

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pada dunia permesinan saat ini mengalami kemajuan dan perkembangan yang pesat. kebutuhan dalam dunia industri yang semakin meningkat, memicu berkembangnya teknologi dalam proses permesinan. Dalam dunia permesinan, macam-macam proses pengerjaan permesinan meliputi pembubutan, pengefraisan, pengerindaan, sekrap, dan lain-lain. Perbedaan dari proses permesinan tersebut terletak pada cara kerja dan hasilnya. Permasalahan yang dialami pada industri permesinan, yaitu menghasilkan produk yang berkualitas, serta mempertimbangkan efisiensi pengerjaan dan biaya yang dikeluarkan selama proses produksi.

Salah satu proses pemesisinan adalah mesin frais. Proses pemesisinan frais adalah proses penyayatan logam menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. “Proses pemesisinan frais merupakan proses pemotongan/penyayatan logam yang sangat mendasar dan banyak digunakan pada industri manufaktur” (Widyaningrum, 2013). Proses frais adalah proses pengurangan material untuk membentuk suatu produk dengan cara memutar alat potong (cutter) yang dipasang pada arbor sehingga tiap giginya melakukan pemakanan dengan menggerakkan benda kerja melalui meja yang dapat bergerak ke kiri atau ke kanan (Yanuar, et al.,2014:27) Berbagai macam bentuk produk dapat diproduksi dengan proses frais. Proses pengefraisan banyak digunakan

dalam pembuatan komponen yang mempunyai fitur berupa profil dan juga trajectory yang kompleks. Sebagai contoh, proses pengefraisan sering digunakan dalam pembuatan cetakan (mould) untuk membuat produk-produk dari bahan plastik (Suteja et al.,2008:1).

Mesin frais atau yang lebih populer disebut sebagai mesin milling pada dunia permesinan industri adalah mesin perkakas yang memiliki fungsi untuk melakukan pemrosesan sebuah part (benda) dari suatu material dengan cara memotong bagian-bagian permukaannya. Alasan menggunakan mesin frais vertikal bisa dioperasikan secara manual, mudah digunakan dengan visibilitas mesin sangat baik sehingga lebih mudah untuk mengoperasikan mesin frais vertikal, biaya pengerjaan benda menggunakan mesin frais vertikal juga lebih murah, dan mayoritas industri pengerjaan logam di era sekarang banyak menggunakan mesin frais vertikal (<https://caramesin.com>).

Proses frais pada umumnya digunakan untuk membentuk dan memotong berbagai jenis material, termasuk stainless steel. Stainless steel atau baja tahan karat adalah baja paduan yang memiliki sifat ketahanan terhadap pengaruh oksidasi dan korosi (karat). Stainless steel merupakan logam paduan dari beberapa unsur logam yang dipadukan dengan komposisi tertentu yang secara luas digunakan dalam industri kimia, makanan dan minuman, industri yang berhubungan dengan air laut dan semua industri yang memerlukan ketahanan korosi (Raharjo, 2015).

Pemotongan dalam proses frais yang mempengaruhi kekasaran yaitu kecepatan putar mesin dan kecepatan potong. Kesesuaian kedua parameter

pemotongan tersebut diukur berdasarkan indikator kualitas permukaan, yakni tingkat kekasaran permukaan benda kerja setelah dipotong dengan mesin frais. (Djonni Bangun, 2012).

Dalam tugas akhir ini difokuskan pada penggunaan material dan pahat pemotong untuk mengetahui pengaruh terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan. Diharapkan dari hasil pengujian dengan variasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan diperoleh hasil kekasaran permukaan terendah.

1.2 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui efek kecepatan potong dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai terendah pada benda kerja stainless steel 304 pada proses frais vertikal.
2. Mengetahui efek kecepatan potong dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan nilai tertinggi pada benda kerja stainless steel 304 pada proses frais vertikal.
3. Mengetahui dampak keseluruhan parameter kecepatan potong dan kedalaman pemakanan pada setiap spesimen terhadap kualitas kekasaran permukaan benda kerja stainless steel 304 pada proses frais vertikal.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas maka batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan mesin frais vertikal.
2. Material yang diuji pada penelitian ini adalah Baja Stainless Steel 304.
3. Menggunakan pahat end mill HSS diameter 12 mm.
4. Diameter benda yang dikerjakan 31,5 mm dan tinggi benda 24 mm.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Manufaktur

Proses Manufaktur merupakan suatu proses permesinan maupun proses manual untuk mengubah bahan dasar menjadi barang jadi atau setengah jadi sehingga siap untuk diproduksi. Bahan dasar ini dapat dibuat dari berbagai cara dan proses.

Teknik manufacturing adalah proses produksi sebuah produk dimana teknik ini mempelajari semua hal yang berhubungan dengan proses produksi (Turner 2000:53), termasuk hal – hal berikut ini:

1. Mengevaluasi dapat atau tidaknya sebuah barang untuk diproduksi.
2. Memilih jenis serta parameter dari proses produksi, seperti komponen produksi alat yang digunakan, dan lain-lain.
3. Merancang peralatan pembantu serta mengatur posisi dari benda kerja.
4. Mengestimasi biaya produksi.
5. Menjamin kualitas dari produk yang diproduksi.

2.2 Permesinan

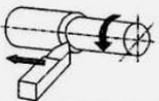
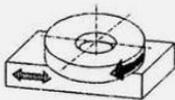
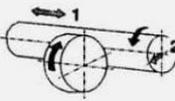
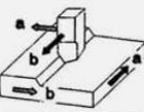
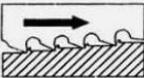
Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang di

inginkan. Pada proses ini tentu terdapat sisa dari pengerjaan produk yang biasa disebut geram (Widarto, 2008).

Klasifikasi proses permesinan dibagi menjadi tiga, yaitu menurut jenis gerakan relatif pahat/perkakas potong terhadap benda kerja, jenis mesin perkakas yang digunakan, dan pembentukan permukaan.

Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua macam komponen gerakan yaitu gerak potong (*cutting movement*) dan gerak makan (*feeding movement*). Berdasarkan jenis kombinasi dari gerak potong dan gerak makan tersebut, maka proses permesinan dapat dikelompokkan menjadi tujuh macam proses yang berlainan sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2.1. Selain ditinjau dari segi gerakan dan segi mesin yang digunakan proses permesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan.

Pembentukan permukaan silindrik atau konis meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Sedangkan pembentukan permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja meliputi proses sekrap (*shaping planing*), proses slot (*sloting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Widarto, 2008).

Jenis proses		Gerak potong →	Gerak makan →
Bubut		benda kerja m/min	pahat mm/min
Gurdi		pahat m/min	pahat mm/min
Freis		pahat m/min	benda kerja mm/min
Gerinda rata		pahat m/s	benda kerja
Gerinda silindrik		pahat m/s	benda kerja 1&2
Sekrap meja (a) Sekrap (b)		\underline{a} benda kerja \underline{b} pahat m/min	\underline{a} pahat \underline{b} benda kerja m/min
Parut dan Gergaji		pahat m/min	

Gambar 2. 1 Klasifikasi Proses Permesinan Menurut Gerakan Relatif Pahat/Perkakas Potong Terhadap Benda Kerja (Sumber:Rochim,1993)

2.3 Mesin Frais

Mesin frais (*milling machine*) merupakan salah satu mesin perkakas untuk mengerjakan/menyelesaikan suatu benda kerja dengan cara mengurangi volume menggunakan pisau frais (*cutter*) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. Mesin frais termasuk mesin perkakas yang memiliki prinsip kerja memutar alat potong (*cutter*) untuk proses pemakanan. *Cutter* dipasang pada sumbu mesin yang dibantu dengan alat pendukung yang disebut arbor, jika arbor mesin tersebut berputar melalui suatu putaran motor listrik maka *cutter* yang

terpasang pada arbor akan ikut berputar. Arbor pada mesin frais dapat berputar ke arah kiri maupun kanan, dan kecepatan putar arbor dapat diatur sesuai kebutuhan (Daryanto, 2006:33).

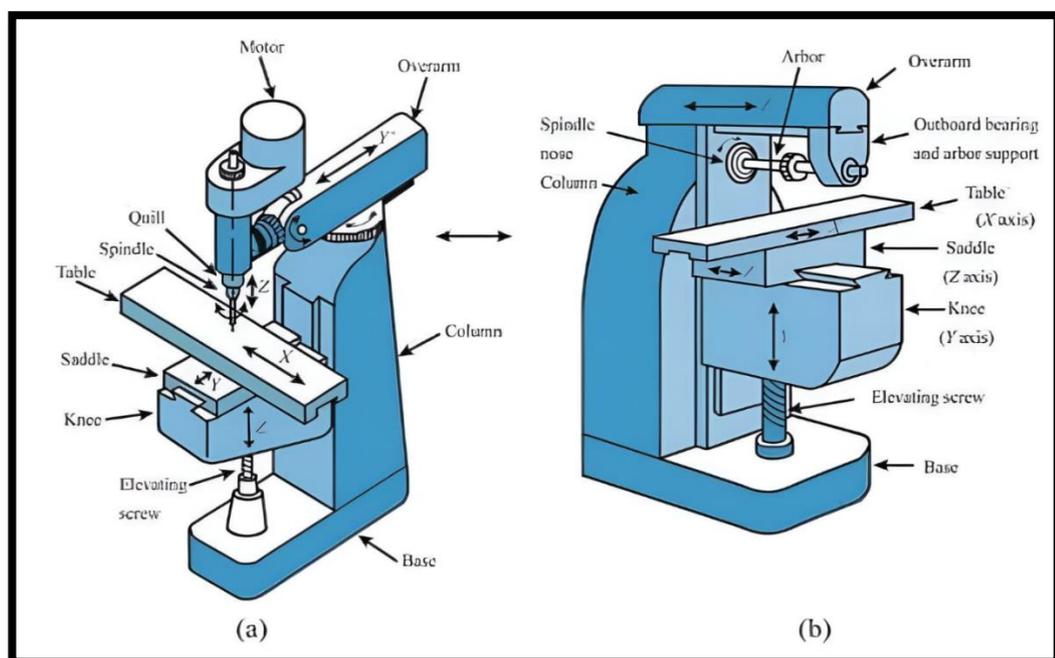
Kegunaan mesin frais pada industri pemesinan cukup banyak, diantaranya untuk:

1. Meratakan permukaan benda kerja,
2. Mengefrais alur tepi yang saling tegak lurus,
3. Membuat suatu alur lurus dan melingkar pada suatu komponen mesin,
4. Membuat jajaran lubang lurus dan melingkar,
5. Mengerjakan batang bergigi,
6. Dengan bantuan kepala pembagi dapat untuk membuat roda gigi lurus, roda gigi cacing, roda gigi payiung roda gigi helik, dan lain-lain (Sugiri, et al., 2011:6).

Mesin frais ada yang dikendalikan secara mekanis maupun secara otomatis menggunakan pemrograman. Mesin frais yang digerakkan secara manual sering disebut mesin frais konvensional, sedangkan mesin frais yang digerakkan secara otomatis menggunakan pemrograman disebut mesin frais *CNC*. Pada mesin frais konvensional sangat dituntut kemampuan dan keterampilan dari operatornya.

Mesin frais konvensional posisi spindel ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal. Yang membedakan dari keduanya adalah pada mesin frais vertikal kepala spindelnya dapat diputar yang memungkinkan penyetelan spindel dalam bidang vertikal pada setiap sudut dari vertikal sampai horizontal. Perbedaan lainnya yaitu “mesin frais vertikal mempunyai perjalanan spindel aksial yang pendek untuk memudahkan pengefraisan bertingkat” (Priambodo, 1979: 169).

Proses pemotongan dengan menggunakan gigi potong yang banyak mengitari pisau ini dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat dan efisien. Daryanto (2007: 63) mengatakan “pahat mesin frais berbentuk melingkar dan dipasang pada sumbu utama yang berputar bersama gerakan mesin, ia berputar dan memakan atau menyayat benda kerja, sedang benda kerjanya berjalan sepanjang alas mesin”.



Gambar 2. 2 (a) Mesin Frais Vertikal (b) Mesin Frais Horizontal

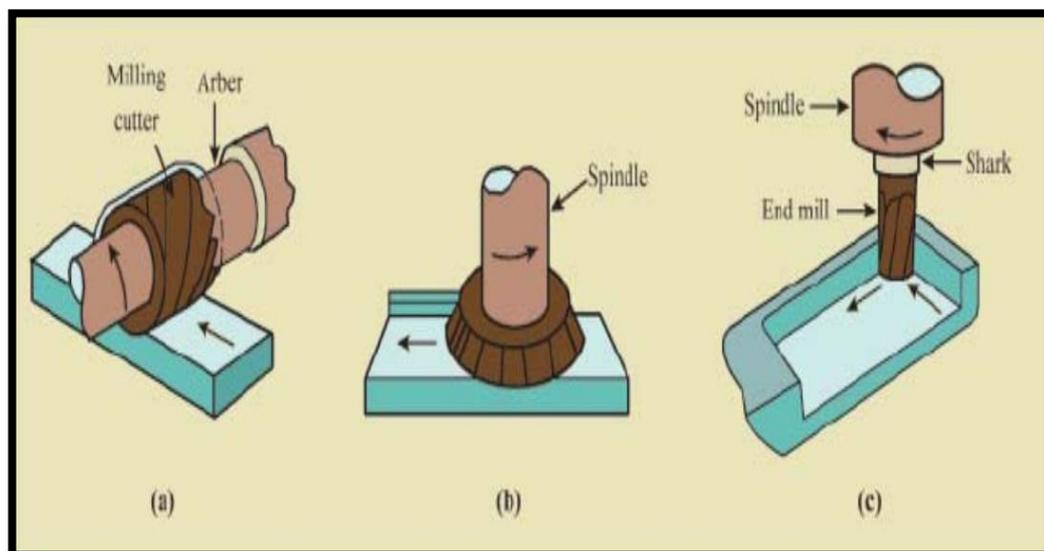
2.3.1 Prinsip Kerja Mesin Frais

Prinsip kerja mesin frais dibagi menjadi 2 jenis gerakan, yaitu gerakan memutar pahat (*main drive*) dan gerakan pemakan (*feed drive*). Penggerak utama pada mesin frais adalah motor listrik yang digunakan untuk memutar spindle kemudian di teruskan ke arbor yang merupakan tempat pemasangan mata pahat yang dapat memegang mata pahat dengan sangat kuat dan dapat berputar. Lalu

benda kerja terpasang pada ragum yang berada di atas table, sehingga benda kerja dapat digerakkan untuk mengatur pemakanannya.

2.3.2 Klasifikasi Proses Frais

Proses pemesinan frais adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja (Widarto,2008: 191).



Gambar 2. 3 Klasifikasi Proses Frais. (a) Proses *slab milling*, (b) Proses *face milling*, (c) Proses *end milling*

a. Frais Periperal (*Slab Milling*)

Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat

potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

b. Frais Muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau.

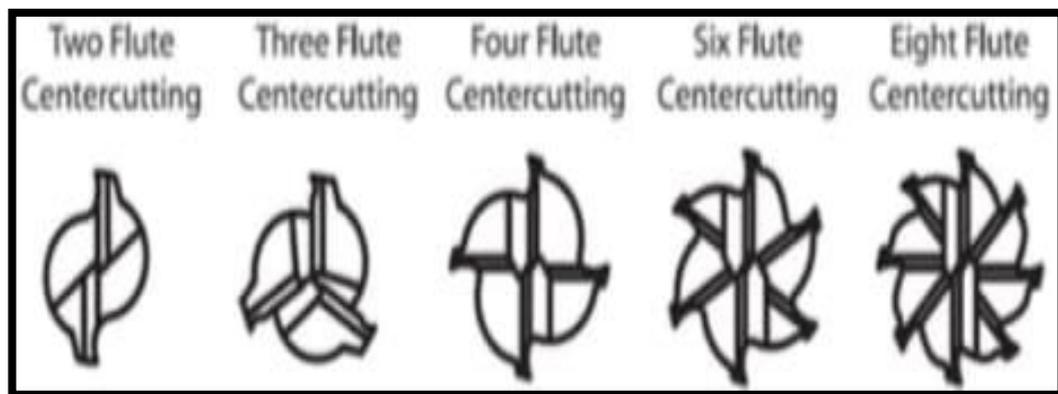
c. Frais Jari (*End Milling*)

Pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.

Masing-masing proses frais mempunyai kekurangan dan kelebihan masing-masing. Pemilihan proses dilakukan berdasarkan benda kerja yang akan dikerjakan. Proses frais *slab milling* lebih cocok digunakan untuk benda kerja yang lebar karena diameter dan lebar pahat lebih besar dibanding proses *face milling* dan *end milling*. Schonmetz dkk. (1985: 170) mengatakan bahwa perautan (pengefraisian) muka lebih ekonomis dan menghasilkan kondisi penyerpihan yang baik dari pada perautan (pengefraisian) giling (*slab milling*). Proses perautan ini dapat dilakukan dengan baik pada mesin frais tegak dan berlaku pada proses end milling karena penampang serpih (tatal) tetap kira-kira sama untuk setiap gigi peraut selama penyayatan.

Proses *end milling* menggunakan pisau jari (*end mill*) dimana pisau ini merupakan salah satu pisau yang paling banyak digunakan dalam proses

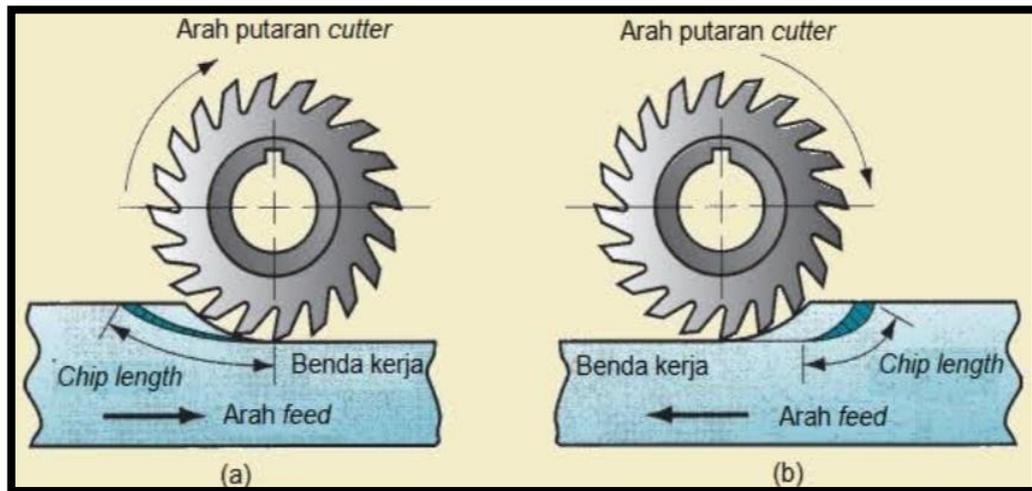
milling. Biasanya pisau ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (*HSS*) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). Pisau ini digunakan untuk menyayat permukaan (*surface*), membuat alur, atau digunakan untuk menyayat posisi miring. Menurut Rachmanta (dalam Daryanto, 2007) mengatakan bahwa pisau end mill memiliki berbagai macam bentuk berdasarkan jumlah mata potong atau alur (*flute*). Pahat end mill biasanya terdiri dari dua mata potong, tiga, empat, enam, dan delapan mata potong.



Gambar 2. 4 Macam-Macam Jumlah Mata Pahat Berdasarkan Mata Potongnya

2.3.3 Mekanisme Proses Frais

Proses kerja mesin frais adalah perkakas potong (*cutter*) memiliki gerakan berputar, sedangkan benda kerja terpasang di ragum atau *clamp*. Mekanisme proses frais ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja mesin frais terhadap putaran pahat. Mekanisme proses frais ada dua yaitu frais naik dan frais turun.



Gambar 2. 5 Mekanisme Proses Frais. (a) *Up Milling (Conventional Milling)*, (b) *Down Milling (Climb Milling)*

a. *Up Milling (Conventional Milling)*

Merupakan proses pemakanan yang mempunyai arah gerak gigi pahat berlawanan dengan arah pemakanan (*feed*) saat pemotongan. Dikarenakan gaya resultan (FR) yang terjadi ke arah atas pada proses *Conventional milling* maka benda kerja mendapatkan gaya angkat ke atas. Proses ini biasa di gunakan untuk proses *finishing* atau proses akhir, tetapi pahat ini cepat mengalami keausan dalam penggunaannya.

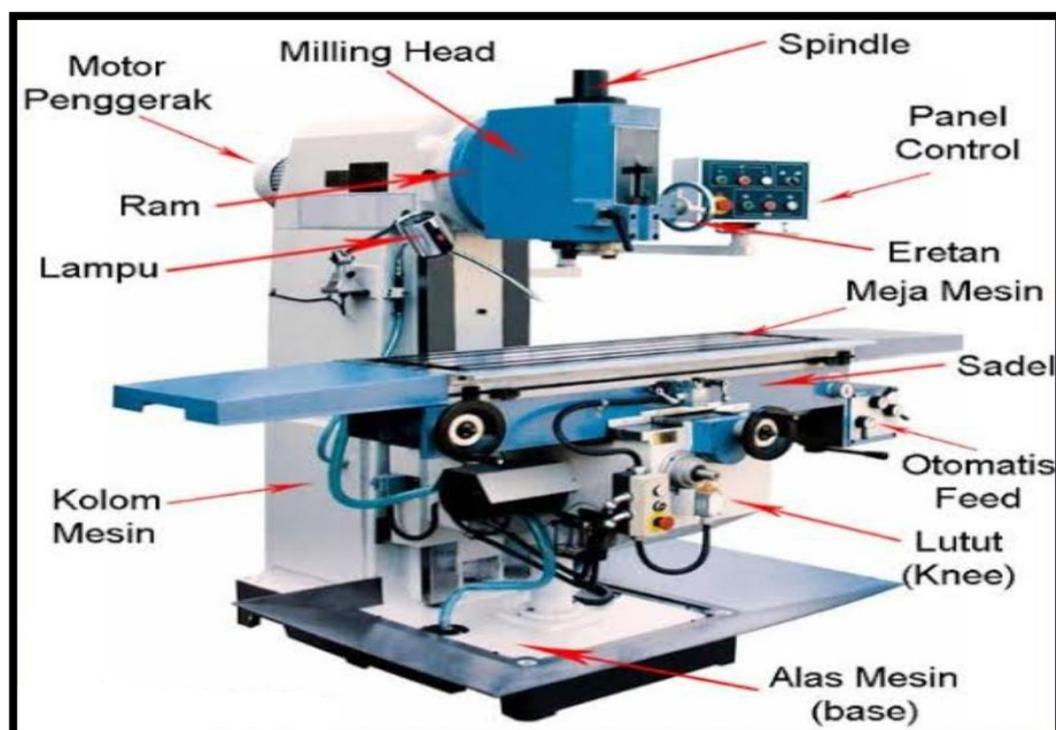
b. *Down Milling (Climb Milling)*

Merupakan Proses pemakanan yang mempunyai arah gerak gigi pahat searah dengan pemakanan (*feed*) saat pemotongan. Gaya resultan (FR) yang dimiliki pada proses *climb milling* lebih besar dari pada proses *conventional milling* sehingga proses pemakanannya lebih cepat. Proses ini juga biasa digunakan untuk pengkasaran (*roughing*). Gaya resultan yang terjadi pada proses ini mengarah ke benda kerja sehingga benda kerja dapat tertahan dalam

kedudukan yang tetap. Tetapi proses *climb milling* dapat mengakibatkan terjadinya gaya dorong pahat melebihi gaya dorong meja kerja (*backlash*). Kerusakan spindle dapat terjadi apabila proses pemakanan dilakukan terlalu cepat. Keadaan ini karena pahat akan mendaki (*climb*) benda kerja dan tidak melakukan proses pemotongan (Rochim, 1993:19).

2.3.4 Komponen-Komponen Mesin Frais Vertikal

Mesin frais vertikal adalah mesin frais dengan pisau potong yang memiliki sumbu vertikal. Sumbu pisau potong tersebut, tegak lurus dengan meja mesin. Secara umum, mesin frais berfungsi untuk mengurangi volume benda kerja. Mesin frais bisa digunakan untuk membuat roda gigi, paralel, alur, dan lain-lain.



Gambar 2. 6 Komponen-Komponen Mesin Frais Vertikal

Adapun komponen-komponen pada mesin frais vertikal adalah sebagai berikut.

1. Alas Mesin (Base)

Alas Mesin Merupakan komponen yang ada di bagian paling bawah mesin. Fungsi bagian yang satu ini adalah sebagai pondasi mesin frais dan sebagai tempat untuk membuang coolant. Seluruh beban mesin frais ditopang oleh alas mesin ini, sehingga pembuatan bagian in harus menggunakan bahan dan proses tertentu agar bagian alas mesin bisa tahan terhadap tekanan yang tinggi. Bahan yang digunakan untuk membuat bagian alas mesin adalah besi cor.

2. Kolom Mesin

kolom mesin yang fungsinya adalah sebagai tempat kedudukan atau penopang berbagai bagian mesin, misalnya tuas, spindle, motor penggerak, dan lainnya. Bagian yang posisinya tegak mempunyai fungsi untuk mendukung gerak naik dan turunnya bagian lutut sehingga meja dan sadel bisa bergerak ke bawah dan ke atas. Posisi kolom mesin ini berdiri dengan kokoh dan tegak dan berfungsi sebagai dudukan, patokan, dan rumah untuk roda gigi pada mesin.

3. Lutut (Knee)

Komponen ini mempunyai dua alur yang saling tegak lurus. Salah satunya dipasangkan dengan sadel sedangkan yang lainnya dipasangkan dengan bagian kolom mesin. Lutut mesin frais yang terbuat dari bahan besi cor bisa digerakkan hanya secara vertikal saja. Di dalam komponen ini ada banyak roda gigi yang akan fungsinya mengatur gerakan agar terjadi otomatis. Gerakan otomatis bisa mundur, maju, ke kiri, atau ke kanan. Bagian lutut juga bisa dikunci di bagian kolom sehingga menjadi lebih kuat ketika proses pengefraisan berlangsung.

4. Sadel

Bagian mesin frais berikutnya berada di antara meja dan lutut mesin frais. Bentuknya persegi dan dibuat dari bahan besi cor. Komponen ini mempunyai alur yang dipasangkan dengan lutut. Sadel bisa digerakkan maju dan mundur mendekati kolom dan bisa dikunci ke bagian lutut saat dibutuhkan.

5. Meja Mesin

Komponen ini terbuat dari bahan besi cor dan posisinya ada di bagian atas sadel. Fungsi utama komponen ini adalah untuk mengikat suatu benda kerja saat proses pengefraisan berlangsung. Meja ini bisa dikunci ke bagian sadel sehingga tidak akan bergetar ketika proses pengefraisan sedang berjalan. Gunakan berbagai perlengkapan untuk memasang pisau frais dan benda kerja.

6. Spindle

Spindle adalah bagian yang sangat penting. Fungsi bagian ini adalah sebagai tempat untuk menahan alat potong di mesin frais versi vertikal. Spindle juga bisa digunakan sebagai tempat arbor, terutama di mesin frais versi horisontal. Saat proses pengefraisan, mesin akan menggerakkan bagian ini dan alat potong pun bisa berputar.

7. Milling Head

Milling Head merupakan komponen yang posisinya ada di bagian atas dari mesin frais, terutama yang versi vertikal. Komponen ini terdiri dari motor penggerak, spindle, serta mekanisme pengendali yang lainnya.

8. Arbor

Arbor merupakan bagian mekanis dari mesin frais. Berfungsi sebagai ekstensi spindle pada mesin frais horizontal. Arbor juga berfungsi sebagai pemegang alat potong (pisau frais) dan berputar sesuai arah pemakanan alat potong.

9. Ram

Ram merupakan sebuah lengan pada mesin frais versi vertikal yang bentuknya menjorok. Ujung ram dihubungkan secara langsung dengan bagian kolom mesin. Ujung lainnya dihubungkan dengan milling head.

10. Motor Penggerak

Motor penggerak adalah bagian mesin frais yang fungsinya mengubah energi listrik ke energi mekanik. Motor penggerak ini akan memberikan tenaga pada mesin frais sehingga bisa bergerak dan bekerja.

11. Lampu Penerangan

Lampu penerangan di mesin ini akan memberikan cahaya yang membantu proses pengefraisan sehingga operator bisa melihat dengan lebih jelas.

12. Otomatis Feed

Sistem otomatis ini digunakan untuk menggerakkan meja secara otomatis. Kecepatannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

13. Pisau Frais

Pisau frais merupakan alat potong yang digunakan untuk menyayat benda kerja pada proses pengefraisan. Ada berbagai jenis pisau frais yang dapat

digunakan dengan bentuk dan fungsi yang berbeda-beda. Sehingga operator bisa lebih efektif dalam membentuk atau memproduksi benda kerja.

14. Panel Control

Panel Control berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran spindle mesin frais. Operator dapat memilih kecepatan untuk proses pengefraisan sesuai dengan kebutuhan. Sehingga pekerjaannya dapat dikerjakan dengan lebih efektif.

15. Handle

Handle pada mesin frais berfungsi untuk menggerakkan meja mesin secara manual. Baik itu secara vertikal maupun horizontal.

16. Sistem Pendingin

Sistem pendingin berfungsi untuk mengalirkan cairan pendingin atau bromus pada saat proses penyayatan benda kerja. Sistem ini dapat digunakan ketika dibutuhkan saja. Sistem pendingin pada mesin frais terdiri dari beberapa bagian, mulai dari pompa air, selang, dan sistem pembuangan cairan coolant yang berada di alas mesin frais.

2.4 Parameter Pemotongan Pada Mesin Frais

parameter pemotongan pada proses pengefraisan adalah informasi berupa dasar-dasar perhitungan, rumus, dan tabel-tabel yang mendasari teknologi proses pemotongan/ penyayatan pada proses pengefraisan. Parameter pemotongan pada mesin frais meliputi Kecepatan Potong (Cutting Speed/ Cs), Kecepatan Putaran Mesin (Revolution Permenit/ Rpm), Kecepatan Pemakanan (Feed/ F) dan Waktu Proses Pemesinannya.

2.4.1 Kecepatan Potong (Cutting Speed/ Cs)

Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang dipertimbangkan antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, diameter pisau, dan hasil kehalusan permukaan yang diinginkan. Kecepatan potong merupakan jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit (Widarto, 2008).

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) dikalikan dengan kecepatan putaran mesin (n). Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja (Suhardi, 1999 :74).

$$Cs = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ m/menit} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Cs = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter cutter (mm)

n = Kecepatan Putaran Mesin (rpm)

$\pi = 22/7$ atau 3,14

Selain dengan rumus, kecepatan potong sudah ditentukan standarnya berdasarkan bahan yang digunakan, berikut ini adalah tabel kecepatan potong pada mesin frais.

Tabel 2. 1 Kecepatan Potong Pada Mesin Frais (Sumber : Krar, Gill. Smid, 2011:470)

Material	High Speed Steel Cutter		Carbide Cutter	
	ft/menit	m/menit	ft/menit	m/menit
<i>Alloy steel</i>	40 – 70	12 – 20	150 – 250	45 – 75
<i>Aluminium</i>	500 – 1000	150 – 300	1000 – 2000	300 – 600
<i>Bronze</i>	65 – 120	20 – 35	200 – 400	60 – 120
<i>Cast iron</i>	50 – 80	15 – 25	125 – 200	40 – 60
<i>Free machining steel</i>	100 – 150	30 – 45	400 – 600	120 – 180
<i>Machine steel</i>	70 – 100	21 – 30	150 – 250	45 – 75
<i>Stainless steel</i>	30 – 80	10 – 25	100 – 300	30 – 90
<i>Tool steel</i>	60 – 70	18 – 20	125 – 200	40 – 60

2.4.2 Kecepatan Putaran Mesin

Kecepatan potong digunakan untuk menentukan kecepatan putaran mesin.

Kecepatan Putaran mesin merupakan putaran cutter dalam satuan rpm.

$$n = \frac{Cs \times 1000}{\pi \times d} \text{ rpm} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: n = putaran mesin (rpm)

d = diameter cutter (mm)

Cs = kecepatan potong (m/menit)

$\pi = 22/7$ atau 3,14

2.4.3 Kecepatan pemakanan (feed rate)

Sumbodo (2008: 304) berpendapat bahwa “yang dimaksud dengan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau feed permenit”. Hal ini menyatakan bahwa kecepatan pemakanan berbeda dengan kecepatan potong. Kecepatan potong disimbolkan dengan C_s lebih menekankan kepada istilah kecepatan potong yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan. Kecepatan potong yang diijinkan (C_s) digunakan untuk menentukan rpm atau kecepatan putaran mesin. Sedangkan hantaran atau feed rate (V_f) lebih menekankan pada pengertian kecepatan laju pemakanan meja frais pada saat melakukan proses penyayatan benda kerja.

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 (f_z) 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:

$$V_f = n \cdot f_z \cdot z_n \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan : V_f = feed rate (mm/menit)

n = kecepatan putaran mesin (rpm)

f_z = feed per gigi (mm)

z_n = jumlah mata pisau

2.4.4 Kedalaman Pemakanan

Menurut Rahdiyanta (2010: 8) “kedalaman potong ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir”. Tebal pemakanan dapat dipilih berdasarkan bahan benda kerja, pisau yang digunakan, mesin, sistem pencekaman, dan kecepatan potong.

Pisau yang digunakan untuk proses finishing sebaiknya dipilih pisau frais yang ukuran giginya relatif kecil, dengan kecepatan potong dipilih yang maksimal dari kecepatan potong yang diijinkan untuk pasangan pisau dan benda kerja yang dikerjakan. Dengan demikian rumus kedalaman pemakanan adalah:

$$a = \frac{d_o + d_m}{2} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan : a = Kedalaman Pemakanan (mm)

d_o = Diameter awal (mm)

d_m = Diameter akhir (mm)

2.5 Baja

Baja merupakan logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan kadar karbon maksimum 1,7%. Paduan antara besi dan karbon dengan kadar karbon 1,7% sampai 3,5% dinamakan besi cor. Besi cor adalah baja yang mempunyai kadar karbon rendah (Indiyanto, 2005). Besi dan baja merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Suarsana (2017 : 32) mengkasifikasikan jenis- jenis baja antara lain:

- a. Menurut penggunaannya; baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja. perkakas, dan lainnya.

- b. Menurut kekuatannya ; baja kekuatan lunak, baja kekuatan tinggi
- c. Menurut komposisi kimianya; baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lainnya. Berikut baja karbon menurut komposisi kimianya :

1) Baja Karbon ringan

Baja ini memiliki kadar karbon sampai 0,2 %, sangat luas penggunaannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tetapi keuletannya liuggi, mudah dibentuk dan dimachining. Baja ini tidak dapat dikeraskan.

2) Baja Karbon menengah

Baja ini memiliki kadar karbon 0,25-0,55 %, lebih kuat dan keras, dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan low carbon steel, digunakan untuk yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Juga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, dan lainnya.

3) Baja Karbon tinggi

Baja ini memiliki kadar karbon lebih dari 0,55 %, lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk perkakas, yang biasanya memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, hamer, tap dan perkakas tangan yang lain.

4) Baja paduan rendah

Baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10 %), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan

kadar karbon yang sama atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Hardenability dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik. Banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

5) Baja paduan tinggi

Baja paduan dengan kadar unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, baja tahan karat (stainless steel), baja perkakas (tool steel, misalnya High Speed Steel atau HSS), baja tahan panas (heat resisting steel) dan lain-lain. Baja paduan tinggi merupakan baja yang berat elemen paduannya lebih dari 10% (Amanto dan Daryanto, 1999).

2.6 Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Baja tahan karat merupakan baja paduan tinggi dengan kandungan unsur kromium minimal 10%, sehingga mempunyai sifat tahan korosi. Selain unsur kromium terdapat unsur tambahan lain yaitu Ni, Mo, Mn, Al, Cu, Ti, C, dan Nb (Yunaidi, 2016).

Pengaruh unsur tambahan dalam baja tahan karat antara lain:

a. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah unsur yang sangat penting dalam pembuatan baja tahan karat. Nikel dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan serta ketahanan terhadap korosi.

b. Molibdenum (Mo)

Molibdenum (Mo) berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan baja terhadap korosi.

c. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik. Selain itu, dapat mengurangi distorsi pada baja.

d. Karbon (C)

Karbon (C) merupakan komponen utama dari baja karena dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, dan ketahanan. Unsur karbon dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, dan machinability pada baja.

e. Kromium (Cr)

Kromium (Cr) dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan, ketahanan terhadap abrasi dan korosi karena membentuk lapisan pasif kromium oksida (Outokumpu, 2013).

Berdasarkan struktur kristalnya, baja tahan karat dibagi menjadi lima yaitu:

1) Baja tahan karat austenitik (austenitic stainless steel)

Austenitic stainless steel merupakan baja yang mengandung 18% Cr dan 8% Ni dengan kadar karbon rendah. Baja jenis ini diaplikasikan dalam pembuatan peralatan makanan. Baja austenitik bersifat non-magnetik, ulet, mudah dibentuk dan dilas serta tahan korosi. Tetapi, jika bereaksi dengan klorida akan menimbulkan korosi retak tegang (SCC). Jenis baja austenitik misalnya AISI 201, 202, 304, 302, dan 316 (Dewangan et al., 2015).

2) Baja tahan karat feritik (ferritic stainless steel)

Ferritic stainless steel merupakan baja dengan kandungan 11 – 27% kromium dan sedikit nikel atau tidak ada sama sekali. Tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, namun dapat dikeraskan dengan perlakuan dingin. Bersifat

magnetik, ulet, tahan terhadap korosi dan oksidasi. Jenis baja tahan karat feritik misalnya AISI 430 dan 409 (Cobb, 1999).

3) Baja tahan karat martensitik (martensitic stainless steel)

Martensitic stainless steel merupakan baja dengan kadar kromium 10,5 – 18% dan karbon sekitar 1,2% tanpa tambahan nikel. Dikeraskan melalui pendinginan cepat (quenching). Bersifat magnetik dan rapuh, sehingga diperlukan proses tempering untuk mendapatkan keuletannya. Jenis baja martensitik misalnya AISI 410 dan 440 (Davis, 1994).

4) Baja Tahan Karat Dupleks (Duplex Stainless Steel)

Duplex Stainless Steel merupakan baja dengan bentuk struktur campuran antara austenitik dan feritik, mempunyai kekuatan tarik dan luluh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis austenitik maupun feritik. Baja ini biasa digunakan dalam peralatan atau mesin yang memiliki tegangan dinamis. Tipe dari baja ini antara lain AISI 2205 dan 2304 (Yunaidi, 2016).

5) Baja Tahan Karat Pengerasan Pengendapan (Precipitation Hardenable Stainless Steel)

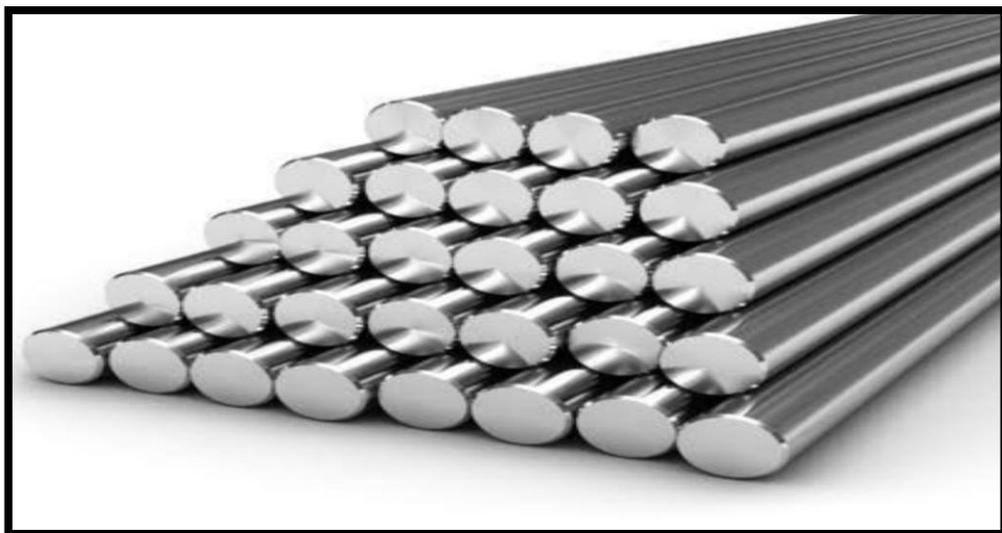
Precipitation Hardenable Stainless Steel merupakan baja dengan kandungan 11 – 17,5%Cr, 4 – 8%Ni, dan 0 – 2%Mo. Bersifat magnetik dan dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Jenis baja ini misalnya S17400 dan S13800 (Davis, 1994).

2.7 Stainless Steel 304

Stainless Steel tipe 304 merupakan baja paduan dengan kandungan Cr 18 – 20%, dan Ni 8 – 10,5% (Roberge, 2000). Baja jenis ini biasa digunakan sebagai bahan konstruksi utama dalam beberapa industri seperti industri nuklir, kimia, dan makanan. Baja ini memiliki ketahanan korosi yang baik karena terdapat lapisan kromium oksida pada permukaannya (Riszki dan Harmami, 2015). Semakin lama baja tersebut direndam dalam medium korosif, laju korosinya akan semakin menurun (Iliyasu et al., 2012). Stainless Steel 304 merupakan baja yang memiliki tingkat kekerasan rendah sekitar 123 HB dan kekuatan tarik sebesar 505 N/mm² (Nasir, 2014). Tabel 2.2 menunjukkan komposisi unsur kimia penyusun Stainless Steel 304.

Tabel 2. 2 Komposisi Unsur Kimia Stainless Steel 304 (Yunaidi, 2016)

Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
Kadar (%)	72,07	0,0423	0,57	1,1973	17,289	0,0241	8,4	0,0008	0,04



Gambar 2. 7 Baja Stainless Steel

2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Munadi (1988: 305) menjelaskan bahwa “permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pahat atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (feed) pahat ketika proses pembuatannya”. Oleh karena itu, dalam perencanaan serta pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin dan parameter pemesinan yang digunakan untuk proses pembuatannya serta berapa biaya yang harus dikeluarkan.

Tekstur permukaan adalah pola dari permukaan yang menyimpang dari suatu permukaan nominal. Penyimpangan mungkin acak atau berulang yang diakibatkan oleh kekasaran, waviness, lay, dan flaws. Kekasaran terdiri dari ketidakteraturan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakteraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi.

Dowson dan Kurfess (2004) melaporkan korelasi antara kekasaran permukaan, radius ujung pahat (nose radius) dan pemakanan seperti diberikan dengan rumus empiris berikut ini :

$$Ra = \frac{0,0321 \cdot f^2}{rc} (\mu\text{m}) \dots\dots\dots (5)$$

Berdasarkan persamaan diatas yang mana (f) merupakan pemakanan dan rc adalah radius pojok pahat dengan konstanta 0,8. Berbagai peralatan yang ada disebut profilometer permukaan yang digunakan untuk mengukur dan merekam kekasaran permukaan. Peralatan yang paling umum digunakan dengan

mengutamakan jarum piringan hitam dari intan yang berjalan sepanjang garis lurus permukaan.

Di permukaan permesinan apa pun, istilah yang digunakan untuk menggambarkan kualitas geometrisnya diketahui sebagai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan mengacu pada properti permukaan mesin. Kekasaran permukaan adalah bagian dari permukaan akhir (tekstur permukaan) yang bisa didefinisikan sebagai tanda yang ditinggalkan oleh tindakan dari proses produksi yang digunakan, seperti operasi balik. Kekasaran permukaan terdiri dari penyimpangan permukaan yang relatif tertutup atau berjarak halus biasanya dalam bentuk tanda pemakanan yang ditinggalkan oleh alat pemotong pada permukaan mesin. Diukur dengan ketinggian penyimpangan sehubungan dengan garis referensi Tekstur permukaan permukaan mesin terdiri dari tekstur primer (kekasaran) dan tekstur sekunder. Tekstur primer dapat diukur dengan berbagai indeks seperti rata-rata tinggi kekasaran aritmatika R_a , kedalaman smoothennng R_p , maksimal kekasaran R_{max} dan tinggi RMS root-mean-square.

R_a ini juga dikenal sebagai nilai rata-rata arithmatik dari kekasaran permukaan, atau rata-rata arithmatik atau rata-rata garis tengah. Secara universal R_a dikenal sebagai simbol kekasaran yang paling umum dengan satuan μm atau μinch . Pada gambar berikut menunjukkan parameter yang disebutkan. Referensi garis horizontal, yang biasanya disebut garis tengah, terletak di mana jumlah area di atas adalah sama dengan jumlah area di bawahnya (Tetelepta, 2012).

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

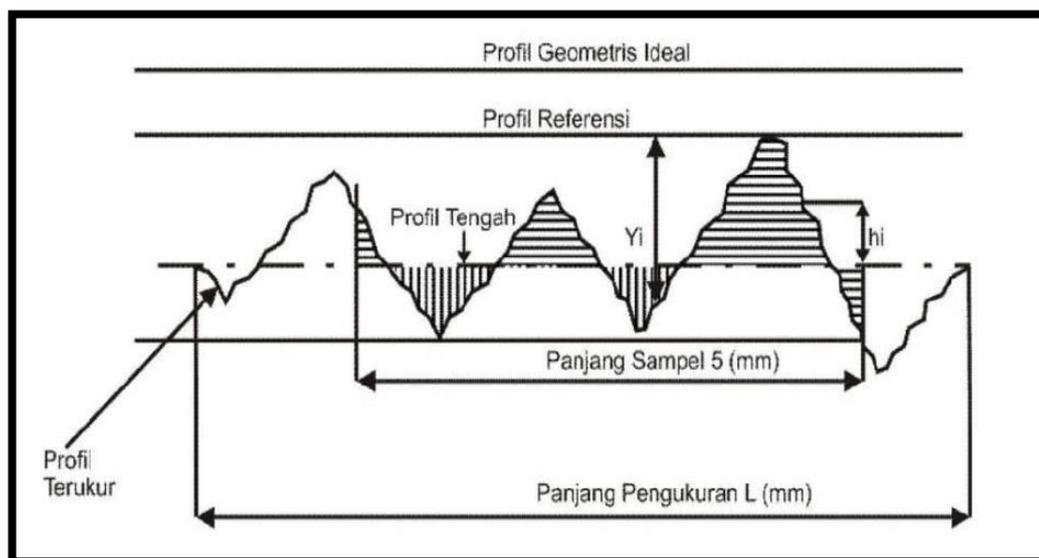
1. Ideal Surface Roughness

Kekasaran ideal (terbaik) yang bisa dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran ideal di antaranya:

- a. Getaran yang terjadi pada mesin.
- b. Ketidaktepatan gerakan bagian bagian mesin.
- c. Ketidakteraturan feed mechanism.
- d. Adanya cacat pada material.

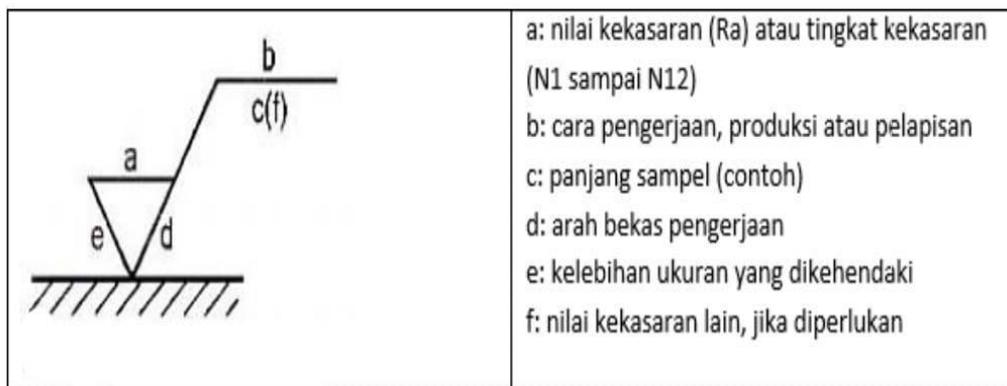
2. Natural Surface Roughness

Natural surface roughness adalah kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya berbagai faktor yang mempengaruhi proses permesinan tersebut. Sebelum membahas parameter permukaan perlu diketahui terlebih dulu mengenai profil permukaan



Gambar 2. 8 Profil Suatu Permukaan (Sugiyanto, 2018)

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses pemesinan, baik itu proses bubut, sekrap, milling, akan mengalami perubahan pada bentuk pada permukaannya walaupun hal tersebut terkadang tidak dapat hanya dilihat dengan kasat mata, namun apabila diperhatikan dengan seksama menggunakan alat bantu, maka akan terlihat perubahan yang terjadi pada permukaan tersebut setelah mengalami proses pemesinan. Yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan. berikut yang menerangkan simbol-simbol kekasaran permukaan :



Gambar 2. 9 Lambang Kekasaran Permukaan (Azhar, 2014)

Angka yang ada pada simbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (R_a). Nilai R_a telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.3 (Azhar, 2014).

Tabel 2. 3 Angka Kekasaran Permukaan (Azhar, 2014)

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	0,25
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	