

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin frais (*milling*) merupakan mesin perkakas yang di gunakan untuk mengerjakan permukaan suatu benda kerja dengan menggunakan pahat frais. Kemampuan untuk melakukan berbagai macam pekerjaan membuat mesin frais menjadi salah satu mesin yang sangat penting dalam industri pemesinan manufaktur.

Mesin frais *vertikal* merupakan mesin frais dengan poros utama sebagai pemutar dengan pemegang alat potong dengan posisi tegak. Mesin ini adalah terutama sebuah mesin perkakas yang di kontruksi untuk pekerjaan yang sangat teliti. Penampilan mirip dengan frais jenis datar perbedaan adalah bahwa meja kerjanya di lengkapi gerak empat yang kemungkinan meja untuk berputar horizontal. mesin frais terbagi menjadi dua yaitu frais vertikal dan horizontal. Ada beberapa faktor yang membuat mengambil penelitian menggunakan mesin frais vertikal yaitu Mesin frais vertikal lebih umum dan serbaguna terutama ketika pemesinan akan di lakukan pada satu bidang, mesin frais vertikal lebih ringan dan cocok untuk area yang lebih kecil, dari segi biaya mesin frais vertikal lebih murah, berguna untuk tugas yang tidak terlalu rumit, dan dapat menggiling dengan detail sehingga bagus untuk usaha kecil.

Salah satu mesin perkakas yang sering di gunakan di industri adalah mesin frais. Secara umum, mesin frais dapat di definisikan mesin perkakas yang

berfungsi untuk pengerjaan datar atau perataan permukaan benda kerja. Kualitas barang produksi bisa di anggap baik biasanya di tandai dengan kualitas permukaan komponen yang baik. Untuk mendapatkan hasil kualitas permukaan yang sesuai dengan tuntutan perancangan bukanlah hal yang mudah, karena banyak faktor yang harus di perhatikan. Proses frais merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak di gunakan untuk pembuatan komponen. Mesin frais sering di gunakan untuk membuat komponen yang mempunyai fitur berupa suatu profil. Sebagai contoh, proses pemesinan frais sering di gunakan dalam pembuatan cetakan (*mould*), untuk pekerjaan perataan permukaan, pembentukan roda gigi, dan pembentukan pola permukaan (Sugiantoro and Setiyawan, 2015).

Saat ini era globalisasi menuntut industri manufaktur untuk bersaing di pasar regional mau pun internasional. Kualitas produk manufaktur dari hasil proses pemesinan selalu di kaitkan dengan ketepatan dan akurasi dimensi maupun toleransi yang di izinkan dan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness test*). Oleh karena itu kekasaran permukaan menjadi salah satu standar kualitas dan keakuratan sebuah produk (Wahyudi, 2011).

Salah satu fungsi mesin frais yang biasa di gunakan oleh pabrik industri adalah untuk meratakan permukaan benda kerja atau komponen mesin yang tidak rata. Mesin frais merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang di gunakan oleh pabrik industri sebagai alat bantu untuk melakukan perbaikan terhadap kerusakan mesin produksi. Selain itu juga mesin frais di gunakan untuk membantu pekerjaan untuk melakukan improvement atau modifikasi pada mesin produksi. Kemudian

fungsi mesin frais juga bisa di aplikasikan pada pembuatan part-part atau spare komponen baru yang di perjual belikan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada pengerjaan alumunium dengan menggunakan mesin frais, antara lain kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak makan, bahan benda kerja, bentuk pahat potong, *cutting fluids* dan operator. Maka untuk itu perlu di kaji lebih dalam lagi parameter pemotongan yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan agar dapat meningkatkan kualitas produksi. Dalam penelitian ini di harapkan dapat memperoleh kekasaran terkecil.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui apa kontribusi variabel proses kecepatan potong yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan pada proses frais, khususnya pada mesin frais vertikal.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Penelitian yang dilakukan yaitu: Mesin yang di gunakan adalah mesin frais vertikal konvensional dengan jenis pahat yang di gunakan adalah pahat HSS dan benda kerja yang di gunakan adalah alumunium yang di variasikan dalam penelitian ini adalah kecepatan potong (V_c).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan benda kerja aluminium pada mesin frais vertikal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini di harapkan dapat bermanfaat dalam memberikan informasi mengenai proses frais vertikal, kekasaran permukaan, dan faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Di harapkan dapat memperkaya kajian dan referensi mengenai proses frais, kekasaran permukaan, dan faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses permesinan frais vertikal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Permesinan

Proses pemesinan merupakan proses lanjutan pada pembentukan benda kerja atau mungkin juga ialah proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau di bentuk melalui proses pengecoran yang di persiapkan dengan bentuk yang mendekati pada bentuk benda yang sebenarnya. Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibuat melalui proses pemesinan biasanya mempunyai bentuk profil berupa bentuk serta ukuran yang sudah di standarkan misalnya, bentuk bundar “O”, segi empat, segi enam “L”, “I” “H” dan lain-lain.

Proses pemesinan menggunakan memakai prinsip pemotongan logam di bagi pada 3 grup dasar, yaitu : proses pemotongan menggunakan mesin pres, proses pemotongan konvensional menggunakan mesin perkakas, serta proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan memakai mesin pres mencakup pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrap (*shaping*). Proses pemotongan logam ini biasanya di namakan proses pemesinan, yg di lakukan menggunakan cara membuang bagian benda kerja yang tidak di gunakan menjadi serpihan (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. Dari semua prinsip pemotongan di atas di buku ini akan di bahas tentang proses pemesinan menggunakan memakai

mesin perkakas. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Di perkirakan sekitar 60% sampai 80% asal semua proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan menggunakan proses pemesinan (Kencanawati, 2017).

2.2 Permesinan Frais

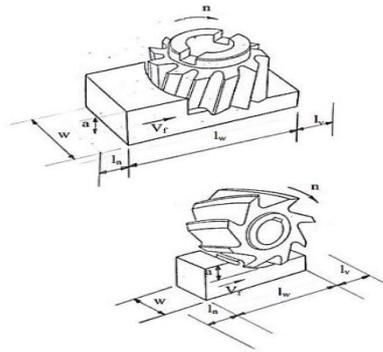
Frais ialah mesin perkakas yang menghasilkan bidang datar dimana pisau berputar dan benda atau meja kerja bergerak melakukan langkah pemakanan. Sedangkan proses frais adalah suatu proses pemesinan yang pada umumnya menghasilkan bentuk bidang datar karena pergerakan dari meja mesin, dimana proses pengurangan material benda kerja terjadi karena adanya kontak antara mata pahat (*cutter*) yang berputar pada poros dengan benda kerja yang tercekam atau di jepit pada meja mesin.

2.2.1 Parameter Proses Frais

Parameter pemotongan di perlukan agar proses produksi dapat sesuai dengan prosedur perencanaan. Parameter-parameter pemotongan yang penting untuk di perhatikan dalm proses frais yaitu: kecepatan potong, putaran spindel, kedalaman pemakanan, gerak makan per gigi, dan waktu pemesinan. Penentuan rasio kecepatan antara gerak benda kerja dan putaran pisau sangat penting di perhatikan untuk mendapat nilai kekasaran yang baik. Jika langkah pemakanan benda kerja terlalu pelan maka waktu akan terbuang dengan banyak dan pisau *milling* pun akan cepat mengalami tumpul dan menurunkan umur mata pahat. Jika

pemakanan benda kerja terlalu cepat pisau frais bisa cepat rusak, dan memerlukan waktu lebih banyak untuk menggantinya (Rahdiyanta and Dwi, 2010).

Parameter-parameter tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Skematis Proses Frais *Vertikal* dan Frais *Horizontal*.

1. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Yang di maksud dengan Kecepatan potong (Cs) adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang/waktu (meter/menit atau feet/menit). Pada gerak putar seperti pada mesin frais kecepatan potongnya (Cs) adalah keliling lingkaran benda kerja (π) di kalikan dengan putaran (n). Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang perlu di pertimbangkan antarlain: a. Material benda kerja yang akan di frais b. Material pisau atau mata pahat c. Diameter mata pahat d. Kedalaman potong yang di tentukan e. Rigiditas benda kerja dan mesin.

Untuk benda kerja berbeda kekasarannya, strukturnya dan kemampuan pemesinannya di perlukan cutting speed yang berbeda.

Cutting speed dapat di rumuskan dalam bentuk persmaan:

$$Cs = \frac{(\pi \times d \times n)}{1000} (m/min)$$

2. Kecepatan putaran mesin (Revolution permenit/Rpm)

Yang di maksud kecepatan putaran mesin adalah kemampuan kecepatan putaran mesin untuk melakukan pemotongan/ penyayatan dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah di tetapkan secara baku, maka komponen yang bisa di atur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja. Dengan demikian rumus untuk menghitung putaran adalah:

$$n = \frac{1000.Cs}{\pi.d} (Rpm)$$

Terdapat 3 faktor yang harus di pertimbangkan dalam menentukan putaran mesin frais antara lain:

- a. Material yang akan di frais.
- b. Bahan pisau frais.
- c. Diameter pisau frais.

3. Kecepatan Pemakanan (Feed/ F) mm/menit

Kecepatan Pemakanan pada proses pengefraisan, di tentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor di antaranya kekerasan bahan, kedalaman penyayatan, sudut-sudut sayat alat potong, bahan alat potong, Ketajaman alat potong, dan kesiapan mesin yang di gunakan. Di samping beberapa pertimbangan tersebut, kecepatan pemakanan pada umumnya untuk proses pengasaran di tentukan pada kecepatan pemakanan tinggi karena tidak memerlukan hasil permukaan yang halus (waktu pengefraisan lebih cepat), dan pada proses penyelesaiannya/ *finishing* di gunakan kecepatan pemakanan rendah dengan tujuan mendapatkan kualitas permukaan hasil penyayatan yang lebih baik sehingga hasilnya halus (waktu

pengefraisan lebih cepat). Besarnya kecepatan pemakanan (F) pada mesin frais di tentukan oleh seberapa besar bergesernya pisau frais (f) dalam satuan mm/putaran di kalikan seberapa besar putaran mesinnya (n) dalam satuan putaran. Maka rumus untuk mencari kecepatan pemakanan adalah:

$$F = f \cdot n(\text{mm./menit})$$

Feed dapat di nyatakan sebagai rasio gerak benda kerja terhadap gerak putar pisau frais. Dalam menentukan feed, faktor yang harus di perhatikan adalah:

- a. Kedalaman pemakanan.
- b. Tipe pisau frais.
- c. Bentuk pisau frais.
- d. Material benda kerja.
- e. Kekuatan dan keseragaman benda kerja.
- f. Tipe permukaan *finishing* yang di harapkan.
- g. Power dan rigiditas mesin.

4. Kedalaman pemotongan

Pemotongan dalam proses frais meliputi pemotongan kasar (*roughing*) dan pemotongan halus (*finishing*). Pada pemotongan kasar dalam pemotongan dapat di tentukan pada kedalaman maksimal (lebih dalam). Pada pemotongan yang berat dapat di gunakan pisau dengan gigi helix dan jumlah gigi yang lebih sedikit. pemotongan dengan jumlah gigi potong lebih sedikit akan menghasilkan pemotongan yang lebih kuat dan lebih mempunyai kelonggaran yang lebih besar dari pada banyak gigi.

Pemotongan halus (*finishing*) di lakukan secara ringan (*light*) dari pada pemotongan kasar. Kedalaman pemotong pada pemakanan kasar biasanya dari 1/64 inchi (0.39mm). pada pemakanan halus, *feeding* (gerakan pemakanan) harus di kurangi dan putaran di percepat, sedangkan pada pemotongan kasar sebaliknya. yaitu *feeding* di perbesar dan putaran pisau di perlambat.

5. Gerak makan per gigi, Fz

$$f_z = \frac{vf}{(z \times n)} = (mm/gigi)$$

6. Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{lt}{vf} = (mm)$$

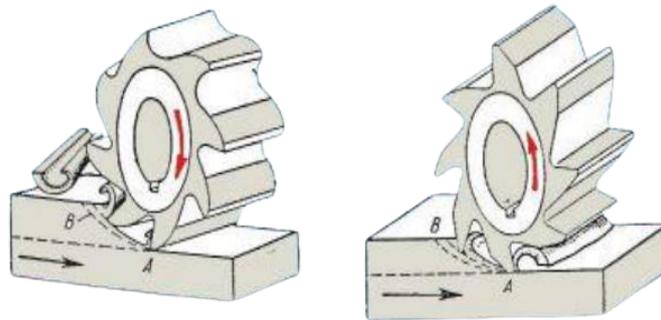
7. Kecepatan penghasiian geram

Proses frais bisa di lakukan dengan banyak cara menurut jenis pahat yang di gunakan dan bentuk benda kerjanya. Selain itu jenis mesin frais yang bervariasi menyebabkan analisa proses frais menjadi rumit. Hal-hal yang perlu di perhatikan dalam perencanaan bukan hanya kecepatan potong dan gerak makan saja, tetapi juga cara pencekaman, gaya potong, kehausan produk, getaran mesin dan getaran benda kerja. Maka rumus untuk kecepatan penghasiian geram adalah:

$$Z = \frac{vf \cdot a \cdot w}{1000} (cm^3/min)$$

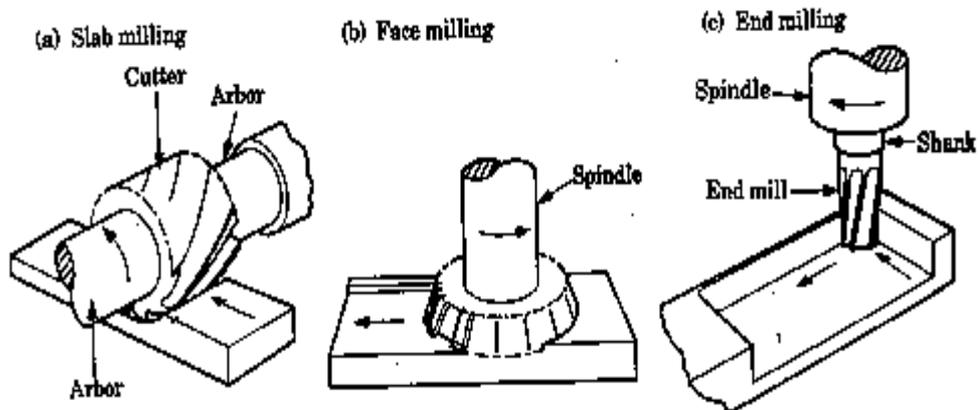
2.2.2 Mekanisme Proses Frais

Metode proses frais di tentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja frais terhadap putaran alat potong. Metode proses frais ada 2 yaitu frais naik dan frais turun seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. 2 Mekanisme Proses Frais a. Frais Naik (*Up Milling*) dan b. Frais Turun (*Down Milling*)

Proses frais dapat di klafikasikan menjadi 3 jenis. Klafikasi ini berdasarkan jenis alat potong arah penyayatan, dan posisi relatif alat potong terhadap benda kerja.



Gambar 2. 3 Tiga Klasifikasi Proses Frais a. Frais Periperal (*Periperal Milling*), b. Frais Muka (*Face Milling*), c. Frais Jari (*End Milling*)

a. Frais Periperal (*Peripheral Milling*)

Proses frais ini di sebut juga *slab milling*. permukaan yang di frais di hasilkan oleh gigi alat potong yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran alat potong biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang di sayat.

b. Frais Muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, alat potong di pasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais di hasilkan dari penyayatan oleh ujung dan selubung alat potong.

c. Frais Jari (*End Milling*)

Alat potong pada proses frais ujung biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Alat potong dapat di gerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada alat potong terletak selubung alat potong dan ujung badan alat potong.

2.2.3 Jenis-Jenis Mesin Frais

Terdapat beberapa jenis mesin frais. Berdasarkan spindelnya mesin frais di bedakan atas:

1. Mesin Frais *Vertikal*

Merupakan mesin frais dengan poros utama sebagai pemutar dengan pemegang alat potong dengan posisi tegak. Mesin ini adalah terutama sebuah mesin perkakas yang di kontruksi untuk pekerjaan yang sangat teliti. Penampilan mirip dengan faris jenis datar perbedaan adalah bahwa meja kerjanya di lengkapi gerak empat yang kemungkinan meja untuk berputar horizontal . seperti gambar di bawah ini mesin frais vertikal.



Gambar 2. 4 Mesin Frais *Vertikal*

2. Mesin Frais *Horizontal*

Merupakan mesin frais yang potong utamanya sebagai pemutar dan pemegang alat potong pada posisi mendatar seperti gambar di bawah ini mesin frais *horizontal*.



Gambar 2. 5 Mesin Frais *Horizontal*

3. Mesin Frais *Universal*

Mesin frais *universal* ini adalah mesin produksi dari konstruksi yang kasar. Bangkunya ini adalah benda cor yang kaku dan berat serta menyangga sebuah meja yang hanya memiliki gerakan longtitudinal. Penyatan vertikal di berikan dalam kepala spindel dan suatu penyetelan lintang di buat dalam pena atau ram spindel seperti gambar di bawah ini, Mesin frais *universal*.



Gambar 2. 6 Mesin Frais *Universal*

4. Mesin Frais Tangan (*Hand Milling Machine*)

Jenis mesin frais ini paling sederhana dari semua jenis mesin frais. Jenis mesin frais ini dapat di letakan di meja manapun dan hanya di kendalikan oleh tangan. Mesin dapat di pasang pada posisi horizontal dan di gerakkan oleh daya. Jenis mesin penggilingan ini berukuran kecil dan cocok untuk peomotongan ringan dan sederhana.



Gambar 2. 7 Mesin Frais Tangan (*Hand Milling Machine*)

5. Mesin Frais CNC (*Computer Numerical Control*)

Jenis mesin frais lainnya adalah CNC (*Computer Numerical Control*). Ini adalah tipe mesin penggilingan paling sebanguna yang di kendalikan oleh komputer. Ini merupakan versi yang lebih baik dari mesin frais lainnya. Mesin ini memiliki poros yang dapat bergerak di ketiga arah dan meja dapat berputa 360 derajat. Semua gerakan ini di kendalikan secara hidrolik yang di perintahkan oleh komputer.



Gambar 2. 8 Mesin Frais CNC (*Computer Numerical Control*)

2.3 Kekasaran Permukaan

Definisi kekasaran permukaan merupakan penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil dalam ISO 1302-1978 definisi ini di gunakan untuk menetapkan harga rata-rata kekasaran permukaan :

1. Setiap permukaan yang telah mengalami proses permesinan frais akan mengalami kekasaran permukaan tertentu, misalnya mengkilap, halus

ataupun kasar. proses permesinan ini akan menentukan kekasaran permukaan pada level tertentu.

2. Untuk bagian perencanaan kerja, bagian perhitungan biaya, maupun operator, harus mengetahui tingkat kekasaran permukaan, yang harus di capai pada benda kerja konfigurasi kekasaran permukaan.

Menurut ISO 1302 – 1978 yang di maksud dengan kekasaran permukaan ialah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi ini di gunakan untuk menentukan tingkat dari rata-rata kekasaran permukaan.

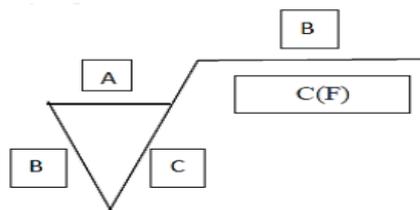
Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses permesinan, baik itu proses pembubutan, penyekrapan, pengefraisan, akan mengalami kekasaran permukaan dimana untuk besarnya di nyatakan dalam huruf N, dari N 1 yang paling halus sampai N 12 yang paling kasar dengan arah bekas pengerjaan yang tertentu dengan simbol tertentu pula, dari hal tersebut di atas dapat di tentukan nilai kekasaran permukaan pada tingkat tertentu, apakah benda kerja tersebut mengkilap, halus, maupun kasar (Dheo Edy Pratama, 2019).

Tabel 2. 1 Toleransi Nilai Kekasaran

No	Kelas Kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Harga		Panjang sampel (mm)
				Toleransi+50 % N	25 %	
1	N1	1	0.0025	0.02-0.04		0.08
2	N2	2	0.05	0.04-0.08		
3	N3	4	0.0	0.08-0.15		0.25
4	N4	8	0.2	0.15-0.3		

5	N5	16	0.4	0.3-0.6	
6	N6	32	0.8	0.6-0.1.2	
7	N7	63	1.6	1.2-2.4	
8	N8	125	3.2	2.4-4.8	0.8
9	N9	250	6.3	4.8-9.6	
10	N10	500	12.5	9.6-18.75	2.5
11	N11	1000	25.0	18.75-37.5	
12	N12	2000	50.0	37.5-75.0	8

Untuk bagian perencanaan kerja, bagian perhitungan biaya, maupun operator, harus mengetahui tingkat kekasaran permukaan, yang harus di capai pada benda kerja, hal ini di maksudkan untuk menentukan nilai jual dari benda kerja (produk) yang akan di jual di pasaran, sehingga bisa di hasilkan nilai tambah bagi perusahaan yang membuat seperti pada gambar 2.9 lambang kekasaran permukaan.



Gambar 2. 9 Lambang Kekasaran

Keterangan :

- Nilai kekasaran permukaan (R_a).
- Cara pengerjaan produksi.
- Panjang sample.

- d. Atah pengerjan.
- e. Kelebihan ukuran yang di kehendaki.
- f. Nilai kekasaran lain jika di perlukan.

Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya. Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Permukaan

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga (Ra)
<i>Flat and cylindrical lapping</i>	NI-N4	0.025-0.2
<i>Superfinishing Diamond turning</i>	N1-N6	0.025-0.8
<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1-N8	0.025-3.2
<i>Finishing</i>	N4-N8	0.1-3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5-N12	0.4-50.0
<i>Drilling</i>	N7-N10	1.6-12.5
<i>Shaping, planing, horizontal milling</i>	N6-N12	0.8-50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10-N11	12.5-25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6-N8	0.8-3.2
<i>Die casting</i>	N6-N7	0,8-1,6

Nilai kekasaran permukaan suatu benda kerja hasil dari proses pemesinan tergantung dari proses pengerjaannya. Proses pemesinan frais memiliki tingkat kekasaran rata-rata N5-N12 Ra yaitu 0.4-5.0.

Kekasaran permukaan di bedakan menjadi dua jenis, diantaranya :

1. *Ideal Surface Roughness* yaitu kekasaran ideal yang dapat di capai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal
2. *Natural Surface Roughness* yaitu kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi prosespermesinan di antaranya :
 - a. Keahlian operator.
 - b. Getaran yang terjadi pada mesin.
 - c. Ketidak teraturan *feed mechanisme*.
 - d. Adanya cacat pada material yang di gunakan.

2.4 Macam-Macam Pisau Frais dan Kegunaannya

Berdasarkan bentuknya pisau frais dapat di bedakan sebagai berikut

1. Pisau Frais Lurus (*Plain Milling Cutter*):

- a. Pisau lurus untuk pemotongan ringan (*Light duty plain milling machine*)

Pisau ini pada umumnya di gunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan bentuk gigi dari pisau ini pada umumnya berupa gigi lurus maupun gigi miring/helik. Gigi helik biasanya mempunyai sudut 25°. Gigi-gigi helik lebih sesuai untuk pemakanan dengan tenaga yang lebih sedikit mulai awal pemakanan, getaran yang lebih ringan dan mampu menghasilkan permukaan yang lebih halus. Gigi-gigi pisau ini pada umumnya kecil dengan *pitch* kecil pula. Pisau ini di desain untuk pemotongan ringan dengan kecepatan sedang.



Gambar 2. 10 Pisau Frais Lurus (*Plain Milling Cutter*)

- b. Pisau frais lurus untuk pemotongan kasar/berat (*heavy duty plain milling cutter*)

Pisau ini di buat dengan ukuran lebih besar dan lebar dengan jumlah gigi yang lebih kecil dari pada *light duty plain milling*. Untuk pisau frais dengan diameter 3” biasanya terdiri dari 8 gigi dan untuk diameter 4” biasanya 10 gigi. Sudut kemiringan gigi pisau antara 250 -450 . Pisau ini di desain untuk pekerjaan–pekerjaan kasar (berat).



Gambar 2. 11 Pisau Frais Lurus Untuk Pemotongan Kasar/Berat (*Heavy Duty Plain Milling Cutter*)

- c. Pisau rata helik (*Helical plain cutter*)

Pisau ini mempunyai jumlah gigi yang lebih sedikit dan lebih kasar dari pada pisau rata untuk pekerjaan berat/kasar. Pisau rata helik dengan diameter 3 “ biasanya mempunyai jumlah gigi 4. Sudut kemiringan gigi

pisau ini biasanya 450 hingga 600 atau lebih besar. Sudut helik yang besar ini mampu menyerap gaya pemotongan yang terjadi. Pisau ini cocok untuk pemakanan lebar, dangkal pemotongan profil pada dan besi lunak dan tidak efisien untuk pemakanan kasar seperti pada pisau rata untuk pemakanan kasar.



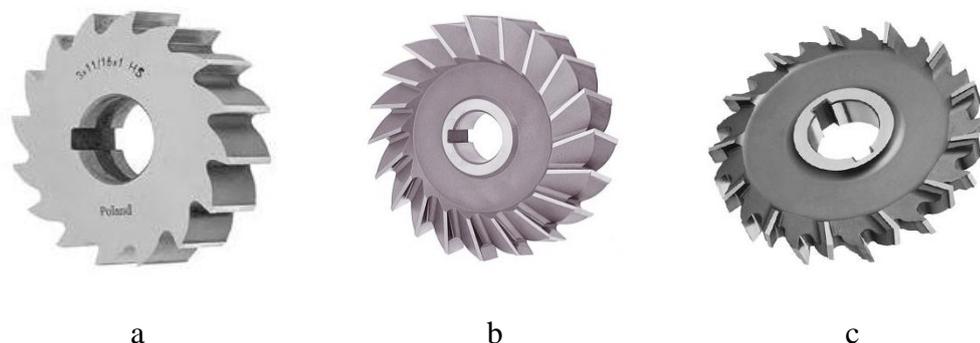
Gambar 2. 12 Pisau Rata Helik (*Helical Plain Cutter*)

2. Pisau Frais Sisi (*Side Milling Cutter*)

Side milling cutter sama dengan *plain milling cutter* namun pada salah satu sisi atau kedua sisi terdapat mata potong/mata pisau. Dengan pisau ini dapat di lakukan pemakanan pada sisi muka dan pada kedua sisi samping.

Macam-macam pisau sisi (*side milling cutter*) antara lain:

- a. Pisau sisi lurus (*Plain side milling cutter*) dengan sisi lurus pada sisi muka dan kedua sisi sampingnya.
- b. Pisau setengah sisi (*Half side milling cutter*) mempunyai gigi helik pada sisi muka dan gigi pemotong pada satu sisi samping. Pisau tipe ini di anjurkan untuk pengefraisan permukaan kasar dan pengfraisan pada satu sisi saja.
- c. Pisau Staggered (*Staggered tooth side milling cutter*) pisau ini di anjurkan untuk pemotongan kasar, alur dan slotting.



Gambar 2. 13 Macam-Macam Pisau Sisi (*Side Milling Cutter*) a. Pisau Sisi Lurus
b. Pisau Setengah Sisi c. Pisau *Staggered*

3. Pisau Potong/Gergaji (*Metal Slitting Saw*)

Pisau ini di desain untuk operasi pemotongan benda kerja dan pembuatan alur sempit (*narrow slot*). Untuk pemotongan yang dalam di perlukan kelonggaran (*clearance*) samping yang mencukupi.

Terdapat beberapa macam pisau gergaji antara lain:

a. Pisau gergaji lurus (*Plain metal selting saw*).

Merupakan pisau yang paling tipis dengan sisi lurus dan pada sisi sampingnya di buat tirus masuk. Hal ini di gunakan untuk mencegah terjadinya tekanan pada sisi pisau. Gigi-gigi pisau harus tajam dan mempunyai jumlah yang lebih banyak daripada pisau muka lurus (*plain milling cutter*). Namun demikian kecepatan pemakanan (*feed*) harus lebih rendah (biasanya $1/8$ hingga $1/4$ dari feed yang di gunakan pada pisau lurus. Pisau gergaji lurus biasanya di buat dengan ketebalan $1/32$ inch sampai dengan $3/16$ inch dengan diameter $2 \frac{1}{2}$ “ sampai 8 “.

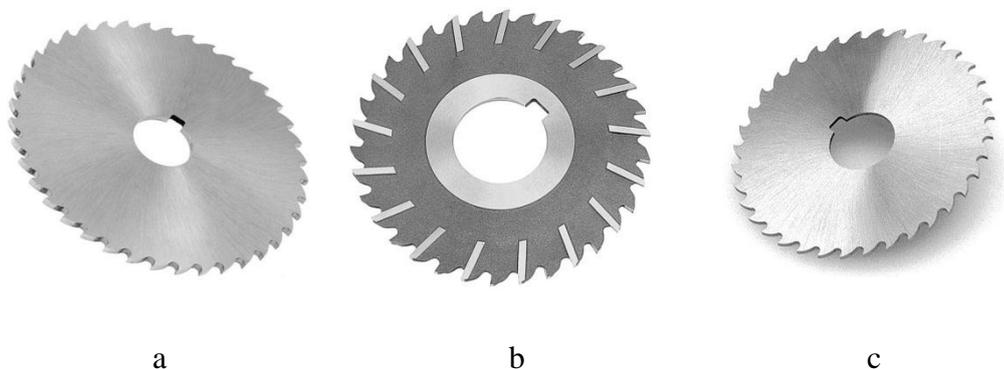
b. Pisau potong dengan gigi samping (*Metal slitting saw with side teeth*).

Pisau ini mempunyai bentuk yang sama dengan pisau sisi. Pada sisi samping di beri kelonggaran untuk beram dan melindungi mencegah pisau

dari tekanan dan jepitan sewaktu pengoperasian. Pisau ini biasanya di buat dengan tebal 1/16 inch sampai 3/16 inch dan diameter dari 2 ½ “ sampai 8“. Pisau jenis ini di anjurkan untuk membuat alur yang dalam dan proses pemotongan.

c. Pisau alur sekrup (*Screw slotting cutter*).

Pisau potong khusus yang di desain untuk memotong alur dalam kepala baut. Pisau ini juga dapat di gunakan untuk pemotongan ringan seperti pemotongan tube copper, ring piston dan benda sejenisnya. Pisau ini mempunyai fine feeds. Pada sisi pisau ini di buat lengkung lurus san sejajar. Pisau ini mempunyai lebar 0,020”-0,182” dan diameter maksimal 2 ¾ inchi.

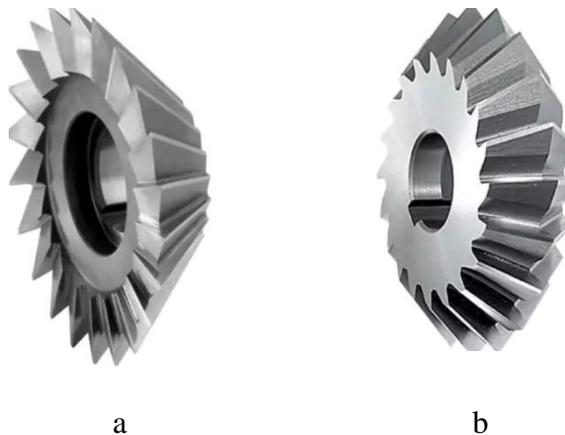


Gambar 2. 14 Macam-Macam Pisau Potong/Gergaji (*Metal Slitting Saw*) a. Pisau Gergaji Lurus, b. Pisau Potong *Staggered* dan Pisau Potong dengan Gigi Samping, c. Pisau Alur Sekrup.

4. Pisau Sudut (*Angular Milling Cutter*)

Pisau sudut di gunakan untuk pemotongan sudut seperti pemotongan alur V, ekor burung, *serrations* dan gigi *reamer*. Terdapat dua macam pisau sudut yaitu:

- a. Pisau sudut tunggal. Pisau ini mempunyai satu sisi permukaan sudut. Pisau ini di gunakan pada pembuatan alur ekor burung, *nothes* pada roda *ratchet* dan operasional sejenis. Sudut pisau ini pada umumnya antara 450 -600.
- b. Pisau sudut ganda di gunakan untuk pembuatan alur V. Pisau ini mempunyai bentuk sisi V dan biasanya di buat dengan sudut 450 , 600 , atau 90.



Gambar 2. 15 Pisau Sudut (*Angular Milling Cutter*) a. Pisau Sudut Tunggal, b. Pisau Sudut Ganda

5. Pisau Jari (*End Mill Cutter*)

End mill cutter merupakan pisau solid dengan sisi dan gagang yang menjadi satu. Namun demikian terdapat pisau *end mill* dengan mata pisau dan gagang terpisah yang di sebut tipe *shell*. Selain tipe *shell* tersebut pisau *end mill* mempunyai gagang lurus atau tirus yang dapat di pasangkan pada spindel mesin frais. *End mill* dapat di gunakan untuk pengefraisan muka, pengefraisan horizontal, vertikal, menyudut atau melingkar. Secara operasional *end mill* di gunakan untuk pembuatan alur, *keyways*, *pockets* (kantong), *shoulders* (tingkat), permukaan datar dan pengefraisan bentuk.

End mill sebagian besar di gunakan pada mesin frais vertikal meskipun tidak menutup kemungkinan di pakai pada mesin frais horizontal. Terdapat berbagai macam bentuk *end mill* dan biasanya terbuat dari HSS, *coemented carbide*, atau gigi *coemented carbide* yang di sisipkan. Macam-macam *end mill* tersebut antara lain:

- a. *End mill* dua mata (*two flute*). Pisau ini hanya mempunyai dua mata potong pada selubungnya. Ujung sisi di desain untuk dapat memotong hingga ke *center*. Pisau ini dapat di gunakan sebagaimana bor dan dapat pula di gunakan untuk membuat alur.
- b. *End mill* dengan mata potong jamak. Pisau ini mempunyai tiga, empat, enam atau delapan sisi potong dan biasanya mempunyai diameter di atas 2“.
- c. *Ball end mill* pisau ini di gunakan untuk pengefraisan *fillet* atau alur dengan radius pada permukaannya, untuk alur bulat, lubang, bentuk bola dan untuk semua pengerjaan bentuk bulat.
- d. *Shell end mill* pisau ini mempunyai lubang untuk pemasangannya pada arbor pendek. Gigi-gigi pisau ini biasanya berbentuk helik. Pisau ini dibuat lebih besar ukurannya dari pada pisau solid dan biasanya berukuran 1 ¼ “ sampai 6“.



Gambar 2. 16 Pisau Jari (*End Mill Cutter*) a. Dua Mata Satu Ujung, b. Dua Mata Dua Ujung, c. Tiga Mata Satu Ujung, d. Mata Ganda Satu Ujung, e. Empat Mata Dua Ujung, f. Dua Mata Ujung Bulat, g. Tipe *Carbide*, h. Tipe *Carbide* Gigi Helik Kanan, i. Mata Potong



Gambar 2. 17 Pisau *Shell End Mill*

6. Pisau Muka (*Face Mill Cutter*).

Pisau bentuk khusus dari pisau *end mill* besar. Pisau ini di buat dengan ukuran 6 “ atau lebih. *Face milling cutter* biasanya mempunyai mata potong sisip (*inserted*). Pisau ini biasanya di pasangkan langsung pada spindel mesin frais dan di gunakan untuk menghasilkan permukaan datar.



Gambar 2. 18 Pisau Muka

7. *T-Slot Milling Cutter.*

Merupakan pisau tipe end mill khusus yang di desain untuk pemotongan alur T, seperti pada meja mesin frais.



Gambar 2. 19 Pisau Alur T (*T-slot Milling Cutter*)

8. *Keyseat Cutter*

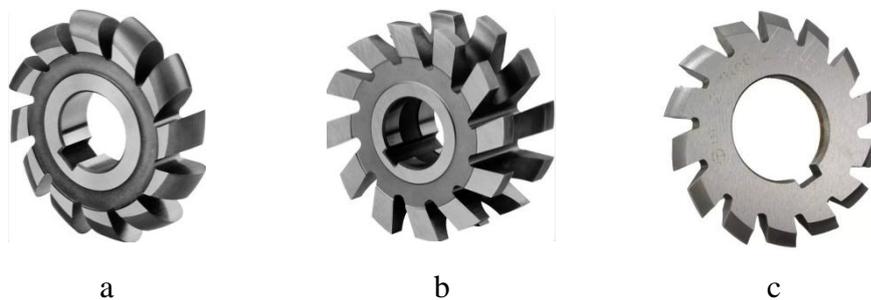
Pisau ini merupakan pisau khusus yang di gunakan untuk membuat keyseat untuk alur *woodruff*. Pisau ini sesuai untuk semua ukuran alur *woodruff*. Ukuran diameter pisau ini antara $\frac{1}{4}$ " sampai $1 \frac{1}{2}$ " dan tipe arbor dengan diameter $2 \frac{1}{8}$ " sampai $3 \frac{1}{2}$ ".



Gambar 2. 20 Pisau *Keyseat*

9. Pisau Bentuk

Pisau bentuk di gunakan untuk mengefrais permukaan dengan bentuk yang bervariasi sesuai keinginan. Pisau ini dapat di gunakan untuk mengefrais bentuk-bentuk dan ukuran standar maupun bentuk-bentuk dan ukuran yang berbeda-beda. Berbagai-macam pisau bentuk dapat di lihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 21 Berbagai Macam Pisau Bentuk a. Pisau Cekung, b. Pisau Cembung, c. Pisau Roda Gigi.

10. *Fly Cutter*

Fly cutter terdiri dari satu atau lebih bentuk gigi dalam satu pisau. Dalam penggunaannya sama dengan proses pengeboran.

11. *Rotary Files*

Pisau ini mempunyai bentuk yang hampir sama dengan *end mill* tetapi sebenarnya bukan pisau. *Rotary files* cocok untuk berbagai macam bentuk dan ukuran dan biasanya di buat dari bahan HSS atau carbide. *Rotary files* biasanya di gunakan dalam mesin-mesin portabel. Pisau ini di gunakan dalam *finishing* hasil pengelasan, *dies*, *mould* dan operasional lain yang tidak membutuhkan pengurangan dimensi dalam jumlah besar.

2.5 Aluminium

Aluminium memiliki sifat-sifat fisik tertentu. Kekuatan mekanik pada aluminium dapat di tingkatkan dengan penambahan unsur padu seperti Cu, Mg, Zn, Mn, dan Ni. Unsur Cu pada paduan Al akan meningkatkan sifat mekanik, yaitu kekerasan maupun kekuatan tariknya namun menurunkan kemampuan corannya. Paduan dengan silikon akan memperbaiki tingkat kecairan (*fluidity*) dan menurunkan cacat penyusutan (*Shrinkage*) yang berpengaruh baik terhadap sifat kemampuan cor (*castability*) dan kemampuan las (*weldability*).

Selain itu silikon akan meningkatkan sifat ketahanan korosi dan kekerasan paduan, tetapi kadar silikon yang tinggi akan mengakibatkan bahan menjadi rapuh. Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm³ setelah Magnesium (1.7 gram/cm³) dan Berilium (1.85 gram/cm³) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dan lain-lain.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al₂O₃) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminiumnya menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya. Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik

untuk aluminium murni sekitar 4-5 kgf/mm². Bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai ± 15 kgf/mm². Adapun Sifat-sifat penting yang di miliki aluminium sehingga banyak di gunakan sebagai material teknik:

- Berat jenisnya ringan (hanya 2,7 gr/cm³, sedangkan besi $\pm 8,1$ gr/ cm³)
- Tahan korosi
- Penghantar listrik dan panas yang baik
- Mudah di fabrikasi/di bentuk
- Kekuatannya rendah tetapi pepaduan (*alloying*) kekuatannya bisa di tingkatkan.

Tabel 2. 3 Karakteristik Aluminium

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20oC (sat. 103kg/m ³)	2.698
Titik Cair oC	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20o – 100oC (10 ⁻⁶ /K)	23.9
Konduktifitas panas 20o - 400oC (W/(m K)	238
Tahanan listrik 20oC (10 ⁻⁸ KΩ m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0

2.6 Klasifikasi Pengecoran Aluminium

2.6.1. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan di cetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 Mpa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium di padukan dengan logam lain.

2.6.2. Aluminium Paduan

Secara umum penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, Kristal atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga proses perlakuannya hingga aluminium siap di gunakan.

2.7 Standar dan Kodefikasi Aluminium

Pengkodean aluminium tempa berdasarkan *International Alloy Designation System* adalah sebagai berikut:

1. Seri 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan minimum 99,00% aluminium berdasarkan beratnya.
2. Seri 2xxx adalah paduan dengan tembaga. Terdiri dari paduan bernomor 2010 hingga 2029.

3. Seri 3xxx adalah paduan dengan mangan. Terdiri dari paduan bernomor 3003 hingga 3009.
4. Seri 4xxx adalah paduan dengan silikon. Terdiri dari paduan bernomor 4030 hingga 4039
5. Seri 5xxx adalah paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086.
6. Seri 6xxx adalah paduan dengan silikon dan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 6061 hingga 6069
7. Seri 7xxx adalah paduan dengan seng. Terdiri dari paduan dengan nomor 7070 hingga 7079.
8. Seri 8xxx adalah paduan dengan lithium.

Perlu di perhatikan bahwa pengkodean aluminium untuk keperluan penempatan seperti di atas tidak berdasarkan pada komposisi paduannya, tetapi berdasarkan pada sistem pengkodean terdahulu yaitu sistem Alcoa yang menggunakan urutan 1 sampai 79 dengan akhiran S, sehingga dua digit di belakang setiap kode pada pengkodean di atas diberi angka sesuai urutan Alcoa terdahulu. Pengecualian ada pada paduan magnesium dan lithium.

Pengkodean untuk aluminium cor berdasarkan *Aluminium Association* adalah sebagai berikut:

1. Seri 1xx.x adalah aluminium dengan kandungan minimal 99% aluminium.
2. Seri 2xx.x adalah paduan dengan tembaga.
3. Seri 3xx.x adalah paduan dengan silikon, tembaga dan atau magnesium.

4. Seri 4xx.x adalah paduan dengan silicon.
5. Seri 5xx.x adalah paduan dengan magnesium.
6. Seri 7xx.x adalah paduan dengan seng.
7. Seri 8xx.x adalah paduan dengan lithium.

Perlu di perhatikan bahwa pada digit kedua dan ketiga menunjukkan persentase aluminiumnya, sedangkan digit terakhir setelah titik adalah keterangan apakah aluminium dicor setelah di lakukan pelelehan pada produk aslinya atau di cor segera setelah aluminium cair dengan paduan tertentu. Ditulis hanya dengan dua angka, yaitu 1 atau 0.

2.8 Sifat Fisik Aluminium

Tabel 2. 4 Sifat Fisik Aluminium

Nama, Simbol, dan Nomor	Aluminium, Al, 13
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
titik lebur	660,32oC
Titik didih	2792 K, 2519oC, 4566oF
Modulus Young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Kekerasan skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan skala Brinell	245 Mpa

Tabel 2. 5 Pengkodean Alumunium

Series number	Primary Alloying Element	Relative Corrosion Resistance
1 xxx	None	Excellent
2 xxx	Copper	Fair
3 xxx	Manganese	Good
4 xxx	Magnesium	-
5 xxx	Silicon	Good
6 xxx	Magnesium and silicon	Good
7 xxx	Zinc	Fair

2.9 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur paduan di dalam paduan aluminium memberikan sifat-sifat khusus dalam paduan aluminium tersebut, pengaruh-pengaruh unsur paduan yaitu:

2.9.1. Tembaga (Cu)

Dicampur dengan aluminium, tembaga menambah kekuatan dan kekerasan, dan meningkatkan kemampuan permesinan sampai kira-kira 12%Cu. Di atas tingkat ini campuran dasar aluminium (Al-Cu) terlalu rapuh untuk keperluan teknik. Di bawah kondisi keseimbangan sampai 5,65%Cu dapat larut dalam aluminium pada suhu paduan (Al-Cu) biner (10190F). Kelarutan padat ini turun sampai kurang dari 0,1% pada suhu ruang dan inilah berkurangnya pelarutan padat yang menerangkan endapan yang baik sekali paduan Al-Cu untuk perlakuan panas. Meningkatnya kadar Cu menghasilkan ketahanan rendah terhadap korosi.

Tembaga membentuk eutektik yang benar dengan aluminium pada kadar tembaga sebesar 33%.Paduan berbasis tembaga (Al-Cu) berisi 10-20% Al menunjukkan kekuatan pengecualian, untuk kekerasan dan pemakaian ,menyesuaikan yang dari beberapa paduan baja.

2.10 Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini di namakan *etching*.

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan di peroleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat:

- a. Ukuran dan bentuk butir.
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam.
- c. Pengotor yang terdapat dalam material.