

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Manufaktur

Manufaktur adalah proses mengubah bahan baku menjadi produk jadi, yang mencakup perancangan produk, pemilihan material, dan serangkaian tahapan produksi. Dalam manufaktur juga terdapat proses pemesinan, yaitu pembuatan bagian atau produk dengan menggunakan mesin perkakas potong untuk membuang sebagian material agar terbentuk sesuai bentuk yang diinginkan. Perkakas potong tersebut dari bahan yang lebih keras daripada material yang diproses (Amri, 2024).

2.2 Proses Pemesinan (*Machining*)

Proses pemesinan (*machining*) adalah kegiatan pemotongan atau penghilangan material dari sebuah benda kerja (*workpiece*) dalam bentuk serpihan-serpihan kecil (*chip*) yang tidak diinginkan. Tujuan utama proses ini adalah membentuk benda kerja sehingga mencapai dimensi, bentuk, dan permukaan akhir yang diinginkan sesuai gambar atau spesifikasi desain yang telah ditetapkan. Proses pemesinan dapat dilakukan dengan berbagai metode dan mesin, seperti bubut, frais, bor, dan penggilingan, serta memerlukan pemilihan alat potong, kecepatan, dan kondisi kerja yang tepat untuk menghasilkan toleransi dan kualitas permukaan yang baik (Satya dkk., 2023).

2.3 Mesin Milling CNC

CNC milling merupakan salah satu proses pemesinan paling fleksibel dan banyak digunakan dalam industri *manufaktur*. Mesin ini mampu menghasilkan berbagai bentuk dan fitur kompleks dengan tingkat akurasi tinggi. Teknologi *CNC* memungkinkan integrasi fungsi otomatis, seperti pengaturan kecepatan putar, kecepatan pemakanan, dan jalur alat potong, yang dikendalikan melalui program komputer (Mauludin & Hatta, 2025).



Gambar 2.1 Mesin Milling CNC
(Abu, 2020)

2.4 Pengertian *Endmill*

Endmill merupakan salah satu jenis *cutter* mesin *CNC router* yang banyak digunakan. Biasanya *endmill* terbuat dari baja kecepatan tinggi (*HSS*) atau *carbide*, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). Fungsi dari *flute* adalah sebagai jalur lewatnya geram dan *fluida* pendingin (*coolant*). Fungsi dari *endmill* untuk membuat alur pada bidang yang flat, hingga untuk meratakan permukaan. Penggunaan umumnya diletakkan pada posisi tegak terhadap benda kerja (Bastomi dkk., 2021).



Gambar 2.2 *Endmill*
(D. Anggraini, 2025)

2.5 Jenis-Jenis *Endmill*

Endmill terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

2.5.1 *Endmill* Persegi (Square *Endmill*)

Square End Mill atau juga sering dikenal dengan *flat endmill*, memiliki ujung sudut yang runcing membentuk sudut 90 derajat. Digunakan untuk pemotongan general seperti *facing*, slotting, profiling maupun pembuatan lubang (Amri, 2024).



Gambar 2.3 *Endmill* Persegi
(Amri, 2024)

2.5.2 *Endmill* Ball Nose

Ball Nose EndMill memiliki ujung radius penuh. membentuk sudut 90 derajat. Digunakan untuk pemotongan yang memiliki kontur misalnya radius atau miring,

slotting, pocketing. Endmill jenis ini banyak digunakan untuk finishing permukaan *mold & dies* (Amri, 2024).



Gambar 2.4 Endmill Ball Nose
(Amri, 2024)

2.5.3 Endmill Radius

Corner Radius EndMill atau juga sering dikenal dengan *Bull Nose endmill*, memiliki ujung sudut radius. Biasanya radius yang digunakan spesifik sesuai kebutuhan pengerjaan (Amri, 2024).



Gambar 2.5 Endmill Radius
(Amri, 2024)

2.5.4 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 2.6 Endmill Chamfer
(D. Anggraini, 2025)

2.5.5 *Roughing Endmill*

Roughing EndMill memiliki tampilan bergerigi di sepanjang *flutenya*. Biasanya digunakan untuk menghilangkan bagian secara cepat di awal proses pengerjaan di mesin dan untuk proses pengerjaan yang berat. (Denkena dkk., 2020).



Gambar 2.7 *Roughing Endmill*
(Amri, 2024)

2.6 Jenis-Jenis *Flute Endmill*

Flute pada *endmill* terdapat beberapa jenis, yaitu:

2.6.1 *Endmill 2 Flute*

Endmill 2 flute (2F) adalah jenis pahat *frais* yang memiliki keseimbangan antara kekuatan konstruksi alat dan kemampuan membuang tatal dengan baik. Desain alurnya yang lebih lebar membuat alat ini sangat cocok digunakan pada material lunak dan mudah lengket, seperti *aluminium*, karena dapat mengurangi terjadinya penumpukan tatal yang berpotensi merusak pahat. Selain itu, end mill ini dilengkapi fitur *center-cutting* yang memungkinkan proses pemotongan dilakukan secara *vertikal* tanpa perlu pengeboran awal. Dengan keunggulan tersebut, pekerjaan seperti pembuatan slot maupun pocket dapat dilakukan dengan lebih cepat, efisien, dan hemat biaya (Aminy dkk., 2020).



Gambar 2.8 Endmill 2 Flute
(D. Anggraini, 2025)

2.6.2 Endmill 3 Flute

Endmill 3 Flute (3F) adalah jenis alat potong yang paling ideal untuk material *non-ferro* seperti *aluminium*, karena desain tiga mata sayatnya memberikan keseimbangan antara ruang pembuangan beram (*chip clearance*) dan kekuatan alat. Namun, seiring dengan durasi pemakaian, alat potong ini secara alami akan mengalami keausan pada bagian *flute* dan *end face*. Jika alat potong yang tumpul dipaksakan bekerja, hal ini tidak hanya meningkatkan beban motor mesin, tetapi juga meningkatkan suhu pemotongan yang dapat merusak struktur material *aluminium* (Putra dkk., 2022).



Gambar 2.9 Endmill 3 Flute
(D. Anggraini, 2025)

2.6.3 Endmill 4 Flute

Endmill 4 flute merupakan jenis alat potong yang memiliki empat sisi pemotong sehingga mampu bekerja dengan laju pemakanan (*feed rate*) yang lebih tinggi karena proses pemotongan berlangsung lebih banyak dalam satu putaran. Jumlah *flute* yang lebih banyak membuat kinerja pemotongan menjadi lebih stabil dan efisien. Akan tetapi, desain tersebut menyebabkan jarak antar *flute* menjadi lebih kecil sehingga ruang pembuangan *chip* atau geram menjadi terbatas, khususnya saat digunakan pada material yang menghasilkan serpihan dalam jumlah besar. Walaupun demikian, *endmill 4 flute* memiliki keunggulan dalam menghasilkan permukaan benda kerja yang lebih rata, halus, dan presisi dibandingkan *endmill 2 flute* maupun *3 flute*. Oleh karena itu, jenis *endmill* ini lebih sering digunakan pada proses finishing atau pengerjaan akhir yang memerlukan tingkat kehalusan permukaan serta ketelitian dimensi yang tinggi (Rohman dkk., 2023).



4 flute

Gambar 2.10 Endmill 4 Flute
(D. Anggraini, 2025)

2.7 Geometri Endmill 3 Flute

Geometri endmill 3 flute merupakan faktor penting yang memengaruhi performa pemotongan dalam proses *frais*. Jenis *endmill* ini memiliki tiga sisi potong (*flute*) yang tersusun merata di sekeliling badan pahat, sehingga memberikan keseimbangan antara kekuatan alat, kualitas hasil pemesinan, dan efektivitas pembuangan geram. Jika dibandingkan dengan *endmill 2 flute*, *endmill 3 flute* mampu bekerja dengan laju pemakanan yang lebih tinggi karena jumlah mata potongnya lebih banyak, namun masih memiliki ruang geram yang cukup baik dibandingkan *endmill 4 flute*. Beberapa elemen *geometri* utama pada *endmill 3 flute* meliputi sudut heliks (*helix angle*), sudut bebas (*relief angle*), sudut potong (*rake angle*), serta ukuran diameter dan panjang pahat. Sudut heliks yang biasanya berada pada rentang 30° hingga 45° berfungsi membantu proses pengeluaran geram sekaligus mengurangi getaran saat pemotongan. Selain itu, sudut *rake* yang bernilai positif dapat menurunkan gaya potong, sehingga cocok digunakan untuk material yang lebih lunak seperti *aluminium*. Dengan karakteristik tersebut, *endmill 3 flute* banyak diaplikasikan pada proses semi-finishing hingga finishing karena mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus dengan produktivitas yang tetap tinggi (Jumlah dkk., 2023).

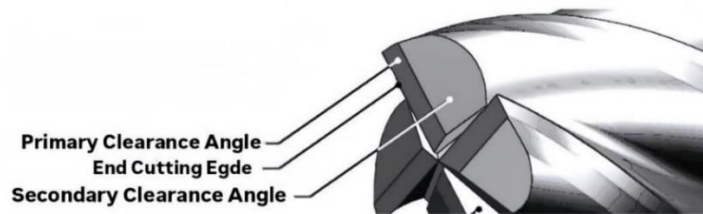
Tabel 2.1 Geometri Endmill 3 Flute

Bagian Geometri	Besar Sudut / Spesifikasi Standar	Fungsi & Penjelasan
End Cutting Edge Angle (Sudut Potong Ujung)	90° (Rata terhadap sumbu / square) atau variasi sudut potong utama pada ujung	Menentukan profil dasar permukaan bawah saat melakukan face milling atau slotting
Peripheral Cutting Edge Angle (Sudut Potong Sisi Luar)	90°	Memastikan dinding hasil milling tegak lurus dan presisi terhadap permukaan dasar
Primary Clereance Angle (Sudut Bebas Primer)	5° - 12°	Mengurangi gesekan langsung antara bodi belakang mata potong dengan benda kerja, serta mencegah panas berlebih
Secondary Primary Angle (Sudut Bebas Sekunder)	10° - 20°	Memberikan ruang bebas tambahan di belakang sudut primary untuk memperkuat struktur mata potong sekaligus menjaga stabilisasi
Helix Angle (Sudut Spiral Flute)	30° - 45°	Mengurangi getaran, memperluas gaya dorong, dan memaksimalkan evakuasi serpihan logam keluar dari alur
Flute (Alur & Jumlah Mata Potong)	3 Flute	Memberikan rasio keseimbangan terbaik antara kekuatan inti alat dan kapasitas ruang evakuasi serpihan

2.7.1 End Cutting Edge (Mata Potong Ujung)

End Cutting Edge merupakan bagian ujung mata potong pada *endmill* yang berfungsi untuk melakukan proses pemotongan searah sumbu (arah aksial). Bagian ini memiliki peran penting terutama pada saat proses plunging atau ketika pahat pertama

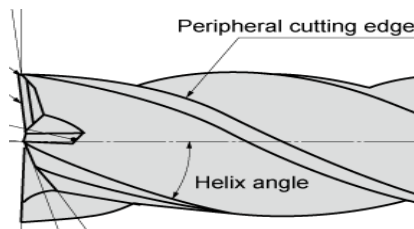
kali memasuki benda kerja. Kondisi ketajaman *end cutting edge* sangat berpengaruh terhadap kemampuan pemotongan serta kualitas permukaan hasil proses pemesinan (Nurrohkayati, 2022).



Gambar 2.11 *End Cutting Edge*
(ToolNotes.com, 2024)

2.7.2 Peripheral Cutting Edge (Mata Potong Keliling)

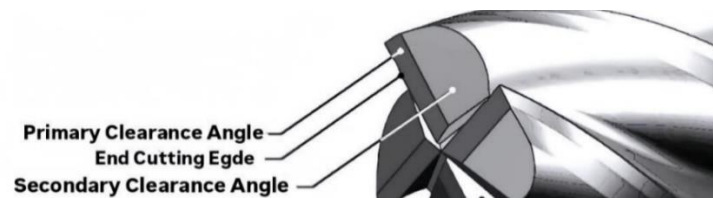
Peripheral Cutting Edge merupakan mata potong yang terletak di sepanjang sisi heliks endmill dan berfungsi sebagai bagian utama dalam proses pemotongan saat operasi milling berlangsung. Ketajaman serta kondisi mata potong pada bagian ini sangat memengaruhi kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan, sekaligus menentukan efisiensi proses pemesinan (H. Z. Nugroho dkk., 2018).



Gambar 2.12 *Peripheral Cutting Edge*
(Putra dkk., 2022)

2.7.3 Primary Cleareance Angle (Sudut Bebas Primer)

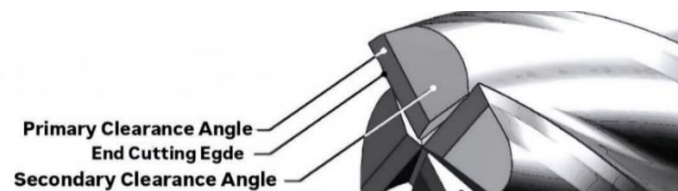
Primary Clearance Angle merupakan sudut bebas pertama yang terletak tepat di belakang mata potong. Sudut ini berfungsi untuk mengurangi gesekan antara pahat dengan permukaan benda kerja sehingga proses pemotongan dapat berlangsung lebih efektif. Selain itu, primary clearance angle juga berperan dalam menjaga ketajaman mata potong agar tetap optimal selama proses pemesinan (Sriyanto dkk., 2022).



Gambar 2.13 Primery Cleareance Angle
(ToolNotes.com, 2024)

2.7.4 Secondary Clereance Angle (Sudut Bebas Sekunder)

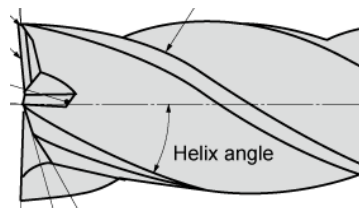
Secondary Clereance Angle merupakan sudut bebas kedua yang berada di belakang sudut bebas primer. Fungsinya adalah memberikan ruang bebas tambahan sekaligus mempertahankan kekuatan mata potong. Kombinasi sudut bebas primer dan sekunder yang tepat dapat meningkatkan umur pakai *endmill* (Nurrohkayati, 2022).



Gambar 2.14 Secondary Clereance Angle
(ToolNotes.com, 2024)

2.7.5 *Helix Angle* (Sudut *Helix*)

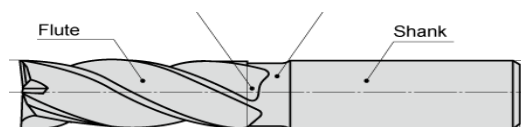
Helix Angle adalah sudut kemiringan *flute* terhadap sumbu *endmill*. Sudut *heliks* berfungsi membantu proses pembuangan geram, mengurangi getaran, serta menghasilkan pemotongan yang lebih halus. *Endmill* untuk aluminium umumnya menggunakan sudut *heliks* yang lebih besar untuk meningkatkan kemampuan evakuasi geram (Abriandika dkk., 2026).



Gambar 2.15 *Helix Angle*
(Putra dkk., 2022)

2.7.6 *Flute* (Alur Geram)

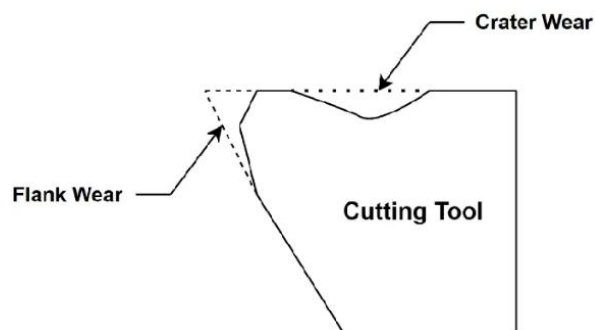
Flute merupakan alur spiral pada badan *endmill* yang berfungsi sebagai jalur pembuangan geram selama proses pemotongan. Pada *endmill 2 flute*, jumlah alur yang lebih sedikit menghasilkan ruang geram yang lebih besar sehingga proses evakuasi geram menjadi lebih lancar. Karakteristik ini membuat *endmill 2 flute* sangat cocok digunakan untuk pemesinan material aluminium yang menghasilkan geram panjang (Putra dkk., 2022).



Gambar 2.16 *Flute*
(Putra dkk., 2022)

2.8 Keausan Alat Potong

Keausan alat potong merupakan degradasi fungsional pahat yang dipicu oleh gesekan selama proses pemesinan mengalami erosi atau kehilangan material akibat gesekan, tekanan, dan panas yang dihasilkan selama pemotongan material. Keausan alat potong dapat terjadi pada berbagai area seperti tepi potong, permukaan, atau sudut *geometri* alat potong. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan pahat meliputi kekerasan material yang dipotong, kecepatan pemotongan, umpan pemotongan, pendinginan, dan kondisi alat potong itu sendiri. Keausan pahat terjadi karena pahat mengalami gaya gesek dengan benda kerja ini yang mengakibatkan pahat akan terjadi keausan. Keausan pahat ini semakin membesar dan meluas sampai batas tertentu pahat mengalami kerusakan dan tidak dapat digunakan lagi dikarenakan temperatur tinggi, permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan (Rohman dkk., 2023).



Gambar 2.17 Keausan Alat Potong

(Sayyad dkk., 2021)

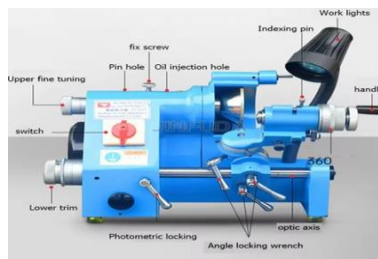
2.9 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter utama dalam proses pemesinan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil produksi manufaktur. Istilah ini merujuk pada kondisi mikro permukaan benda kerja yang terbentuk akibat interaksi antara alat potong dengan material selama proses pemotongan berlangsung. Nilai kekasaran biasanya dinyatakan sebagai rata-rata penyimpangan profil permukaan terhadap garis tengah, yang dikenal dengan R_a (*Roughness Average*). Dalam praktiknya, tingkat kekasaran permukaan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong, jenis material, serta kondisi dan jenis alat potong yang digunakan. Selain itu, kekasaran permukaan juga berpengaruh signifikan terhadap kinerja komponen, karena berkaitan dengan tingkat gesekan, keausan, efektivitas pelumasan, serta kekuatan lelah material. Oleh sebab itu, pengendalian kekasaran permukaan menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan produk yang dihasilkan memiliki kualitas, ketelitian, dan performa yang optimal sesuai dengan standar yang ditetapkan (Prabowo dkk., 2018).

2.10 Mesin Asah *Universal*

Mesin asah *universal* adalah salah satu jenis mesin perkakas yang berfungsi untuk mengasah atau mempertajam berbagai macam alat potong, seperti pahat bubut, mata bor, pisau *frais*, *reamer*, dan alat potong lainnya. Istilah “*universal*” merujuk pada kemampuannya dalam mengasah beragam bentuk serta sudut alat potong dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Mesin ini memiliki desain yang fleksibel sehingga dapat

dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pengasahan, baik di industri manufaktur maupun di lingkungan pendidikan teknik. Penggunaan mesin asah *universal* memungkinkan ketajaman alat potong tetap terjaga, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam proses pemesinan sekaligus memperpanjang masa pakai alat tersebut (Putra dkk., 2022).



Gambar 2.18 Mesin Asah Universal

(Alibaba.com, 2026)

2.11 Mekanisme Mesin Asah *Universal*

Prinsip kerja mesin asah *universal* pada dasarnya merupakan proses interaksi antara batu gerinda yang berputar dan benda kerja yang akan diasah, di mana keduanya disesuaikan posisinya untuk memperoleh sudut serta tingkat ketajaman yang diinginkan. Batu gerinda digerakkan oleh motor listrik dengan kecepatan tertentu sehingga mampu mengikis permukaan alat potong secara bertahap. Di sisi lain, benda kerja ditempatkan pada meja atauudukan yang dapat bergerak secara *horizontal*, *vertikal*, maupun berputar sesuai kebutuhan sudut pengasahan. Pergerakan meja umumnya menggunakan mekanisme ulir atau sistem *hidrolik* yang memungkinkan gerakan yang halus dan presisi. Selain itu, posisi kepala gerinda (*wheel head*) juga

dapat diatur untuk menyesuaikan sudut kontak dengan benda kerja. Proses pengasahan berlangsung saat permukaan benda kerja bersentuhan dengan batu gerinda yang berputar, sehingga material terkikis sedikit demi sedikit hingga mencapai bentuk dan ketajaman yang diharapkan. Penggunaan cairan pendingin (*coolant*) sering diterapkan untuk mengurangi panas akibat gesekan, mencegah kerusakan material, serta menjaga kualitas hasil pengasahan. Dengan adanya kombinasi gerakan relatif antara batu gerinda dan benda kerja serta fleksibilitas pengaturan sudut, mesin asah *universal* mampu menghasilkan pengasahan yang akurat pada berbagai jenis alat potong (Ardian & Marwanto, 2018).

2.12 Prinsip Pengasahan Ulang (*Re-sharpening*)

Prinsip pengasahan ulang *endmill* menggunakan mesin asah *universal* pada dasarnya merupakan proses penghilangan material secara terkontrol untuk mengembalikan bentuk *geometri* dan ketajaman mata potong seperti kondisi semula. Pada proses ini, *endmill* dijepit menggunakan alat penjepit khusus seperti *collet* atau *tool holder*, kemudian diposisikan pada meja mesin yang sudutnya dapat diatur sesuai kebutuhan. Batu gerinda yang berputar dengan kecepatan tinggi berfungsi untuk mengikis bagian mata potong yang telah mengalami keausan. Pengaturan sudut pengasahan menjadi aspek yang sangat penting, terutama sudut bebas (*relief angle*) dan sudut potong (*cutting edge*), karena berpengaruh langsung terhadap kinerja pemotongan dan daya tahan alat. Selain itu, pergerakan antara batu gerinda dan *endmill*, baik secara linier maupun berputar, diatur secara presisi untuk menghasilkan

bentuk *heliks* serta ujung potong yang seimbang. Penggunaan cairan pendingin juga diperlukan selama proses berlangsung guna mencegah terjadinya panas berlebih yang dapat merusak sifat material pahat. Dengan demikian, tujuan utama dari pengasahan ulang ini adalah menjaga keakuratan bentuk dan ketajaman *endmill* agar tetap mampu bekerja secara optimal dan efisien (Martina dkk., 2025).

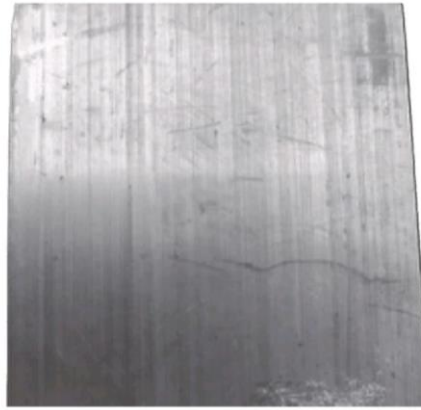


Gambar 2.19 Proses Pengasahan
(A. Anggraini dkk., 2024)

2.13 Material *Aluminium*

Aluminium merupakan material yang biasa digunakan dalam bidang industri manufaktur. Tidak hanya manufaktur saja *aluminium* juga biasa digunakan dalam pembuatan alat rumah tangga, material pesawat terbang, kapal, mobil dan pada industri konstruksi. *Aluminium* dipilih karena *aluminium* merupakan logam yang ringan, memiliki hantaran listrik yang baik, kemampuan untuk pengelasan yang baik, serta sifat baik lainnya sebagai sifat logam. *Aluminium* juga dapat dicampur dengan komposisi logam lain seperti biasa ditambahkan *Cu*, *Mg*, *Si*, *Mn*, *Zn*, *Ni* secara satu

persatu atau bersamaan membuat kekuatan mekanisnya sangat meningkat. Alasan digunakan *aluminium* adalah karena sifat *aluminium* sendiri yang ringan, mudah dibentuk, dan tahan terhadap korosi (Nugroho dkk., 2022).



Gambar 2.17 Material *Aluminium*
(Sifa dkk., 2023)