

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Kajian pustaka

Laili (2014) melakukan penelitian mengenai Pengaruh Jenis Benda Kerja, Kedalaman Pemakanan dan Kecepatan Spindel Terhadap tingkat kerataan permukaan dan bentuk geram baja ST. 41 dn ST.60 pada proses *milling* konvensional. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Dalam penelitian ini benda kerja yang digunakan sebanyak sebanyak 18 buah yang mendapatkan perlakuan yang berbeda dalam proses pengerjaannya, yaitu dengan variasi jenis benda kerja ST.41 dan ST.60, dengan kedalaman pemakanan 0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm dengan kecepatan spindel 540 rpm, 910 rpm, dan 1500 rpm. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa jenis benda kerja, kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan sangat berpengaruh terhadap tingkat kerataan permukaan. Nilai kerataan permukaan yang terbaik diperoleh dari jenis benda kerja ST.60 dengan kecepatan spindel 1500 rpm dan kedalaman pemakanan 0,2 mm. Hal ini menunjukkan pada kecepatan spindel yang tinggi, kedalaman pemakanan yang terendah dan jenis benda kerja yang liat (padat) menghasilkan nilai kerataan permukaan yang rendah. Bentuk geram juga dipengaruhi oleh jenis benda kerja, kecepatan spindel yang tinggi dan kedalaman pemakanan yang rendah.

Winarto, (2014) melakukan penelitian pengaruh kedalaman pemakanan, kecepatan spindel dan jenis cairan pendingin terhadap tingkat kekasaran dan kerataan permukaan baja ST.41 dan pada proses *milling* konvensional. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan 27 benda uji. 27 benda uji difrais dengan kedalam yang berbeda yaitu 0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm, kecepatan spindel yang berbeda yaitu : 540 rpm. 190 rpm, dan 1500 rpm dan cairan pendingin global, *cutting* APX, dan kiyoso. Hasil ini untuk kekasaran permukaan baja ST.41 dipengaruhi oleh cairan (global, *cutting* APX, kiyoso) ditunjukkan dengan nilai *p value* 0,042 yang lebih kecil dari pada alpha 0,05 dan kedalaman pemakanan (0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm) ditunjukkan dengan nilai *P value* 0,000 yang lebih kecil dari alpha 0,05, sedangkan kecepatan spindel (540

rpm, 910 rpm, dan 1500 rpm) tidak berpengaruh signifikan ditunjukkan dengan nilai *P value* 0,164 yang lebih besar dari alpha 0,05. Kerataan permukaan baja ST.41 dipengaruhi oleh jenis cairan pendingin (global, *cutting* APX, kyoso) kecepatan spindel (540 rpm, 910 rpm, 1500 rpm) dan kedalaman pemakanan (0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm) ditunjukkan dengan masing-masing nilai *P value* yang lebih besar dari alpha 0,05 yakni jenis cairan sebesar 0,032, kecepatan spindel sebesar 0,014 dan kedalaman pemakanan 0,005. Kombinasi variabel yang kekasaran yang paling baik adalah cairan *cutting* APX, kedalaman 0,2 dan kecepatan 1500 rpm sebesar 0,692 μm , sedangkan yang kekasaran paling buruk adalah cairan kyoso, kedalaman 0,6 mm dan kecepatan 540 rpm sebesar 0,885 μm , kerataan paling baik dengan cairan kyoso, kedalaman 0,6 mm dan kecepatan 1500 rpm sebesar 0,014 μm , sedangkan yang paling buruk dengan cairan global, kedalaman 0,2 mm dan kecepatan 540 rpm sebesar 0,056 μm .

Cahyono, (2017) melakukan penelitian pengaruh variasi kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan *stainless steel* aisi 304 pada proses frais konvensional dengan metode taguchi. Pada penelitian ini parameter pemotongan yang digunakan adalah kecepatan spindel dengan variasi 600 rpm, 860 rpm, 960 rpm dan kedalaman pemakanan 0,1 mm, 0,3 mm, 0,5 mm, sedangkan proses frais yang dilakukan adalah proses frais vertikal dengan menggunakan mesin frais konvensional pada material *stainless steel* aisi 304 dan menggunakan pisau frais jari berbahan dasar HSS (*High Speed Steel*) dengan diameter 12 mm dan jumlah mata pisau 4 *flute*. Dari hasil analisa menggunakan metode taguchi dapat diketahui nilai kekasaran permukaan paling besar terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindel 600 rpm dan kedalaman pemakanan 0,5 yaitu 2,259 μm , sedangkan nilai kekasaran permukaan paling kecil terdapat pada parameter pemotongan kecepatan spindel 960 rpm dan kedalaman pemakanan 0,1 mm yaitu 1,137 μm , sehingga kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan adalah kecepatan spindel sebesar 960 rpm dan kedalaman pemakanan sebesar 0,1 mm.

Adinnandh, R., & Sakti, A. M. (2019) analisa jenis pahat dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan pada benda kerja aluminium

dan baja ST. 37 dengan perlakuan mesin frais *vertical*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dalam penelitian ini benda kerja yang digunakan ada 2 jenis yaitu aluminium dan baja ST.37 dan masing –masing sebanyak 9 buah, yang mendapatkan perlakuan berbeda dalam setiap proses pengerjaannya, yaitu : variasi jenis pahat HSS (sutton, jck, japan) dan kedalaman pemakanan (0,2, 0,4, 0,6). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahwa jenis pahat berpengaruh pada kekasaran permukaan benda kerja aluminium dan baja ST.37. jenis pahat yang keras menimbulkan kekasaran yang rendah. Jenis pahat tersebut adalah pahat japan dengan kekasaran yang terendah pada aluminium bernilai 0,557 μm dan baja ST.37 bernilai 0,653 μm . Kedalaman pemakanan berpengaruh pada kekasaran permukaan benda kerja aluminium dan baja ST.37. kedalaman yang memiliki keksaran yang rendah adalah 0,2 mm dengan nilai kekasaran pada aluminium bernilai 0,557 μm dan baja ST.37 bernilai 0,653 μm .

Prayoga, (2020), melakukan penelitian analisa pengaruh variasi kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan proses frais. Material benda kerja yang dipakai adalah ST. 37 sedangkan jenis pahat potong yang digunakan adalah HSS. Untuk proses selanjutnya adalah proses pembuatan benda kerja dengan mesin frais dengan variasi jenis kedalaman pemakanan pada kecepatan potong 25 m/menit dengan kedalaman pemakanan 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, Dari pengambilan data kekasarann permukaan pada setiap kedalaman pemakanan diperoleh nilai kekasaran permukaan pada kedalaman pemakanan 0,5 mm yang terkeci 4,4 μm . Pada kedalaman pemakanan 3 mm nilai kekasaran permukaan yang terbesar adalah 9,16 μm .

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Mesin *Milling*/Frais

Mesin frais (*milling machines*) adalah suatu proses penyayatan benda kerja untuk membentuk suatu produk yang diinginkan, dimana pahat (*cutter*) yang berputar tiap giginya melakukan pemakanan serta benda kerja yang bergerak sehingga material bergerak mengikuti arah gerak makan, akibatnya terjadilah penyayatan atau pemotongan oleh pahat. Selain itu pada proses frais bahan yang

digunakan sangatlah mempengaruhi kecepatan mesin dan pemakanan yang digunakan sangatlah mempengaruhi kecepatan mesin dan pemakanan yang dilakukan oleh pahat.

Proses pemotongan pada mesin frais (*milling machines*) dimana dari proses frais dapat terbentuk karena adanya pemotongan dari alat potong yang berputar dimana dimana sisi potongnya diatur disekeliling alat potong tersebut. Agar sisi potong dari alat potong dapat memotong material, maka sisi potongnya harus memiliki sudut bebas. Pada mesin frais terdapat dua gerakan dasar yaitu gerakan pemotongan dan gerakan pemakanan. Gerakan pemotongan adalah gerakan melingkar dari alat potong. Sedangkan gerakan pemakanan merupakan gerakan dalam bentuk garis lurus. Tebal geram didapat dari gerakan pemakanan tersebut. Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis (Yanuar, Et.al, 2014).



Gambar 2.1 Mesin Frais
(Bengkel produksi polsri, 2023)

2.2.2 Jenis-jenis Mesin *Milling*

Berdasarkan spindel utama mesin *milling* dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya :

1. Mesin *milling vertical*

Mesin *milling vertical* merupakan jenis mesin *milling* yang spindelnya terdapat pada posisi *vertical*, biasanya mesin *milling* ini juga dapat digunakan

untuk proses pengeboran. Mesin ini memakai prinsip pemotongan dengan menggunakan bagian muka pisau potong dan alat potong pada mesin ini biasanya berbentuk batang.

2. Mesin *milling horizontal*

Mesin *milling horizontal* merupakan mesin milling dimana poros utamanya sebagai pemutar dan *cutting tool holder* pada posisi mendatar.

3. Mesin *milling universal*

Mesin *milling universal* merupakan gabungan dari jenis mesin *milling horizontal* dan *vertical*, akan tetapi hanya bisa menggunakan satu diantaranya sehingga tidak dapat digunakan secara bersamaan meja mesin ini dapat bergerak kearah melintang, memanjang dan naik turun serta dapat diputar membuat sudut tertentu terhadap body mesin.(Pppptk Bmti-2015).

2.2.3 Bagian-bagian Pada Mesin *Milling*

Adapun bagian-bagian utama mesin frais adalah sebagai berikut :

1. Spindel utama, bagian dari mesin frais yang berfungsi sebagai pencekam alat potong/pahat.
2. Meja/*Table*, bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk *clamping device* atau benda kerja.
3. Motor *device*, bagian mesin yang berfungsi sebagai penggerak bagian-bagian mesin lain seperti spindel utama, meja dan pendingin (*colling*).
4. *Arbor*, berfungsi untuk mencekam pahat frais pada sumbu utama.
5. *Knee*, bagian mesin yang berfungsi untuk menopang atau menahan meja mesin.
6. *Column*, benda dari mesin yang berfungsi untuk menyokong dan menuntun *knee* saat bergerak vertikal.
7. *Base*, landasan mesin yang terletak menyatu dengan lantai. Base juga berfungsi sebagai *reservoir* (penampung fluida pendingin).
8. *Control*, merupakan pengatur dari bagian-bagian mesin yang bergerak.

2.2.4 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Surdia T, 2006).

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphey Davy dalam tahun 1809 sebagai unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted, tahun 1825. Secara Industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan kedua setelah besi dan baja yang tertinggi diantara logam *non ferrous*. Aluminium adalah unsur *non ferrous* yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk melalui proses pembentukan maupun pemesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya dengan penambahan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama. Dalam memadukan aluminium dengan logam lain diusahakan sedapat mungkin untuk tetap mempertahankan atau memperbaiki sifat aluminium murni yang baik seperti berat jenis yang rendah, ketahanan korosi dan daya hantar listrik dan panas yang baik.

Bahan-bahan aluminium yang khas untuk komponen struktural yang besar. Deformasi dihasilkan karena efek *thermo-elastic* secara signifikan dapat mempengaruhi operasi *finishing*. Untuk menjamin bebas dari kesalahan produk,

sebuah simulasi *milling*, yang memperhitungkan pergerakan, dapat digunakan untuk memprediksi kesalahan (R. Joliet. 2013).

2.2.5 Klasifikasi Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar Aluminium Association di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu atau dua angka “S”, sedangkan paduan coran dinyatakan dengan angka 3 angka. Standar AA menggunakan penandaan Sifat dari bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium dikenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yakni proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Adapun sifat-sifat Aluminium antara lain sebagai berikut:

a. Ringan

Logam Aluminium Memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga. Logam aluminium banyak digunakan didalam industri, alat berat dan transportasi.

b. Mudah dibentuk

Proses pengerjaan Aluminium mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.

c. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya *necking*. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan, kekuatan tarik pada aluminium AA 6061 adalah 324 Mpa.

d. Modulus Elastisitas

Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan baja maupun besi, tetapi dari sisi *strength to weight ratio*, aluminium lebih baik. Aluminium yang memiliki titik lebur yang lebih rendah dan kepadatan. Dalam kondisi yang dicairkan dapat diproses dalam berbagai cara. Hal ini yang memungkinkan produk-produk dari aluminium yang akan dibentuk, pada dasarnya dekat dengan akhir dari desain produk, modulus elastisitasnya adalah 68,9 Gpa (10,000 ksi)

e. *Recyclability* (Mampu untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang.

f. *Ductility* (Liat)

Ductility didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan. Dalam suatu pengujian tarik, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk *necking*nya, material dengan *ductility* yang tinggi akan

mengalami *necking* yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami *necking*. Pada logam aluminium paduan memiliki *ductility* yang bervariasi, tergantung konsentrasi paduannya, namun pada umumnya memiliki *ductility* yang lebih rendah dari pada aluminium murni.

g. Kuat

Aluminium memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadukan dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, komponen mesin dan lain-lain.

h. *Reflectivity* (Mampu pantul)

Aluminium adalah reflektor yang baik dari cahaya serta panas, dan dengan bobot yang ringan, membuatnya ideal untuk bahan reflektor.

i. Tahan terhadap korosi

Aluminium memiliki sifat *durable*, sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia (widhiantoro. 2017).

Aluminium memiliki kelas atau *Grade* yang tergantung pada unsur paduan dan perlakuan panas yang dilakukan terhadap paduan aluminium tersebut. *Grade* (kelas) dari aluminium dapat menunjukkan berbagai sifat mekanik dari aluminium tersebut dari penampilan yang baik, kemudahan fabrikasi, ketahanan korosi yang baik, mampu las yang baik dan ketangguhan retak tinggi. Pemilihan *grade* (kelas) aluminium yang tepat tergantung pada aplikasi yang diperlukan dan kondisi kerja.

a. *Grade* aluminium Seri 1xxx

Grade dari aluminium ini (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 dll) ditandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. *Grade* aluminium ini memiliki kandungan Besi dan *silicon* yang besar.

b. *Grade* aluminium Seri 2xxx

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0;203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan solution *heat treatment* untuk mendapatkan sifat yang optimal, didalam kondisi solution *heat treatment* , sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang-kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir. *Grade* aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus yaitu pada suhu sampai 150 °C (300 °F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik.

c. *Grade* aluminium Seri3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidakmampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. mangan digunakan sebagai elemen utama dalam beberapa paduan.

d. *Grade* aluminium Seri 4xxx

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

e. *Grade* aluminium Seri 5xxx

Unsur paduan utama *grade* aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi (150 ° F) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak.

f. *Grade* aluminium Seri 6xxx

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061, 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida (Mg_2Si), sehingga membuat paduan ini memiliki kemampuan perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

g. *Grade* aluminium Seri 7xxx

Zinc jumlah dari 1% sampai 8% merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil didalam perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi.

h. *Grade* aluminium Seri 8xxx

Seri 8xxx (8006; 8111; 8079; 850,0; 851,0; 852,0) dicadangkan untuk paduan unsur selain yang digunakan untuk seri 2xxx sampai 7xxx. Besi dan nikel yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanpa kerugian yang signifikan dalam konduktivitas listrik, dan begitu juga berguna dalam paduan konduktor seperti 8017. Aluminium-lithium paduan 8090, yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat. (Widhiantoro, 2017)

2.2.6 Aluminium 6061

Aluminium dengan nomor seri 6061 memiliki paduan yaitu *magnesium* dan *silikon*. Kedua unsur tersebut yang membuat paduan ini masuk dalam klasifikasi paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan panas sehingga sifat mekanisnya dapat mencapai optimum. Dari klasifikasi 6061 ini dapat diperoleh aluminium paduan 6061 dan 6063. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya (widhiantoro. 2017).

2.2.7 Endmill Cutter

Endmill cutter merupakan salah satu jenis pisau potong mesin milling yang banyak digunakan. Ukuran dan jenisnya sangat bervariasi. Pisau potong jenis ini bisa terbuat dari material baja berkecepatan tinggi (HSS), dan ada juga yang

terbuat dari karbida. Pisau ini memiliki 2 atau lebih alur (*flute*) yang biasanya digunakan untuk meratakan bagian permukaan ataupun juga bisa untuk membuat alur pada bidang datar. Pisau ini pada umumnya dipasang pada posisi tegak (*vertical*), tapi pada kondisi tertentu bisa juga dipasang pada posisi melintang (*horizontal*) tergantung dari pengerjaan benda kerja itu sendiri. *Endmill cutter* berpengaruh besar pada tingkat kekasaran pada permukaan. Jumlah *flute* dan material *endmill* tersebut sangat diperhitungkan untuk mendapatkan tingkat kekasaran yang baik.



Gambar 2.5 *Endmill cutter* jari
(Firdaus, N. F, 2021)

Endmill cutter jari adalah pisau milling dengan sisi dan gagang yang menyatu. Adapun jenis *endmill* dengan mata sayat dan gagang yang terpisah yaitu *endmill* tipe shell. pisau frais *endmill* ini digunakan untuk pengerjaan pengefraisan *vertical*, *horizontal*, permukaan, sudut, dan melingkar. Juga bisa untuk membuat alur bidang datar, pengefraisan bentuk, bertingkat dan masih banyak lagi. Umumnya pisau jenis ini digunakan untuk mesin frais *vertical* adapun juga digunakan pada mesin frais *horizontal* (Firdaus, N. F, 2021).

a. Pisau *Endmill* dua mata (*two flute*)

Pisau *endmill* 2 mata memiliki 2 mata potong dalam selubungannya. Ujung sisi dalam pisau tersebut berguna-guna dalam pemotongan sampai ke center. Pisau macam ini bisa digunakan menciptakan alur serta menciptakan lubang seperti bor.

b. Pisau *Endmill* dua mata (*two flute*)

Pisau *Endmill* mata potong jamak mempunyai mata potong berjumlah tiga, empat, enam atau delapan pada posisi potong dengan diameter diatas 2.

c. Pisau Ball *Endmill*

Pisau Ball *Endmill* digunakan untuk membuat fillet radius pada permukaannya dengan alur, bentuk bola dan lubang.

d. Pisau Shell *Endmill*

Pisau Shell *Endmill* mempunya lubang untuk dipasangkan pada arbor. Gigi pada pisau ini berbentuk helik dan dibuat lebih besar dari pada pisau solid dengan ukuran 1 1/4" sampai 6" (Mualim, Q. W, 2021).

2.2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses permesinan itu sendiri. Sedangkan permukaan itu sendiri ialah batas yang memisahkan benda padat dengan sekelilingnya. Karakter suatu permukaan sangatlah penting dalam perancangan komponen dalam maupun peralatan. Dimana karakteristik permukaan dinyatakan dengan jelas bahwa berkaitan langsung dengan gesekan, *cutting fluid*, tahanan kelelahan, dan sebagainya. Karakteristik perancangan sedapat mungkin harus dipenuhi oleh penguji dalam pembuatan komponen.

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. *Ideal surface roughness*

Ideal surface roughness adalah kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses pemesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan ideal diantaranya :

- a. Getaran yang terjadi pada mesin.
- b. Ketidak tepatan gerak bagian-bagian pada mesin.
- c. Ketidakteraturan (*feed mechanism*).
- d. Adanya cacat pada suatu material.
- e. Gesekan antara chip dan material.

2. *Natural surface roughness*

Natural surface roughness adalah kekasaran alami yang terbentuk dalam proses pemesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut (Sanjaya D, 2019).

2.2.9 Toleransi Harga Ra

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12.

Tabel 2.1 Nilai kekasaran permukaan menurut ISO
(Anas, 2022)

Kekasaran Ra (μm)	Tingkat kekasaran
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Tabel berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.2 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya
(Sumber : Dasar-dasar metrologi industri.230)

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga (Ra)
Lapping datar silinder	N1-N4	0,025-0,2
Pembalikan diamond superfinishing	N1-N6	0,025-0,8
Gerinda silinder datar	N1-N8	0,025-3,2
Menyelesaikan	N4-N8	0,1-3,2
Pembubutan wajah dan slinder, miiling dan reaming	N5-N12	0,4-50,0
Pengeboran	N7-N10	1,6-12,5
Membentuk, merencanakan, pengilingan horizontal	N6-N12	0,8-50,0
Sandcasting dan penempaan	N10-N11	12,5-25,0
Ekstrusi, rolling dingin, menggambar	N6-N8	0,8-3,2
Pengecoran mati	N6-N7	0,8-1,6

2.2.10 Kecepatan Spindel

Sebelum menentukan proses pekerjaan pemesinan, maka kita harus mengetahui jenis bahan yang akan dikerjakan serta jenis *endmill* yang akan digunakan. Setelah mengetahui jenis bahan dan jenis *endmill* yang akan digunakan maka langkah selanjutnya adalah mencari kecepatan potong. Kecepatan potong dari beberapa penelitian untuk beberapa jenis bahan telah distandarkan dalam tabel. Beberapa jenis bahan terbagi dalam beberapa golongan logam dan non logam yang menggunakan jenis *endmill* tertentu. Berikut adalah tabel kecepatan potong yang dianjurkan pada proses pemesinan *milling* dalam memotong material dengan menggunakan beberapa jenis bahan dan jenis *endmill*.

Tabel 2.3 kecepatan potong (vc) dengan pahat karbida untuk proses *milling*
(Sumber : Dokumen tips)

Bahan	Cutter HSS	Cutter karbida
Baja perkakas	25-45	110-140
Baja karbon rendah	25-40	90-120
Baja karbon menengah	20-40	75-110
Besi cor kelabu	25-30	60-75
Kuningan	45-70	120-150
Aluminium	30-45	60-90

Kecepatan potong digunakan untuk menentukan kecepatan putaran spindle. Semakin cepat putaran spindle, maka akan berpengaruh terhadap tingkat keausan *cutter*. Putaran spindle utama mesin merupakan putaran *cutter* dalam satuan rpm. Dari kecepatan potong dan diameter benda kerja, kecepatan spindle bisa dihitung dengan rumus : (Firdaus, N. F, 2021).

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \dots \dots \dots (1)$$

$$n = \frac{63 \times 1000}{3,14 \times 10} = 2000 \text{ rpm}$$

Keterangan :

n = jumlah putaran tiap menit

V_c = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter benda kerja (mm)

$\pi = \frac{22}{7}$ atau 3,14

1000 = konversi meter ke milimeter

Untuk mencari nilai n yang lainnya sama dengan rumus di atas :

Tabel 2.4 hasil kecepatan spindle

No.	kecepatan porong	π	Diameter	Jumlahh putaran (n)
1	63	3,14	10 mm	2000
2	70	3,14	10 mm	2250
3	79	3,14	10 mm	2500

2.2.11 Feed Rate

Pemakanan per gigi (fz) diukur dalam mm/*tooth* adalah nilai proses pengefraisan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai

banyak mata potong nilai fz dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi aman.

Tabel 2.5 Gerak makan (*feed*) pergigi yang disarankan untuk pahat CARBIDE
(Sumber : widiarto 2008)

<i>Type Of Cutter</i>	<i>Materials</i>				
	<i>Alumunium</i>	<i>Bronze</i>	<i>Cast Iron</i>	<i>Free Machining Steel</i>	<i>Alloy Steel</i>
<i>Face Mills</i>	0,007 to 0,020	0,004 to 0,012	0,006 to 0,020	0,004 to 0,016	0,003 to 0,014
<i>Helical Mills</i>	0,006 to 0,016	0,004 to 0,010	0,003 to 0,018	0,003 to 0,013	0,003 to 0,012
<i>Side Cutting Mills</i>	0,004 to 0,012	0,003 to 0,007	0,003 to 0,012	0,003 to 0,009	0,002 to 0,008
<i>End mills</i>	0,003 to 0,010	0,002 to 0,006	0,003 to 0,010	0,002 to 0,008	0,002 to 0,008
<i>Form Relieved Cutters</i>	0,002 to 0,006	0,001 to 0,004	0,002 to 0,006	0,002 to 0,005	0,001 to 0,004
<i>Circular Saws</i>	0,002 to 0,005	0,001 to 0,003	0,002 to 0,006	0,001 to 0,004	0,001 to 0,004

Pada mesin frais, kecepatan pemakanan dinyatakan dalam satuan millimeter permenit di mana dalam pemakaiannya perlu disesuaikan dengan jumlah mata potong pisau yang digunakan. Kecepatan pemakanan tiap mata potong pisau frais (fz) untuk setiap jenis pisau dan setiap jenis bahan sudah dibakukan tinggal dipilih mana yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan demikian rumus kecepatan pemakanan (*feed rate*) adalah:

$$V_f = n \times f_z \times z_n \dots\dots\dots(2)$$

$$V_f = 2000 \times 0,003 \times 2 = 12 \text{ mm/menit}$$

dimana: V_f : *feed rate* (mm/menit)

n : kecepatan putaran *spindel speed* (rpm)

f_z : *feed per gigi* (mm)

z_n : jumlah mata pisau

Untuk mencari *feed rate* yang lainnya sama dengan rumus di atas :

Tabel 2.6 Hasil *feed rate*

No.	Kecepatan putaran rpm	Feed pergigi (mm)	Jumlah mata pisau	Feed rate (mm)
1	2000	0,003	6	30
2	2250	0,003	6	40
3	2500	0,003	6	45
4	2000	0,003	4	25
5	2250	0,003	4	27
6	2500	0,003	4	30
7	2000	0,003	2	12
8	2250	0,003	2	13
9	2500	0,003	2	15

2.2.12 *Surface Roughness Tester*

Surface Roughness Tester merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. *Surface Roughness Tester* didefinisikan sebagai ketidak halusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *roughness average* (Ra). Ra merupakan parameter yang paling banyak dipakai secara internasional. Ra didefinisikan sebagai aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata. (Prakoso,2014).

2.2.13 Standar pengujian menggunakan ISO 17025

ISO 17025 adalah standar untuk kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi. Standard ini menyediakan persyaratan umum yang harus dipenuhi oleh laborotorium untuk memastika hasil penuian yang andal dan konsisten.