

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin Frais milling

Mesin *frais milling machine* adalah mesin perkakas yang dalam proses kerja pemotongannya dengan menyayat atau memakan sebuah benda kerja menggunakan alat polong bermata banyak yang berputar *multipoint cutter*. Pada saat alat potong *cutter* berputar, gigi-gigi potongnya menyentuh permukaan benda kerja yang dijepit pada ragum meja mesin *frais* sehingga pemotongan/penyayatan dengan kedalaman sesuai penyetingan sehingga menjadi benda produksi sesuai dengan gambar kerja yang dikehendaki. Mesin *frais* memiliki pemotong yang terpasang di atasnya untuk membantu menghilangkan material dari permukaan benda kerja. Ketika bahan sudah menjadi dingin maka akan dikeluarkan dari mesin penggilingan. Pada dasarnya, mesin ini digunakan dalam membentuk bahan padat, khususnya logam.

Mesin Frais adalah alat yang digunakan untuk memotong bahan kerja dengan cara menggerakkan alat potong (pahat) berputar. Mesin ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran yang kompleks (M. M. Rahman).

Prinsip pemotongan/proses frais datar bagian permukaan *face milling* dimana *cutter* bergerak berputar memotong ke atas *cutting up* sedang benda kerjanya bergerak lurus melawan *cutter* pada mesin *frais* horizontal. Demikian pula yang terjadi pada mesin *frais milling* tegak.

2.1.1 Definisi dan Fungsi Mesin Milling

2.1.1.1 Definisi Mesin Milling

Mesin *milling* adalah jenis mesin perkakas yang digunakan untuk melakukan proses pemesinan dengan memanfaatkan alat potong berputar

milling cutter untuk memotong atau membentuk material menjadi bentuk dan ukuran tertentu. Mesin ini dapat digunakan untuk berbagai macam operasi seperti pemotongan, proses frais, penghalusan permukaan, dan pembuatan alur atau lubang pada material.

Secara umum, mesin *milling* bekerja dengan cara memutar alat potong *milling cutter* yang bergerak secara linier atau rotasi pada sumbu tertentu, sedangkan material kerja (biasanya dalam bentuk benda kerja atau *workpiece*) diletakkan di meja mesin yang dapat bergerak sesuai dengan arah tertentu. Mesin *milling* sangat fleksibel karena dapat memproses berbagai jenis material, mulai dari logam, plastik, hingga kayu.

2.1.1.2 Fungsi Mesin *Milling*

Mesin *milling* memiliki berbagai fungsi yang sangat berguna dalam industri manufaktur dan rekayasa, antara lain:

1. Pemotongan dan Pembentukan Benda Kerja

Mesin *milling* digunakan untuk memotong material, membentuk benda kerja, dan menghasilkan berbagai bentuk yang diinginkan, seperti alur, kontur, dan permukaan datar. Proses ini sering digunakan untuk menghasilkan bagian-bagian komponen mesin.

2. Pembuatan Permukaan Datar dan Halus

Mesin *milling* dapat digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja dengan memanfaatkan alat potong dengan bentuk dan ukuran yang sesuai. Mesin ini dapat menghasilkan permukaan yang lebih rata dan halus dibandingkan dengan proses pemesinan lain seperti *turning*.

3. Pengeboran dan Pembuatan Lubang

Mesin *milling* juga dapat digunakan untuk mengebor lubang pada benda kerja dengan ketepatan tinggi. Hal ini sering dilakukan dalam pembuatan komponen mesin yang memerlukan banyak lubang dengan diameter dan kedalaman yang presisi.

4. Penggilangan dan Pemotongan Alur (*Slotting*)

Mesin *milling* dapat digunakan untuk memotong alur pada benda kerja, yang sering digunakan dalam pembuatan komponen mekanis atau sambungan. Ini memungkinkan pembuatan slot atau alur dengan ukuran tertentu yang diperlukan dalam berbagai aplikasi industri.

5. Pembuatan Roda Gigi dan Profil Khusus

Mesin *milling* bisa digunakan untuk memproduksi roda gigi dan profil khusus lainnya. Alat potong khusus bisa digunakan untuk memotong gigi atau bentuk lain yang diperlukan dalam industri otomotif atau mesin.

6. Penyelesaian dan Pembentukan Kontur

Mesin *milling* juga memiliki kemampuan untuk membentuk kontur atau bentuk-bentuk kompleks lainnya pada benda kerja. Hal ini sangat berguna dalam pembuatan komponen yang memiliki geometri yang rumit.

7. Peningkatan Presisi dan Keakuratan

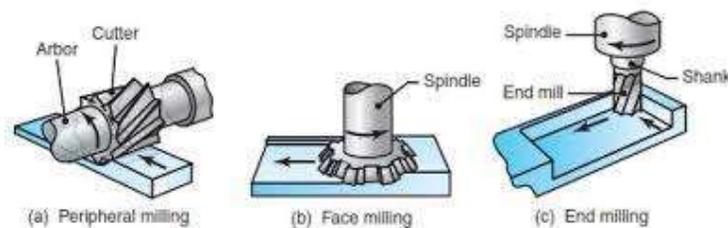
Mesin *milling* mampu bekerja dengan toleransi yang sangat ketat, memberikan hasil akhir yang sangat presisi, sehingga cocok untuk pembuatan komponen yang membutuhkan akurasi tinggi, seperti pada mesin presisi, pesawat terbang, atau komponen elektronik.

2.1.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja mesin *milling* adalah memotong benda kerja dengan menggunakan alat potong *milling cutter* yang berputar, sementara benda kerja biasanya bergerak secara terkontrol pada meja mesin. Proses pemotongan terjadi ketika sisi tajam dari alat potong bersentuhan dengan permukaan benda kerja dan mengikis materialnya sedikit demi sedikit untuk membentuk bentuk atau permukaan yang diinginkan.

2.1.3 Metode Proses Mesin *Milling*

Metode pada proses *milling* ini memotong atau menyayat material dengan mata pahat yang berputar. Pada proses ini permukaan yang disayat dapat berupa beberapa bentuk seperti datar, menyudut, dan melengkung. Berikut ini adalah proses mesin *milling*.



Gambar 2. 1 Proses Mesin *Milling*

1. Proses Periperal *Milling*

Proses Priperial ini juga dikenal sebagai slab *milling* adalah salah satu proses dimana alat potong berputar dipermukaan benda kerja yang dikerjakan dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Untuk gerakan pemakan benda kerja atau pahat bergerak lurus sepanjang permukaan.

2. Proses *Face Milling*

Pada *Face milling*, pahat dipasang pada *spindle* yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permnukaan

hasil poses *frais* dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat (Hadi, 2016, Teknologi Bahan).

3. *End Milling*

Pahat pada proses *frais* ujung biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pahat dapat digerakkan menyudut untuk menyudut. Gigi potong pada pahat terletak pada selubung pahat dan ujung badan pahat (Hadi, 2016, Teknologi Bahan).

2.1.4 Parameter Mesin *Milling*

Parameter proses pemesinan CNC *milling* merupakan dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan pengerjaan dalam proses pemotongan/penyayatan pemmesinan CNC *milling* diantaranya, kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (Rpm), kecepatan pemakanan (F) dan kedalaman pemotongan (a). Pada proses pemmesinan dengan menggunakan mesin CNC *milling* terdapat beberapa parameter pemotongan, lain:

1. Kecepatan Potong (*Cutting speed*)

Kecepatan potong merupakan kecepatan gerak putar pahat, yang dinyatakan dalam mm/menit. Kecepatan gerak pahat tergantung dari bahan benda kerja yang akan di *milling* dan bahan dari pahat potong itu sendiri, untuk mencari kecepatan pemotong rumusnya yaitu:

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

V_c = Kecepatan potong (putaran/menit)

d = Diameter pisau (mm)

n = Putaran *spindle* (meter/menit)

π = Nilai Konstanta 3.14

2. Kecepatan Putaran *Spindle* (*Spindle speed*)

Kecepatan putaran mesin adalah kemampuan kecepatan putaran mesin dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin atau benda kerja.

$$n = \frac{1000 \cdot CS}{\pi \cdot d} \text{ Rpm} \quad (2.2)$$

Vc = Kecepatan potong (putaran/menit)

CS = Kecepatan Potong (putaran/menit)

n = Putaran *spindle* (meter/menit)

d = Diameter pisau (mm)

π = Nilai Konstanta 3.14

3. Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*)

Kecepatan pemakanan (F) adalah jarak lurus yang ditempuh pisau dengan laju konstan relatif terhadap benda kerja dalam satuan waktu, biasanya satuan gerak makan yang digunakan adalah mm/menit.

$$F = f \times n \quad (2.3)$$

F = Kecepatan Pemakanan

n = Putaran *spindle* (Rpm) **f** = Gemk Pemakanan (mm/putaran)

4. Kedalaman Pemotongan (*Depth cut*).

Untuk kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relative besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan.

$$f_m = f_t N \cdot n \quad (2.4)$$

f_m = Laju Umpan (mm/menit)

N = Jumlah Gigi

f_t = Pakan Pergigi (mm/g)

n = putaran spindel

2.2 Pahat

Lalu dalam proses penyayatan benda kerja kecepatan pemakanan terhadap benda kerja perlu diperhatikan karena setiap jenis bahan memiliki *standard* kecepatan makan tertentu untuk penyayatan. Jika kecepatan makannya tidak sesuai dengan *standard* kecepatan makan bahan maka akan menyebabkan berbagai permasalahan seperti: mesin macet, hasil penyayatan kasar, keausan pada pahat dan cacat menghindari terjadinya berbagai permasalahan yang timbul maka kecepatan pemakanan harus sesuai dengan *standard* yang sudah ditentukan.

Tabel 2. 1 Kecepatan Pemakanan (mm/menit)

No	Bahan	Cutter HSS		Cutter Carbide	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar
1	Baja Perkakas	75 – 100	25 – 45	185 – 230	110 – 140
2	Baja Karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 – 215	90 – 120
3	Baja Karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 – 185	75 – 110
4	Besi cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
5	Kuningan	85 – 100	45 – 70	185 – 215	120 – 150

6	Aluminium	70 – 110	30 - 45	140 – 215	60 – 90
---	-----------	----------	---------	-----------	---------

Sumber: Sularso (2002)

Pada table 2.1 Kecepatan Pemakanan (*Cutter Speed*) adalah kemampuan kecepatan putaran mesin untuk melakukan pemotongan/penyayatan dalam satu menit. Mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku, maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja.

2.2.1 Definisi dan Fungsi Pahat

2.2.1.1 Definisi Pahat

Pahat adalah alat potong yang digunakan dalam proses pemesinan untuk menghilangkan sebagian material dari benda kerja guna membentuk ukuran, bentuk, atau permukaan yang diinginkan. Pahat memiliki satu atau lebih ujung tajam (mata potong) yang bersentuhan langsung dengan benda kerja dan mengikis materialnya dalam bentuk serpihan (*chip*).

Pahat tersedia dalam berbagai jenis dan bentuk tergantung proses pemesinan yang digunakan, seperti pahat bubut, pahat *frais* (*milling cutter*), pahat bor (*drill bit*), dan lain-lain.

2.2.1.2 Fungsi Pahat

Pahat memiliki beberapa fungsi utama dalam proses pemesinan, yaitu:

1. Memotong atau Mengikis Material:

Fungsi utama pahat adalah untuk menghilangkan material dari benda kerja guna mencapai bentuk atau ukuran tertentu sesuai spesifikasi.

2. Membentuk Permukaan Benda Kerja:

Pahat digunakan untuk membentuk permukaan datar, silinder, beralur, atau profil khusus pada benda kerja, tergantung pada jenis proses dan bentuk mata pahat.

3. Memberikan *Finishing* Permukaan:

Pahat juga berfungsi untuk memperhalus permukaan benda kerja melalui proses pemotongan akhir (*finishing*), sehingga menghasilkan permukaan yang lebih halus dan presisi.

4. Membuat Lubang atau Alur:

Dalam proses seperti pengeboran (*drilling*) atau *milling*, pahat digunakan untuk membuat lubang, slot, atau bentuk geometri khusus pada benda kerja.

5. Menyesuaikan Toleransi Dimensi:

Pahat memungkinkan pengerjaan benda kerja dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga komponen dapat memenuhi toleransi teknik dan spesifikasi desain.

2.2.2 Jenis-jenis Pahat

Berikut ini adalah jenis-jenis pahat yang sering digunakan pada proses *milling*:

1. Pahat *Face Frais*

Pahat *face frais* adalah pahat frais dengan bentuk khusus dari pisau *end mill* besar. Pisau *frais* ini berukuran 6" atau lebih. Pisau *Frais Muka* dipasang langsung pada spindel dan digunakan untuk membuat permukaan yang datar dengan mata potong sisipan (*inserted*).

2. Pahat *Frais* Jari (*End Mill Cutter*)

Pisau *Frais* Jari (*End Mill Cutter*) merupakan pisau *frais* solid dengan gagang dan sisi yang menjadi satu. Namun terdapat jenis pisau end mill dengan mata pisau yang terpisah dari gagang yaitu tipe *shell*. Pisau *frais End mill* digunakan untuk proses *frais horizontal*, muka, *vertikal*, melingkar dan menyudut. Selain itu pisau *end mill* dapat juga digunakan untuk membuat alur, proses *frais* bentuk, *keyways*, tingkat dan permukaan datar. Pisau *frais End Mill* umumnya digunakan pada jenis mesin *frais vertikal* meskipun dapat juga digunakan pada mesin *frais horizontal*.

2.3 Aluminium

Aluminium berasal dari mineral bauksit. Bauksit dikonversi menjadi aluminium oksida (alumina) melalui Proses Bayer. Alumina kemudian dikonversi menjadi logam aluminium menggunakan sel elektrolitik dan proses *hall-heroult*. Permintaan aluminium di seluruh dunia adalah sekitar 29 juta ton per tahun. Sekitar 22 juta ton adalah aluminium baru dan 7 juta ton adalah memo aluminium daur ulang.

Penggunaan aluminium daur ulang menarik secara ekonomi dan lingkungan. Diperlukan 14.000kWh untuk aluminium bekas untuk bisa menghasilkan 1ton aluminium baru. Sebaliknya hanya dibutuhkan 5% dari ini untuk melebur dan mendaur ulang satu ton aluminium. Aluminium adalah unsur ke-13 di tabel periodik dan merupakan logam paling melimpah di Bumi, membentuk 8,1% kerak bumi. Itu tidak ditemukan secara bebas di alam, artinya selalu ditemukan digabungkan dengan unsur lain karena sangat reaktif.

Aluminium sering ditemukan dikombinasikan dengan oksigen. Oleh karena itulah aluminium disebut oksida, sumber daya alam yang ditambang untuk aluminium oksida adalah mineral yang disebut bauksit. Aluminium pertama kali diekstraksi pada tahun 1825 oleh Hans Oersted, tetapi baru pada akhir tahun 1880an ketika secara ekonomis layak dilakukan.

Aluminium adalah sejenis logam yang begitu keras dan tidak begitu kuat tetapi sangat kenyal, aluminium mempunyai berat jenis yang rendah, yakni 2,6 dan warnanya putih kebiru-biruan.” (Daryanto, 2009).

2.3.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium murni merupakan logam yang tergolong lunak, kuat, ringan, dan dapat dibentuk, dengan penampilan yang bervariasi antara warna perak hingga abu-abu, tergantung pada kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik aluminium murni mencapai 90 MPa, sedangkan aluminium paduan dapat memiliki kekuatan tarik hingga 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar sepertiga dari berat baja, mudah dibengkokkan, bisa diproses menggunakan mesin, dicetak, ditarik, dan diekstrusi. Ketahanan terhadap korosi terjadi karena fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida saat aluminium terkena udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini menghalangi oksidasi lebih lanjut. Aluminium paduan dengan tembaga kurang tahan terhadap korosi akibat reaksi galvanik dengan paduan tembaga. Dalam bentuk murni, aluminium terlalu lunak, terutama karena kekuatannya yang rendah untuk berbagai aplikasi teknik. Dengan proses paduan, sifat ini dapat diperbaiki, tetapi seringkali menyebabkan penurunan dalam ketahanan korosi dan keuletannya.

Aluminium 6063-T5 termasuk dalam seri 6000, yang merupakan paduan aluminium dengan magnesium dan silikon sebagai elemen utama. Paduan ini dikenal karena kemampuan ekstrusi yang sangat baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta kemampuan anodisasi yang superior. Adapun klasifikasi aluminium 6063-T5 adalah sebagai berikut:

1. Seri Paduan: 6000 (Al-Mg-Si)
2. Temper: T5 (Pendinginan dari proses ekstrusi dan pengerasan buatan)
3. Kategori: Paduan aluminium dengan kekuatan sedang dan ketahanan korosi tinggi

4. Aplikasi utama: Profil arsitektur, rangka kendaraan, peralatan elektronik, dan industri kelautan

Dibandingkan dengan paduan lain dalam seri 6000, 6063 lebih mudah dibentuk dan memiliki tampilan anodisasi yang lebih baik dibandingkan 6061.

2.3.1.1. Struktur Kimia

Aluminium 6063-T5 termasuk dalam seri Al-Mg-Si yang berarti komposisinya terutama terdiri dari aluminium, magnesium, dan silikon. dengan komposisi utama sebagai berikut:

1. Aluminium (Al): Sisa komposisi utama dari 97.5% - 98.9%
2. Magnesium (Mg): 0.45% - 0.90%
3. Silikon (Si): 0.20% - 0.60%
4. Tembaga (Cu): Maks. 0.10%
5. Besi (Fe): Maks. 0.35%
6. Mangan (Mn): Maks. 0.10%
7. Kromium (Cr): Maks. 0.10%
8. Seng (Zn): Maks. 0.10%
9. Titanium (Ti): Maks. 0.10%
10. Unsur Lainnya: Maks. 0.05% masing-masing, total maks. 0.15%

Kombinasi ini memberikan ketahanan korosi yang baik, kemampuan ekstrusi yang tinggi, serta kekuatan mekanis yang cukup untuk berbagai aplikasi industri dan arsitektur.

2.3.1.2. Sistem Temper (T5)

Sistem temper pada aluminium 6063-T5 mengacu pada perlakuan panas yang diberikan setelah proses ekstrusi untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Temper T5 berarti bahwa aluminium telah didinginkan dari proses ekstrusi dan mengalami pengerasan buatan untuk mencapai kekuatan

yang lebih tinggi tanpa perlakuan panas tambahan. Berikut adalah karakteristik system temper (T5) pada aluminium 6063

1. Pendinginan dari ekstrusi: Aluminium didinginkan secara cepat setelah keluar dari cetakan ekstrusi.
2. Pengerasan buatan: Proses ini meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap deformasi.
3. Kekuatan mekanik: Lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanpa perlakuan panas (misalnya, temper O).
4. Ketahanan korosi: Tetap baik, terutama dalam lingkungan atmosferik dan arsitektur.

Temper T5 sering digunakan dalam profil arsitektur, rangka kendaraan, dan komponen elektronik, karena memberikan keseimbangan antara kekuatan dan kemudahan dalam proses manufaktur.

2.3.1.3. Sifat Mekanik dan Fisik

Aluminium 6063-T5 memiliki sifat mekanik dan fisik yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi industri dan arsitektur.

2.3.1.3.1 Sifat Mekanik

1. Kekuatan tarik: Sekitar 190 MPa, cukup kuat untuk aplikasi struktural.
2. Kekuatan luluh: Sekitar 140 MPa, memberikan keseimbangan antara kekuatan dan kemampuan bentuk.
3. Kekerasan Brinell: 73 HB, menunjukkan ketahanan terhadap deformasi.
4. Elongasi: 8–12%, memberikan fleksibilitas dalam proses manufaktur.

2.3.1.3.2 Sifat Fisik

1. Densitas: 2,68 g/cm³, menjadikannya ringan dan mudah digunakan dalam konstruksi.
2. Titik lebur: 615–655°C, memungkinkan pemrosesan yang fleksibel.

3. Konduktivitas termal: $218 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, memberikan kemampuan disipasi panas yang baik.
4. Ketahanan korosi: Sangat baik, terutama dalam lingkungan yang tidak terlalu asam atau basa.

Karena sifat-sifat ini, aluminium 6063-T5 sering digunakan dalam ekstrusi profil arsitektur, komponen kendaraan, dan peralatan elektronik.

2.3.1.4. Aplikasi

Aluminium 6063-T5 memiliki berbagai aplikasi karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk. Pada elektronik dan Listrik biasanya dimanfaatkan dalam pembuatan casing perangkat elektronik dan system pendinginan. *Heat sink* (pendingin elektronik) adalah komponen penting dalam pendinginan perangkat elektronik. Mereka membantu mengalirkan panas dari komponen elektronik untuk menjaga suhu operasional dalam batas yang aman. *Heat sink* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem termal, yang berfungsi untuk mengurangi panas yang dihasilkan oleh perangkat elektronik.

Aluminium 6063-T5 juga memiliki keunggulan dalam proses ekstrusi, sehingga cocok untuk desain profil yang kompleks.

2.3.2 Karakteristik Aluminium

Adapun beberapa karakteristik aluminium seperti:

1. Aluminium merupakan logam berwarna putih keperakan dengan sifat ringan, kuat, namun mudah dibentuk.
2. Nomor atom aluminium adalah 13 dan diwakili dengan simbol Al. Dalam kerak bumi, aluminium merupakan unsur paling berlimpah ke-3 setelah oksigen dan silikon.
3. Aluminium merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik, bahkan lebih baik dari tembaga.

4. Logam ini merupakan elemen yang sangat reaktif dan membentuk ikatan kimia yang kuat dengan oksigen.
5. Aluminium akan membentuk lapisan sangat tipis oksida aluminium ketika bereaksi dengan udara yang akan melindunginya dari karat.

2.3.3 Sifat-sifat Aluminium

Sifat intrinsik Aluminium membuatnya sangat populer untuk berbagai aplikasi. Sifat-sifat tersebut, diantaranya yaitu:

1. Ringan: Berat jenisnya adalah $2,7\text{g/cm}^3$, atau sepertiga dari baja. Dalam kendaraan, aluminium mengurangi berat dan konsumsi bahan bakar.
2. Kuat: Kekuatan Aluminium dapat disesuaikan dengan aplikasi yang berbeda dengan mengubah komposisi paduannya. Paduan tertentu sekuat baja.
3. Tahan korosi: Aluminium secara alami menghasilkan lapisan oksida pelindung, membuatnya sangat berguna untuk perlindungan dan konservasi.
4. Konduktif: Berdasarkan berat, aluminium dua kali lebih baik sebagai konduktor panas dan listrik dibandingkan tembaga, dan memainkan peran utama dalam saluran transmisi listrik.
5. Elastis sifat formabilitasnya yang sangat baik memungkinkan pembuatan bentuk yang ditarik dalam dan / atau kompleks seperti kaleng atau bagian tubuh mobil.
6. Reflektif: Sebagai reflektor panas dan cahaya, aluminium sangat cocok untuk aplikasi seperti teknologi surya dan selimut penyelamat. Atap aluminium yang dilapisi dengan benar dapat memantulkan hingga 95% dari energi matahari yang menyerang mereka, secara dramatis meningkatkan efisiensi energi.
7. Kedap dan tidak berbau: Melepaskan rasa atau racun, aluminium sangat ideal untuk makanan dan kemasan farmasi. Aluminium foil

menyediakan penghalang lengkap untuk cahaya, oksigen, kelembaban, dan bakteri.

8. Dapat didaur ulang: Aluminium adalah 100% dan dapat didaur ulang tanpa mengurangi kualitas.
9. Tahan percikan: Tidak seperti kawat baja, aluminium kaku tidak memicu dan tidak akan berkarat.

2.4 Kekasaran Permukaan

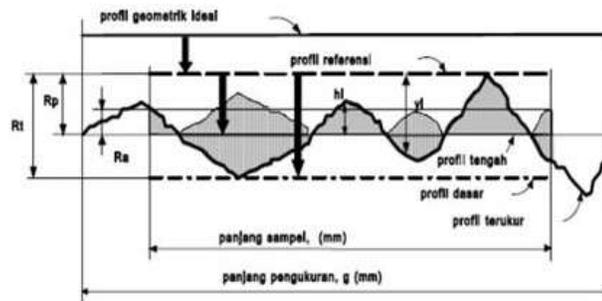
Menurut Kalpakjian dan Schmid (2014) menjelaskan bahwa pengendalian kekasaran permukaan tidak hanya meningkatkan performa mekanik, tetapi juga mempengaruhi biaya produksi dan umur pakai produk. Sedangkan menurut Groover (2010) menekankan bahwa pemilihan proses permesinan yang tepat adalah kunci untuk mencapai kekasaran permukaan yang diinginkan.

Kekasaran permukaan adalah faktor kritis dalam manufaktur yang menggambarkan ketidakrataan atau ketidakhalusan suatu permukaan. Pengukuran dan pengendalian kekasaran permukaan sangat penting karena dapat mempengaruhi fungsi, kinerja, dan umur komponen. Kekasaran permukaan adalah variasi mikro pada permukaan yang dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material. Permukaan yang lebih halus biasanya memiliki sifat gesekan yang lebih rendah dan ketahanan korosi lebih baik (Juran 1995).

2.4.1 Parameter Kekasaran

Berikut adalah parameter kekasaran yang digunakan untuk menentukan kekasaran suatu permukaan pada penelitian ini yaitu Ra (*Roughness Average*). Ra adalah penyimpangan rata-rata aritmatika dari profil kekasaran permukaan. Kekasaran rata-rata aritmatika merupakan harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |hi| dx \quad (2.5)$$



Gambar 2. 2 Profil Geometrik Ideal

Sumber: Taufiq Rochim (1993:56)

Ada beberapa cara untuk menentukan kekasaran rata-rata (R_a) dapat pula dilakukan secara grafis. Adapun caranya adalah:

1. Pertama, gambar sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X-X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.
2. Kedua, ambil beberapa sampel panjang pengukuran sepanjang L yang dapat memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.
3. Ketiga, ambil luasan daerah A dibawah kurva dengan menggunakan metode ordinat garis X-X secara tegak lurus yang besarnya adalah:

$$H_m = \frac{\text{Daerah A}}{L} \quad (2.6)$$

4. Keempat, sekarang diperoleh garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah diatas ($P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ dan seterusnya). Dengan demikian maka R_a dapat ditentukan besarnya yaitu:

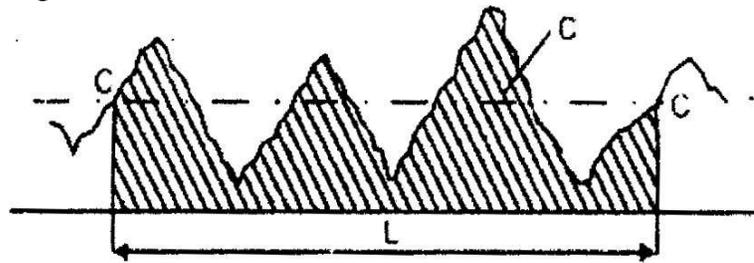
$$R_a = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} \quad (2.7)$$

Keterangan:

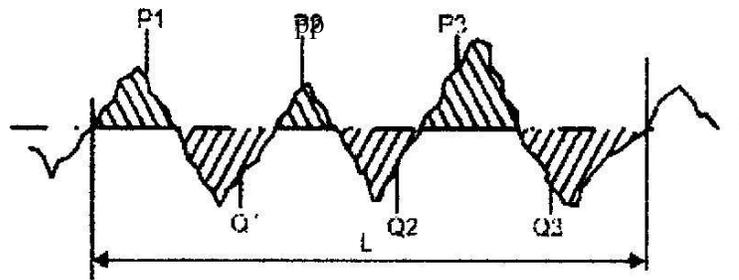
V_v = Perbesaran vertical Luas P dan Q dalam (mm)

L = Panjang sampel pengukuran dalam (mm)

Berdasarkan pada rumus diatas maka perhitungan R_a ditunjukan pada gambar berikut:



Gambar 2. 3 Kekasaran Rata-Rata 1



Gambar 2. 4 Kekasaran Rata-Rata 2