *Runner* (Diecasting-mould, 2021)

5. *Gate*

Gate merupakan bagian dari sistem pengecoran yang berfungsi mengatur jalannya logam cair dari tempat penuangan hingga masuk kerongga cetakan. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai saluran masuk logam cair, tetapi juga mengatur kecepatan aliran, menjaga kestabilan tekanan, mengurangi kotoran, dan membantu meningkatkan kualitas produk cor dengan kualitas tinggi (El Mehtedi dkk., 2020).

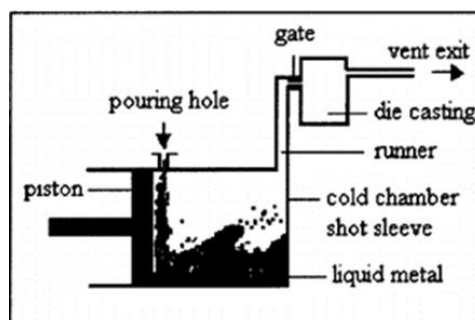


What is Die Casting Gate

Gambar 2.16 *Gate* (Diecasting-mould, 2021)

6. *Vent*

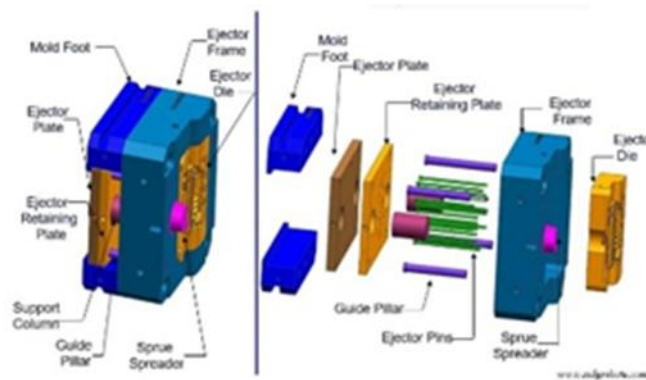
Vent merupakan saluran kecil yang berfungsi mengeluarkan udara dan gas dari dalam *cavity* saat logam cair masuk. Tanpa *vent*, udara dapat terperangkap dan menyebabkan cacat seperti porositas atau pengisian yang tidak sempurna. Meskipun ukurannya kecil, *vent* memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga kualitas hasil coran (Noviaty dkk., 2022).



Gambar 2.17 *Vent* (Nouri-Borujerdi, 2024)

7. *Ejector Pin*

Ejector pin adalah pin pendorong yang digunakan untuk melepaskan produk dari *cavity* setelah logam membeku. *Pin* ini bekerja dengan memberikan dorongan pada titik-titik tertentu sehingga produk dapat keluar tanpa merusak bentuknya. Penempatan *ejector pin* harus mempertimbangkan bentuk produk agar tidak meninggalkan bekas yang mengganggu (Farandy & Suhendra, 2023).



Gambar 2.18 *Ejector Pin* (Yang, 2025)

2.2.3 Material Cetakan

Besi ST 37 merupakan baja karbon rendah (low carbon steel) yang termasuk dalam kelompok baja konstruksi. Angka 37 menunjukkan nilai kekuatan tarik minimum material, yaitu sekitar 370 MPa. Besi ini memiliki kandungan karbon yang relatif rendah, sehingga mudah dikerjakan melalui proses pemesinan, pengelasan, pembentukan, maupun pemotongan. Keunggulan besi ST 37 terletak pada kemampuan pemesinannya yang sangat baik. Material ini dapat dikerjakan menggunakan mesin Computer Numerical Control (CNC) dengan proses seperti facing, contour milling, pocket milling, drilling, hingga finishing. Selain mudah dikerjakan, besi ST 37 juga memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan besi

perkakas (tool steel) yang umum digunakan sebagai material industri (Pramudya dkk., 2024).

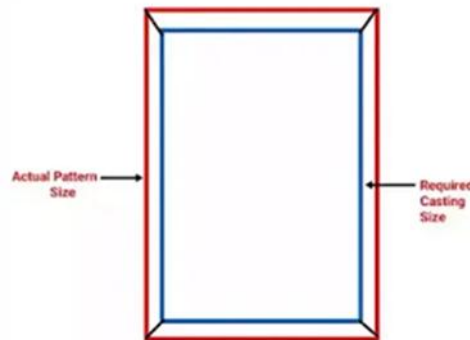


Gambar 2.19 Besi ST 37 (Jasonxue, 2025)

2.3 Penyusutan (*Shrinkage Allowance*)

Shrinkage allowance atau penyusutan merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam perancangan cetakan. Penyusutan terjadi karena logam mengalami penurunan volume saat berubah dari fase cair menjadi padat dan terus berlanjut selama proses pendinginan hingga mencapai suhu ruang. Apabila penyusutan tidak diperhitungkan, dimensi hasil cor menjadi lebih kecil daripada ukuran yang direncanakan sehingga tidak memenuhi spesifikasi produk. Oleh karena itu, ukuran *cavity* pada cetakan dibuat lebih besar dari ukuran produk akhir agar setelah proses pembekuan dan pendinginan selesai, dimensi hasil cor sesuai dengan desain yang diinginkan. Besarnya *shrinkage allowance* dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan karena setiap logam memiliki karakteristik penyusutan yang berbeda. Pada pengecoran logam, aluminium umumnya memiliki nilai penyusutan sekitar 1,0%–1,3%. Penerapan nilai penyusutan yang tepat akan menghasilkan dimensi produk yang lebih akurat, mengurangi penyimpangan

ukuran, serta meminimalkan proses perbaikan atau *finishing* setelah pengecoran dilakukan (Shiddiq, 2025).



Gambar 2.20 *Shrinkage Allowance* (Dwivedi, 2021)

2.4 Aluminium

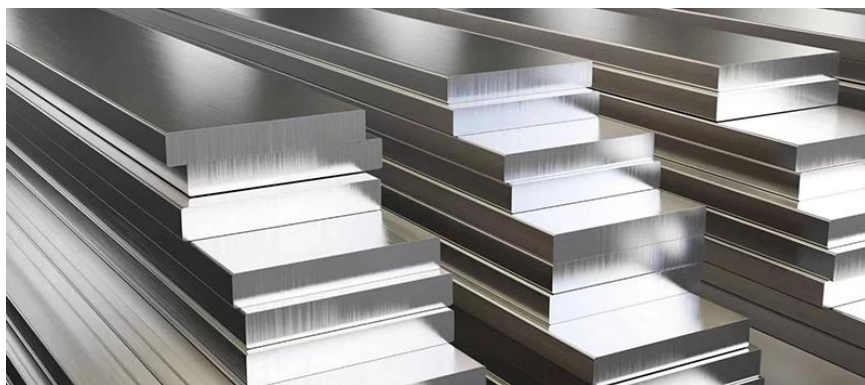
Alumunium merupakan logam yang mempunyai peran krusial karena kombinasi bobotnya yang ringan serta ketahanan korosi yang baik dalam industri manufaktur. Dalam kondisi murni, alumunium memiliki massa jenis sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$ yang jauh lebih rendah dibandingkan baja, namun ia memiliki kelemahan berupa kekuatan tarik relatif rendah. Salah satu alasan utama mengapa alumunium sangat populer dalam proses *die casting* adalah kemampuannya mengalir dengan baik saat berada dalam kondisi cair. Hal ini memungkinkan logam cair untuk mengisi rongga cetakan yang memiliki geometri rumit atau didnidng yang tipis secara lebih sempurna. Selain meningkatkan fluiditas, silikon juga berperan dalam menurunkan titik leleh material serta mengurangi angka penyusutan selama proses pendinginan, yang secara langsung berdampak pada akurasi dimensi produk akhir (Hutagaol & Junaidi, 2022).



Gambar 2.21 Aluminium (Wilson, 2025)

2.4.1 Aluminium *Copper Alloy* (Seri 2xxx)

Aluminium seri yang mengandung tembaga berkisar antara 2-10% dapat diberi perlakuan panas, terutama yang mengandung 2,5-5% Cu. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi ketahanan korosinya lebih rendah dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Jenis paduan ini sering digunakan dalam konstruksi paku keling dan banyak diaplikasikan dalam industri penerbangan, seperti pada super duralumin. Karena kandungan tembaga yang rendah pada ketahanan korosinya, paduan ini biasanya dilapisi dengan aluminium murni atau paduan aluminium yang lebih tahan korosi untuk meningkatkan daya tahannya (Kenevisi dkk., 2021).



Gambar 2.22 Aluminium *Copper Alloy* (Seri 2xxx) (Matahari, 2025)

2.4.2 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx)

Salah satu elemen yang dapat memperkuat aluminium adalah mangan (Mn) tanpa mengurangi ketahanan terhadap korosi. Paduan aluminium yang mengandung mangan biasanya memiliki kandungan mulai dari 0,05-1,5%. Jika dibandingkan dengan aluminium murni, paduan ini memiliki sifat yang sama dalam hal ketahanan korosi, tetapi dalam hal kekuatan, mereka lebih unggul hingga 620% dibandingkan dengan aluminium murni. Penggunaan paduan aluminium dengan mangan ini meliputi kaleng makanan, peralatan memasak, penukar panas, tangki penyimpanan, furnitur, dan rambu-rambu lalu lintas (Baruah & Borah, 2020).



Gambar 2.23 Aluminium *Manganese Alloy* (seri 3xxx) (Sun, 2025)

2.4.3 Aluminium *Silikon Alloy* (seri 4xxx)

Aluminium silikon adalah paduan aluminium yang sangat baik dalam hal likuiditas, memiliki permukaan yang baik, tidak rapuh karena panas, dan cocok untuk pengecoran paduan. Aluminium jenis ini memiliki kandungan silikon berkisar antara 3,6-13,5%. Paduan aluminium silikon memiliki ketahanan panas dan listrik yang baik, ketahanan korosi yang baik, massa yang ringan, dan koefisien muai yang kecil. Karena sifat-sifatnya tersebut, paduan jenis Al-Si banyak

digunakan sebagai logam pengisi pada pengelasan paduan aluminium, baik paduan cor maupun paduan tempa. Paduan ini, terutama seri 4032, memiliki koefisien muai panas yang rendah dan ketahanan aus yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai bahan pembuat piston (Joseph dkk., 2021).



Gambar 2.24 Aluminium *Silikon Alloy* (seri 4xxx) (Joseph dkk., 2021)

2.5 Toleransi Dimensi

Toleransi dimensi adalah batas penyimpangan ukuran antara dimensi desain dengan dimensi aktual cetakan. Toleransi dimensi pada cetakan mempertimbangkan beberapa faktor, seperti penyusutan logam selama pembekuan, keausan alat potong, parameter kecepatan pemakanan, dan kecepatan putaran *spindell*. Toleransi yang baik membantu mencegah cacat produk. Dimensi pada cetakan diperiksa menggunakan alat ukur seperti jangka sorong, hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan gambar teknik untuk memastikan dimensi berada dalam batas toleransi yang ditetapkan (Wiguna & Anggono, 2025).

Tabel 2.1 Standar ISO 2768 (Huda dkk., 2025)

<i>Tolerance Class</i>	<i>Permissible deviations for basic size range (mm)</i>							
<i>Description</i>	0.5 up to 3	Over 3 up to 6	Over 6 up to 30	Over 30 up to 120	Over 120 up to 400	Over 400 up to 1000	Over 1000 up to 2000	Over 2000 up to 4000
<i>Fine</i>	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	-
<i>Medium</i>	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2
<i>Coarse</i>	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4
<i>Very Coarse</i>	-	± 0.5	± 1	± 1.5	± 2.5	± 4	± 6	± 8

2.6 Mesin CNC

Mesin *CNC* (*Computer Numerically Controlled*) merupakan mesin perkakas yang dikendalikan oleh komputer dengan bahasa numerik. Bahasa numerik adalah perintah kerja dalam bentuk kode huruf dan angka yang telah distandardisasikan, dimana kode-kode tersebut akan mengintruksikan ke mesin *CNC* agar bekerja sesuai dengan program benda kerja yang akan dibuat (Hidayat, 2023).

Mesin *CNC* dilengkapi dengan berbagai alat potong yang dapat membuat benda kerja secara presisi dan dapat melakukan interpolasi yang diarahkan secara bahasa numerik. Parameter sistem operasi mesin *CNC* dapat diubah melalui program perangkat lunak (*software load program*) yang sesuai. Tingkat ketelitian mesin *CNC* lebih akurat hingga ketelitian perseribu milimeter, karena penggunaan *ballscrew* pada setiap transportasinya (Y. Saputra, 2022).

Mesin *CNC* dapat bekerja secara otomatis setelah diprogram terlebih dahulu menggunakan komputer. Program yang dimaksud merupakan program membuat benda kerja yang telah direncanakan atau dirancang sebelumnya. Sebelum benda kerja tersebut dikerjakan oleh mesin *CNC*, sebaiknya program dicek beberapa kali, agar program benar-benar telah sesuai dengan bentuk kerja yang diinginkan serta

dapat dikerjakan oleh mesin *CNC*. Pengecekan tersebut dapat melalui layar monitor yang terdapat pada mesin atau bila tidak ada fasilitas *cheking*, dapat pula melaui *plotter* yang dipasang pada tempat dudukan pahat (*tool post*) (Jufrizalddy dkk., 2020).



Gambar 2.25 Mesin *CNC* (Said, 2020)

2.6.1 Jenis-Jenis Mesin *CNC*

1. Mesin *CNC 2 Axis*

Mesin *CNC 2 axis* memiliki dua arah gerakan yang dapat dikendalikan secara bersamaan. Jenis ini umumnya digunakan untuk pekerjaan sederhana yang hanya memerlukan pergerakan pada dua bidang koordinat. Karakteristik dari mesin ini yaitu struktur mesin relatif sederhana dan produktivitas tinggi untuk pekerjaan berulang. Mesin *CNC 2 axis* banyak digunakan pada pembuatan poros, *bushing*, *pin*, serta komponen berbentuk silinder yang lain (Budi dkk., 2020).



Gambar 2.26 *CNC 2 Axis* (Immerman, 2025)

2. Mesin *CNC 3 Axis*

Sistem pada mesin *CNC 3 axis* memungkinkan gerakan pemotongan secara simultan pada tiga arah sehingga mampu menghasilkan bentuk yang lebih kompleks. Karakteristik dari mesin ini fleksibel untuk berbagai jenis pekerjaan permesinan, mudah diprogram dan dioperasikan, serta cocok untuk produksi massal. Mesin *CNC 3 axis* banyak digunakan pada pembuatan komponen mesin, cetakan sederhana, jig dan fixture (Budi dkk., 2020).



Gambar 2.27 *CNC 3 Axis* (Shixinproto, 2025)

3. Mesin *CNC 4 Axis*

Mesin *CNC 4 axis* memiliki kemampuan tambahan berupa gerakan putar sehingga benda kerja atau pahat berotasi selama proses permesinan berlangsung.

Penambahan satu sumbu ini meningkatkan kemampuan mesin dalam mengerjakan yang mengelilingi benda kerja. Mesin ini cocok digunakan untuk pembuatan *camshaft*, turbin sederhana, ukiran silinder, serta *gear* dan komponen berprofil melingkar (Budi dkk., 2020).



Gambar 2.28 *CNC 4 Axis* (Budi dkk., 2020)

4. Mesin *CNC 5 Axis*

Mesin *CNC 5 axis* mampu mengendalikan tiga gerakan linear dan dua gerakan rotasi secara bersamaan. Kemampuan ini memungkinkan pahat menjangkau hampir seluruh permukaan benda kerja tanpa perlu dilakukan pemasangan ulang. Karakteristik *CNC 5 axis* ini mampu menghasilkan bentuk geometri yang sangat kompleks, mengurangi waktu set up, serta presisi tinggi untuk komponen kritis (Rajain dkk., 2022).



Gambar 2.29 *CNC 5 Axis* (Rajain dkk., 2022)

2.6.2 Prinsip Kerja Mesin *CNC*

Mesin *CNC MCV 116 BA* mempunyai prinsip kerja dimana pengaturan pergerakan meja dan *spindell* nya dikontrol melalui program komputer. Program tersebut berupa *G-code* yang berisi perintah khusus yang harus dikerjakan oleh mesin *CNC* (Muchlis dkk., 2021).

Mesin *CNC MCV 116 BA* memiliki fungsi utama yaitu digunakan untuk fabrikasi presisi tinggi, seperti *milling*, *drilling*, dan *tapping* pada material logam. Jika bahan material sudah dimasukkan ke dalam mesin maka program komputer akan mengendalikan mesin untuk menjalankan proses sesuai program NC tersebut. Mesin *CNC MCV 116 BA* memiliki ketersediaan pilihan sumbu 3 *axis*, sehingga arah pergerakannya fleksibel dan bisa disesuaikan (Abbi & Sapta, 2025).

Mesin *CNC MCV 116 BA 3 axis* adalah mesin yang paling mendasar dari teknologi *CNC*. Teknik 3 *axis* ini merupakan pengembangan dari proses *rotary filling* dari yang awalnya menggunakan axis X dan Y. Pada pergerakan mesin *CNC*

MVC 116 BA, sumbu X digunakan untuk pemakanan arah atau gerakan horizontal, sumbu Y digunakan untuk pemakanan arah atau gerakan melintang, dan sumbu Z digunakan untuk pemakanan arah atau gerakan vertikal (Susanti & Kurniawan, 2020).



Gambar 2.30 *CNC MCV 116 BA* (McLaughlin, 2025)

2.6.3 Komponen Mesin *CNC MCV 116 BA*

1. Meja Mesin

Pada mesin *CNC MCV 116 BA 3 axis* terdapat 3 sumbu yaitu sumbu X, Y, dan Z. Meja mesin *CNC MCV 116 BA* bergerak pada dua sumbu, yaitu pada sumbu X dan Y. Untuk masing-masing sumbunya, meja ini dilengkapi dengan motor penggerak, *ball screw plus bearing* dan *guide way slider* untuk akurasi pergerakannya (TARIGAN, 2025).



Gambar 2.31 Meja Mesin (TARIGAN, 2025)

2. *Spindell* Mesin

Spindell mesin merupakan bagian dari mesin yang menjadi rumah *cutter*. *Spindell* inilah yang mengatur putaran dan pergerakan *cutter* pada sumbu Z. *Spindell* ini digerakkan oleh motor yang dilengkapi oleh tranmisi berupa kopling (*belting*). Seperti halnya meja mesin, *spindell* ini juga bisa digerakkan oleh *handle* eretan yang sama. *Spindell* inilah yang memegang *arbor cutter* dengan batuan udara tertekan (Nurlaila, 2020).



Gambar 2.32 *Spindell* (Said, 2021)

3. *Control Panel*

Pada bagian bawah monitor, terdapat tombol dan saklar yang berfungsi untuk memberikan perintah-perintah khusus. Tombol dan saklar tersebut antara lain seperti tombol *ON-OFF* untuk menyalakan dan mematikan mesin, tombol

emergency, saklar operasi mesin (*operating switch*), saklar pengatur kecepatan putar *spindell* utama dan lain-lain (Achmad dkk., 2025).



Gambar 2.33 *Control Panel* (Achmad dkk., 2025)

4. *Magazine*

Merupakan bagian pada mesin *CNC MCV 116 BA* yang berfungsi menyimpan beberapa tool adalah *magazine tool*. Semua tool tersebut akan berguna pada saat operasi permesinan. Komponen ini mempunyai banyak slot atau tempat penyimpanan *tool*, yakni sekitar 8 sampai 24 slot. Jumlah tersebut tergantung pada jenis mesin *CNC* itu sendiri (Wibowo dkk., 2022).



Gambar 2.34 *Magazine* (Wibowo dkk., 2022)

2.7 G-CODE

Pengertian pemograman adalah memasukkan data numerik ke memori mesin untuk membuat bentuk benda kerja. Sedangkan data yang berupa urutan perintah secara rinci setiap blok per blok untuk memberi tahu mesin *CNC* tentang apa yang harus dikerjakan disebut program *CNC* (Choirony dkk., 2021).

2.7.1 Metode Pemograman

Metode pemograman mesin *CNC* terdiri dari dua pemograman, yaitu metode *inkramental* dan metode *absolute*.

1. Metode *Inkramental*

Metode *inkramental* adalah suatu metode pemograman dimana titik referensinya selalu berubah, yaitu titik terakhir yang dituju menjadi titik referensi baru untuk ukuran berikutnya.

2. Metode *Absolute*

Metode *absolute* adalah suatu metode pemograman dimana titik referensinya tetap, yaitu satu titik dijadikan titik referensi untuk mencapai tujuan yang disetujui.

Tabel 2.2 *G-CODE* (Chacón dkk., 2022)

KODE PROGRAM	FUNGSI DAN KEGUNAAN
1. Kode Fungsi G	
G00	Perintah gerakan cepat tanpa penyayatan.
G01	Perintah gerakan sayat linear lurus, melintang dan tirus.

G02	Gerakan perintah interpolasi melingkar searah jarum jam.
G03	Gerakan perintah interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam.
G04	Perintah waktu tinggal diam.
G21	Perintah pembuatan blok kosong / kantong
G24	Perintah penetapan radius.
G25	Perintah pemanggilan program / sub program.
G27	Perintah melompat ke nomor blok program.
G33	Perintah pemotongan ulit tunggal.
G64	Perintah mematikan motor asutan / step motor
G65	Perintah pelayanan disket / kaset
G66	Perintah pelayanan dengan komputer (<i>external programming system</i> .)
G73	Perintah siklus pengeboran dengan pemutusan tatal.
2. Kode Fungsi M	
M00	Perintah program berakhir.
M03	Perintah sumbu utama berputar searah jarum jam.
M04	Perintah sumbu utama berputar berlawanan arah jarum jam.
M05	Perintah sumbu utama berhenti terprogram.
M06	1. Perintah pergantian alat potong dengan cara terprogram. 2. Perhitungan panjang pahat.
M08	Perintah <i>coolant ON</i> .
M09	Perintah <i>coolant OFF</i> .
M17	Perintah kembali ke program utama / akhir.

M30	Perintah program berakhir.
M98	Perintah kompensasi kelonggaran secara otomatis.
M99	Perintah parameter lingkaran.
3. Kode Fungsi A	
A00	Salah perintah fungsi G atau M.
A01	Salah perintah fungsi G02 atau G03.
A02	Harga ordinat X terlalu besar.
A03	Salah satu harga F.
A04	Harga ordinat Z salah.
A05	Kurang perintah M30.
A06	Jumlah putaran sumbu utama terlalu tinggi untuk pemrograman ulir.
A08	Akhir putaran pada perekaman.
A09	Program di disket tidak ditemukan.
A10	Program di disket aktif.
A11	Salah memuat disket.
A12	Salah pengecekan.
A13	Pengalihan inchi atau mm dengan pelayanan pemuatan.
A14	Salah menetapkan suatu dimensi.
A15	Salah harga H (tebal penyayatan).
A17	Salah subprogram.

2.8 Alat Potong *Endmill* dan *Drill* Pada Pemesinan *CNC*

2.8.1 Karakteristik dan Klasifikasi *Endmil*

Endmill merupakan jenis pemotong (*cuter*) pada mesin *milling* yang digunakan untuk membuat bentuk dan lubang pada benda kerja selama operasi *milling*, *profiling*, *contoring*, *slotting*, *conterboring*, *drilling* dan *reaming*. *Endmill* terdiri dari 3 bagian yaitu bagian pemotong, bagian *shank* yang menopang mesin *milling* dan bagian leher yang menghubungkannya dengan *shank*. *Endmill* memiliki gigi pemotong di ujung dan pinggirannya, di mana gigi perifer ini ada yang berbentuk lurus maupun heliks.

a. *Flat Endmill (Square)*

Flat Endmill (Square) memiliki ujung datar dengan sudut tajam 90 derajat. Alat ini adalah standar utama untuk mengerjakan permukaan rata (*facing*), pembuatan kantung (*pocketing*), dan pemotongan tepi tegak lurus. Namun, ujung tajamnya memiliki konstrasi tegangan tinggi, sehingga lebih rentan terhadap rompal (*chipping*) atau aus digunakan pada material keras dengan beban kejut tinggi (AMRI, 2024).



Gambar 2.35 *Flat Endmill* (AMRI, 2024)

b. *Bullnose Endmill*

Bullnose Endmill memiliki ujung berbentuk setengah bola (*hemisfer*). Alat ini dirancang khusus digunakan untuk kontur tiga dimensi (3D) dan permukaan melengkung yang kompleks. Karena geometrinya, *bullnose* tidak digunakan

pembersihan permukaan datar karena akan meninggalkan bekas gelombang (*scallop*), tetapi sangat unggul dalam menghasilkan transisi yang halus pada rongga cetakan (Ali dkk., 2023).



Gambar 2.36 *Bullnose Endmill* (Ali dkk., 2023)

c. *Corner Radius Endmill (Bullnose)*

Corner Radius Endmill (Bullnose) merupakan perpaduan geometri antara *flat* dan *bullnose*, dimana ujungnya datar namun memiliki radius kecil pada sudut pisaunya. Radius ini memberikan kekuatan struktural tambahan pada ujung alat, menjadikannya lebih tahan lama untuk proses pengasaran (*roughing*) berat atau pembuatan *fillet* pada sudut kantung (TARIGAN, 2025).



Gambar 2. 37 *Corner Radius Endmill* (TARIGAN, 2025)

2.8.2 Mekanisme *Drill* Dalam Pemesinan *CNC*

Drill atau mata bor adalah alat yang dirancang khusus untuk membuat lubang silindris pada benda kerja melalui petrase searah sumbu *spindell* (aksial). Dalam pembuatan *modal*, pengeboran memegang peranan vital untuk pembuatan lubang baut pengikat, lubang jalur sistem *ejector*, serta saluran pendingin (*cooling channel*). Geometri mata bor yang paling umum adalah *twist drill*, yang dicirikan alur spiral (*flutes*) untuk mengevakuasi beram (*chip*) keluar dari lubang. Udat ujung (*point angel*) menjadi kunci efektivitas potong 118 derajat umum digunakan untuk

maerial lunak, sedangkan sudut 135 derajat (*split point*) lebih sering digunakan untuk material keras. Pada mesin *CNC*, pengeboran sering dikombinasikan dengan siklus *peck drilling* (gerakan masuk keluar secara periodik) untuk memastikan suhu alat tetap terjaga dan beram tidak menyumbat lubang (PRAYOGA, 2023).



Gambar 2.38 *Drill* (PRAYOGA, 2023)