

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Mesin CNC Milling

Mesin Milling CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang banyak digunakan dalam proses manufaktur modern karena memiliki tingkat ketelitian dan produktivitas yang tinggi. Pada mesin ini, pergerakan meja mesin pada sumbu X dan Y serta pergerakan *spindle* sebagai rumah pahat dikendalikan secara otomatis oleh program yang telah dibuat sebelumnya (Oktaviano, 2016). Sistem kendali berbasis komputer memungkinkan mesin bekerja dengan akurasi yang lebih baik dibandingkan mesin *milling* konvensional, sehingga mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang seragam dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 2.1 Mesin *CNC Milling*  
(Made-in-china, 2025)

## 2.2 Pengertian Endmill

Pahat *endmill* merupakan salah satu jenis alat potong yang banyak digunakan dalam proses *milling* karena memiliki kemampuan pemesinan yang cukup fleksibel. Pahat ini dapat digunakan untuk berbagai operasi pengerjaan, seperti pengefraisan muka (*face milling*), pengefraisan horizontal, vertikal, pembuatan bidang miring, hingga pengerjaan profil atau kontur melingkar. Bentuk dan geometri pahat *endmill* memungkinkan proses pemotongan dilakukan pada berbagai jenis permukaan dengan tingkat ketelitian yang baik. Kemampuan tersebut menjadikan pahat *endmill* sebagai alat potong yang banyak digunakan dalam industri manufaktur (Bintarto dkk., 2018).



Gambar 2.2 *Endmill*  
(Yakinmaju, 2022a)

## 2.3 Jenis – Jenis Endmill

*Endmill* dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

### 2.3.1 Endmill Ball Nose

*Endmill Ball Nose* merupakan salah satu jenis alat potong yang banyak dimanfaatkan dalam proses pemesinan komponen dengan bentuk geometri yang kompleks. Karakteristik ujung pahat yang berbentuk setengah bola memungkinkan proses pemotongan dilakukan pada permukaan lengkung, kontur tiga dimensi, serta

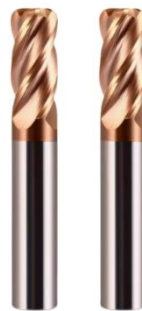
profil yang sulit dikerjakan menggunakan pahat konvensional. Oleh karena itu, pahat *ball-end mill* sering digunakan dalam pembuatan *mold*, *dies*, *jig*, dan *fixture* yang memerlukan tingkat ketelitian tinggi serta bentuk yang detail (Annisa Kirana dkk., 2022).



Gambar 2.3 *Endmill Ball Nose*  
(Group, 2022a)

### 2.3.2 Endmill Radius (Bull-End)

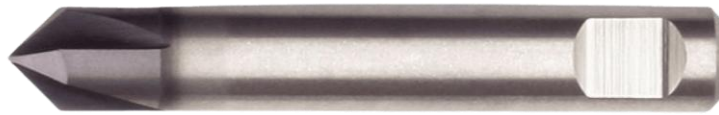
*Endmill radius*, atau yang kerap diistilahkan sebagai *bull-end* maupun *bull nose end mill*, merupakan bentuk penyempurnaan dari pahat *square end mill* melalui penambahan radius berukuran kecil pada sudut-sudut potongnya. Perubahan geometri ini secara khusus diaplikasikan untuk meredam konsentrasi tegangan yang umumnya terpusat pada sudut 90 derajat, sehingga risiko timbulnya retakan kecil (*chipping*) atau kerusakan awal pada mata sayat dapat diminimalkan secara efektif (Nugroho, 2022).



Gambar 2.4 *Endmill radius*  
(Cuttingtools, 2020)

### 2.3.3 Endmill Chamfer

*Endmill chamfer* adalah alat potong dengan ujung berbentuk V yang umumnya memiliki sudut 60 atau 90 derajat. Desainnya yang meruncing membuat alat ini sangat serbaguna, terutama untuk membuat kemiringan (*chamfering* dan *beveling*) pada tepi benda kerja (Tatar & Svenningsson, 2022).



Gambar 2.5 *Endmill Chamfer*  
(Yakinmaju, 2022b)

### 2.3.4 Endmill Persegi (Square Endmill)

*Endmill persegi* (*square end mill*) atau *flat-end mill* merupakan pahat potong fundamental dalam proses permesinan yang dirancang untuk menghasilkan sudut internal tepat 90 derajat pada benda kerja. Desain ujungnya yang rata memungkinkan alat ini menjalankan berbagai aplikasi *milling* umum, mulai dari pembuatan alur (*slotting*), pembentukan kontur luar (*profiling*), hingga pemotongan terjun (*plunge cutting*) dengan stabilitas yang tinggi (Azwan dkk., 2017). Selain fungsionalitasnya dalam pemakanan kasar, jenis ini sangat krusial dalam tahap penyelesaian (*finishing*) karena mampu membersihkan sisa material pada permukaan horizontal maupun vertikal secara simultan, sehingga menghasilkan pertemuan dinding dan lantai kerja yang siku dan presisi.



Gambar 2.6 *Endmill* persegi  
(Group, 2022b)

## 2.4 Jenis – Jenis Flute Endmill

*Flute* pada *endmill* terdapat beberapa jenis, yaitu:

### 2.4.1 Endmill 2 Flute

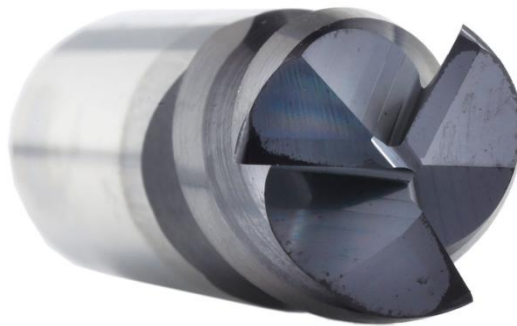
*Endmill 2 flute* merupakan solusi serbaguna yang menyeimbangkan kekuatan struktur dengan kemampuan pembuangan tatal yang baik. Alur yang cukup luas membuatnya efektif untuk material lunak dan lengket seperti aluminium, karena membantu mencegah penumpukan tatal yang dapat merusak alat. Selain itu, fitur *center-cutting* memungkinkan pemotongan vertikal langsung tanpa pengeboran awal, sehingga proses seperti pembuatan *slot* dan *pocket* menjadi lebih cepat efisien dan ekonomis (Yusran Aminy dkk., 2020).



Gambar 2.7 *Endmill 2 Flute*  
(Tradeindia, 2025)

### 2.4.2 Endmill 3 Flute

*Endmill 3 Flute* sering dianggap sebagai "titik keseimbangan sempurna" atau solusi hibrida yang paling cerdas, terutama dalam pengerjaan material non-besi seperti aluminium dan tembaga. Desain ini secara unik menggabungkan kemampuan evakuasi tatal (*chip*) yang efisien mendekati performa dua seruling dengan kekuatan struktural dan stabilitas yang jauh lebih baik. Dengan jumlah mata potong ganjil, alat ini secara alami membantu memecah harmonik getaran, sehingga meminimalkan getaran berlebih yang sering terjadi pada kecepatan tinggi (Firdaus & Susanti, 2021). Hal ini memungkinkan operator untuk mencapai laju pembuangan material yang agresif pada tahap pengasaran (*roughing*), namun tetap mampu menghasilkan kualitas permukaan yang sangat halus pada tahap penyelesaian (*finishing*).

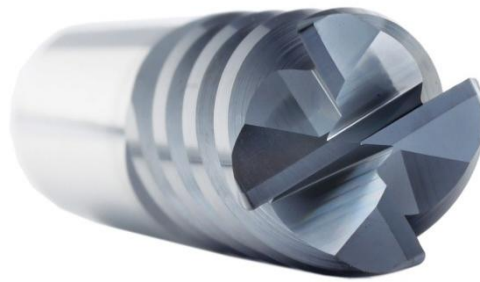


Gambar 2.8 *Endmill 3 Flute*  
(Mscdirect, 2025b)

### 2.4.3 Endmill 4 Flute

*Endmill 4 Flute* pada alat potong dirancang untuk memungkinkan laju umpan yang lebih tinggi karena jumlah sisi potong yang lebih banyak dapat bekerja secara bersamaan dalam satu putaran. Namun, peningkatan jumlah *flute* ini juga menyebabkan ruang antar *flute* menjadi lebih sempit, sehingga proses pelepasan

*chip* atau geram dapat terhambat, terutama saat digunakan pada material yang menghasilkan banyak serpihan. Meskipun demikian, konfigurasi ini sangat unggul dalam menghasilkan kualitas permukaan yang lebih halus dan presisi dibandingkan dengan alat potong dua atau tiga *flute*, sehingga lebih cocok digunakan pada tahap *finishing* atau pengerjaan akhir yang membutuhkan tingkat kehalusan tinggi serta toleransi yang ketat (Firdaus & Susanti, 2021).



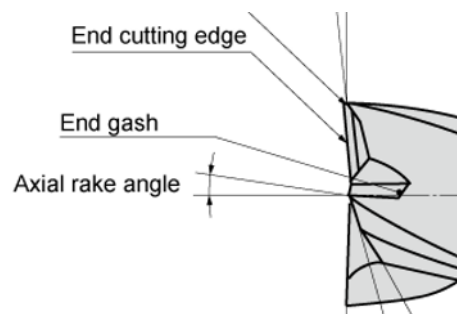
Gambar 2.9 *Endmill 4 Flute*  
(Mscdirect, 2025a)

## 2.6 Geometri Endmill 4 Flute

Geometri *endmill 4 flute* merupakan bentuk dan susunan sudut mata potong yang memiliki empat alur pemotong (*flute*). Jumlah alur yang lebih banyak memberikan luas kontak pemotongan yang lebih besar sehingga proses penyayatan menjadi lebih stabil dan mampu menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik. *Endmill 4 flute* juga memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan *endmill* dengan jumlah *flute* yang lebih sedikit, sehingga cocok digunakan untuk proses *finishing* maupun *semi-finishing* pada berbagai jenis material, termasuk aluminium, dengan tetap memperhatikan parameter pemotongan agar proses pembuangan geram berlangsung dengan baik.

### 2.6.1 End Cutting Edge (Mata Potong Ujung)

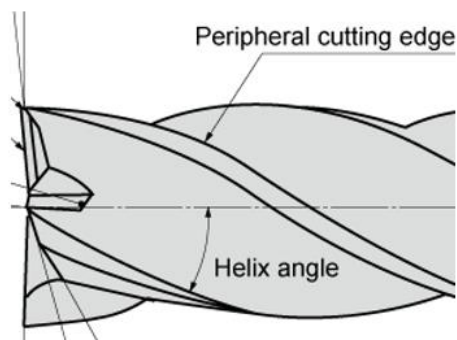
*End Cutting Edge* adalah bagian mata potong yang terletak pada ujung *endmill* dan berfungsi melakukan pemotongan pada arah aksial. Bagian ini berperan penting saat proses plunging atau saat pahat mulai memasuki benda kerja. Ketajaman *end cutting edge* sangat memengaruhi kemampuan potong dan kualitas hasil pemesinan.



Gambar 2.10 *End Cutting Edge*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

### 2.6.2 Peripheral Cutting Edge (Mata Potong Keliling)

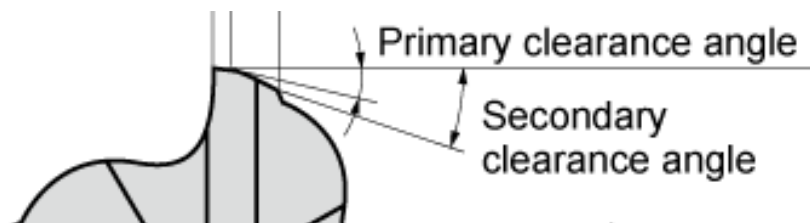
*Peripheral Cutting Edge* merupakan mata potong yang berada di sepanjang sisi heliks *endmill*. Bagian ini berfungsi melakukan pemotongan utama saat proses *milling* berlangsung. Kondisi dan ketajaman sisi potong ini sangat menentukan kualitas permukaan benda kerja serta efisiensi proses pemesinan.



Gambar 2.11 *Peripheral Cutting Edge*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

### 2.6.3 Primary Clearance Angle (Sudut Bebas Primer)

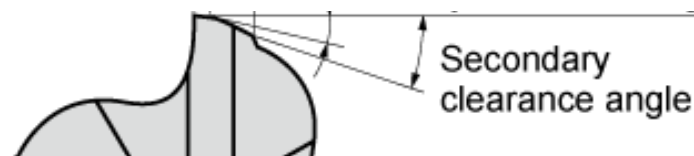
*Primary Clearance Angle* adalah sudut bebas pertama yang terletak tepat di belakang mata potong. Sudut ini berfungsi mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja sehingga proses pemotongan dapat berlangsung lebih ringan. Sudut bebas primer juga membantu mempertahankan ketajaman *cutting edge*.



Gambar 2.12 *Primary Clearance Angle*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

### 2.6.4 Secondary Clearance Angle (Sudut Bebas Sekunder)

*Secondary Clearance Angle* merupakan sudut bebas kedua yang berada di belakang sudut bebas primer. Fungsinya adalah memberikan ruang bebas tambahan sekaligus mempertahankan kekuatan mata potong. Kombinasi sudut bebas primer dan sekunder yang tepat dapat meningkatkan umur pakai *endmill*.

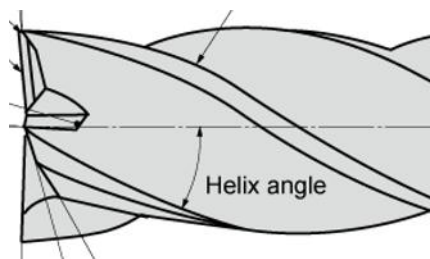


Gambar 2.13 *Secondary Clearance Angle*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

### 2.6.5 Helix Angle (Sudut Helix)

*Helix Angle* adalah sudut kemiringan *flute* terhadap sumbu *endmill*. Sudut *Helix* berfungsi membantu proses pembuangan geram, mengurangi getaran, serta

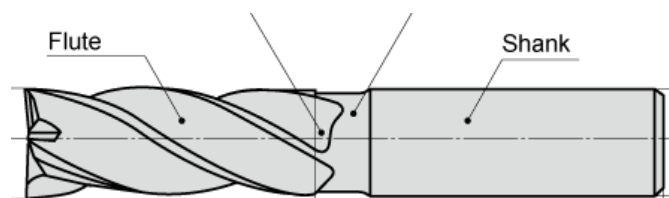
menghasilkan pemotongan yang lebih halus. *Endmill* untuk aluminium umumnya menggunakan sudut *Helix* yang lebih besar untuk meningkatkan kemampuan evakuasi geram.



Gambar 2.14 *Helix Angle*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

#### 2.6.6 Flute (Alur Geram)

*Flute* merupakan alur spiral pada badan *endmill* yang berfungsi sebagai jalur pembuangan geram selama proses pemotongan. Pada *endmill 4 flute*, jumlah alur yang lebih sedikit menghasilkan ruang geram yang lebih besar sehingga proses evakuasi geram menjadi lebih lancar. Karakteristik ini membuat *endmill 4 flute* sangat cocok digunakan untuk pemesinan material aluminium yang menghasilkan geram panjang.

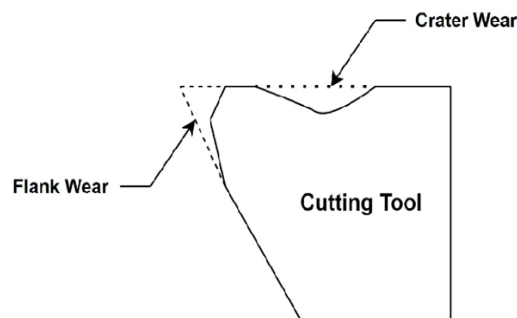


Gambar 2.15 *Flute*  
(L. W. Putra, Juswandi, dkk., 2022)

### 2.7 Keausan Alat Potong (Tool Wear)

Keausan pahat merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari dalam proses pemesinan karena mata potong selalu mengalami kontak dan gesekan dengan

material benda kerja selama proses penyayatan berlangsung. Seiring bertambahnya waktu pemotongan, tingkat keausan pada pahat akan semakin meningkat yang ditandai dengan berkurangnya ketajaman mata potong. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kemampuan pahat dalam menghasilkan pemotongan yang efektif dan pada akhirnya pahat tidak lagi mampu memenuhi standar (Rumbiak dkk., 2025).

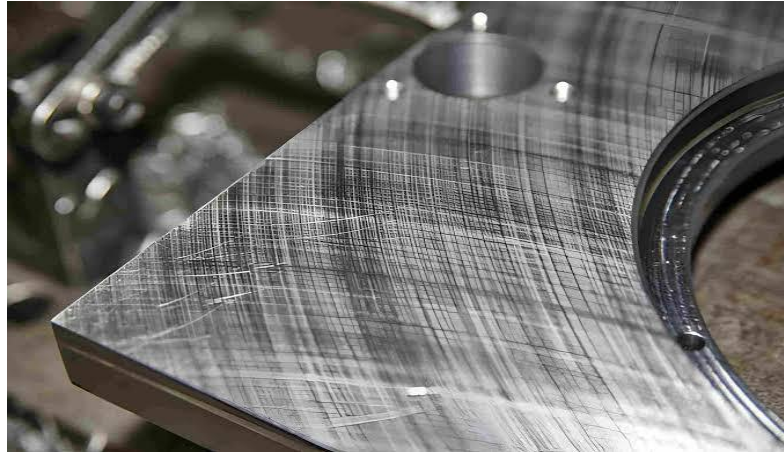


Gambar 2.16 Keausan Alat Potong  
(Xplore, 2024)

## 2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu karakteristik penting yang memengaruhi kinerja suatu komponen mesin. Permukaan dengan tingkat kekasaran yang tinggi cenderung menghasilkan gaya gesek yang lebih besar ketika terjadi kontak dengan komponen lain, sehingga dapat meningkatkan keausan dan menurunkan efisiensi kerja suatu sistem mekanis. Tingkat kekasaran permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh sifat material, tetapi juga sangat bergantung pada proses manufaktur yang digunakan. Faktor-faktor seperti metode pemesinan, kondisi pahat potong, parameter pemotongan, serta kemampuan mesin yang

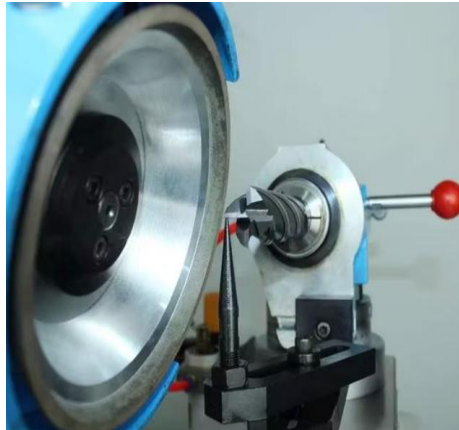
digunakan akan menentukan kualitas akhir permukaan benda kerja (Ramiro dkk., 2025).



Gambar 2.17 Kekasaran Permukaan  
(Premiumparts, 2024)

## 2.9 Pengasahan Endmill

Proses pengasahan merupakan suatu upaya pemeliharaan dan perbaikan geometri alat potong yang bertujuan untuk mengembalikan ketajaman serta meningkatkan performa pemotongan. Kegiatan ini dilakukan dengan cara menggesekkan atau menyentuhkan permukaan alat potong terhadap batu gerinda abrasif yang berputar menggunakan mesin gerinda pahat. Dalam proses ini terjadi mekanisme pelepasan material (*material removal*) melalui aksi butiran abrasif pada batu gerinda yang berfungsi sebagai mata potong mikro. butiran abrasif tersebut akan mengikis permukaan logam secara bertahap hingga terbentuk sudut potong (*cutting edge*) yang sesuai dengan kebutuhan proses permesinan (Wihelman Putra dkk., 2022).



Gambar 2.18 Pengasahan *Endmill*  
(Made-in-china, 2024)

## 2.10 Mesin Asah Universal

Mesin asah Universal adalah alat grinda presisi yang dirancang untuk mengasah berbagai jenis alat potong, seperti mata bor *high-speed steel* (HSS), *carbida*, *endmill*, pahat bubut dengan kapsital dimeter 3-16 mm. Prinsip kerja dari mesin asah universa putaran motor listrik memutar batu gerinda (*grinding wheel*) yang terpasang pada poros motor listrik, Proses penyayatan terjadi karena *tools* disentuhkan secara halus terhadap mata gerinda yang mengikis mata pahat tersebut. kemudian bergesekan dengan benja kerja sehingga terjadi pemotongan atau pengasahan, umumnya batu gerinda yang dipakai pada mesin asah universal menggunakan ukuran diameter 125 mm, ketebalan batu gerinda 60 mm, diameter lubang tengah 16 mm dengan ukuran kekasaran grit 80.

Mesin asah universal memiliki Keunggulan dibagian universal *grinding attachment* yang berguna mencekam (*collet*) dan pada bagian bawah terdapat engsel yang bisa di putar hingga 360° yang memungkinkan pengaturan sudut akurat untuk *endmill* ,bor spiral, atau pahat. dapat juga membentuk radius, tirus (0-180°) dengan adanya *collet* berfungsi penjepit presisi tinggi yang digunakan untuk memegang

alat benda kerja tetap stabil selama proses pengasahan (Sosial dan Teknologi dkk., 2025).



Gambar 2.19 Mesin Asah Universal  
(Alibaba.com, 2026)

## 2.11 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri karena memiliki kombinasi sifat yang menguntungkan. Logam ini memiliki massa jenis yang relatif rendah sehingga bobotnya lebih ringan dibandingkan banyak logam lainnya, namun tetap mampu memberikan kekuatan yang memadai untuk berbagai aplikasi. Material ini juga dikenal memiliki ketahanan korosi yang baik serta mudah dibentuk dan disambung melalui proses pengelasan. Berbagai keunggulan tersebut menjadikan aluminium sebagai material yang banyak digunakan dalam proses manufaktur, baik untuk kebutuhan industri otomotif, konstruksi, maupun permesinan (Bagus Siwi Nugroho dkk., 2022).



Gambar 2.20 Aluminium  
(Wikipedia, 2026)