

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Cahyono, dkk (2017) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Variasi Kecepatan Spindel Dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Stanlees Steel AISI 304 Pada Proses Frais Konvensional Dengan Metode Taguchi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari parameter pemotongan (Kecepatan spindle dan Kedalaman Pemakanan) serta mengetahui kombinasi yang optimal dari parameter pemotongan tersebut agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil. Variabel pada penelitian ini yaitu Kecepatan spindle dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dan etode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode Taguchi, pada penelitian ini di dapatkan hasil dimana Kecepatan spindle mempunyai pengaruh yang berbanding terbalik terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu semakin tinggi kecepatan spindle maka nilai kekasaran permukaan akan semakin kecil dan sebaliknya. Sedangkan kedalaman pemakanan mempunyai pengaruh yang berbanding lurus terhadap nilai kekasaran permukaan yaitu semakin tinggi kedalaman pemakanan maka nilai kekasaran permukaan semakin besar dan sebaliknya.

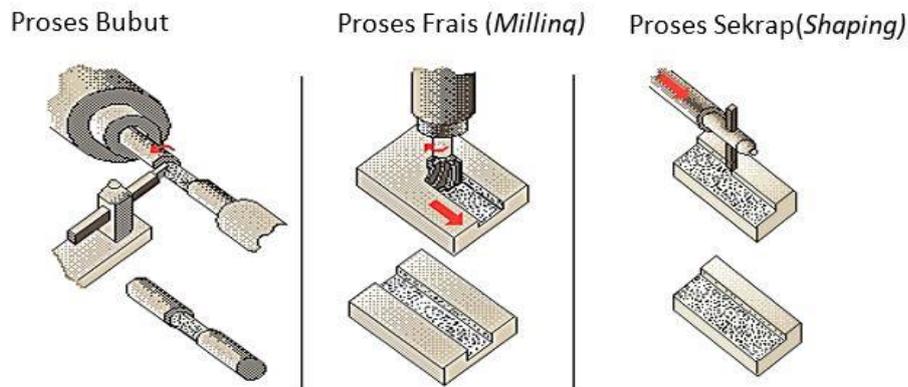
Prayoga, dkk (2020) dalam penelitiannya yang berjudul Analisa pengaruh Variasi Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Proses Frais, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekasaran permukaan pada baja ST 37 terhadap variasi kedalaman pemakanan dengan kecepatan konstan, dengan variabel yang digunakan yaitu kedalaman pemakanan, kecepatan potong (V_c) dan metode yang digunakan adalah metode Eksperimental, pada penelitian ini menghasilkan dengan menggunakan kecepatan potong V_c yang konstan, Semakin tinggi kedalaman pemakanan maka nilai kekasaran permukaan semakin besar.

Ribowo, (2020) pada penelitiannya yang berjudul Pengaruh sudut penyayatan endmill cutter dan arah pemakanan terhadap keausan endmill cutter pada pengefraisan baja st 40, dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan, yaitu sudut penyayatan *endmill cutter* dan arah pemakanan terhadap keausan *endmill cutter* pada pengefraisan baja ST 40, dengan variabel yaitu Sudut penyayatan *endmill cutter* , arah pemakanan terhadap keausan *endmill cutter*, dimana penelitian ini menggunakan metode Desain eksperimen factorial, pada penelitian ini menghasilkan dimana sudut penyayatan *endmill cutter* yang besar, akan meyebabkan mata potong lancip. Tajam pada saat awal penyayatan, namun seiring pertambahan waktu pemakanan akan mudah mengalami keausan. Sudut penyayatan *endmill cutter* yang kecil, akan menyebabkan mata potong tumpul. Mata potong menjadi tidak tajam. Akibatnya gaya pemotongan semakin besar, sehingga gesekan dengan benda kerja juga semakin besar, yang menyebabkan keausan mulai tumbuh linear sesuai waktu pemakanan. Arah pemakanan pada proses *endmilling* Baja ST 40 menggunakan mesin frais konvensional dengan hasil keausan *endmill cutter* terkecil adalah pemakanan berlawanan arah.

2.2 Klasifikasi Proses Pemesinan

Pengelompokan proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam kedalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*) dan pengepresan (*pressing*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*) dan proses sekrap (*shaping*).

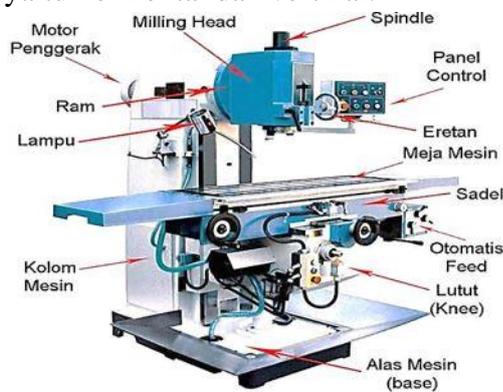
Prinsip pemotongan logam pada proses pemesinan dilakukan dengan cara memotong bagian benda kerja yang tidak digunakan menggunakan pahat (*cutting tool*), sehingga permukaan benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Pada proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, pahat yang digunakan dipasang pada satu jenis mesin perkakas dengan gerakan tertentu (berputar atau bergeser) disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat. Pahat yang digunakan dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tool*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cutting tool*) (Rahdiyanta, 2010).



Gambar 2. 1 Proses pemotongan pada mesin perkakas
 Sumber : (Rahdiyanta, 2010)

2.3 Proses Pemesinan Frais (Milling)

Proses pemesinan dengan mesin frais merupakan proses pemotongan benda kerja yang sangat efektif karena proses penyayatannya menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar (Fitriana & Suryanto, 2021). Hasil proses penyayatannya bisa berbentuk datar, menyudut, melengkung atau bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Contoh produk yang dibuat dengan menggunakan mesin frais antara lain roda gigi dan alur yang ada di poros (Firdaus, Hartono, & Lesmanah, 2021). Mesin frais konvensional posisi spindelnya ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal.



Gambar 2. 2 Bagian bagian mesin frais konvensional vertical
 Sumber: (<https://www.zurkenmachines.ca>)

Proses frais berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi pahat terhadap benda kerja dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis sebagai berikut (Widarto, 2008) :

1. Frais Periperal (*Peripheral Milling*)

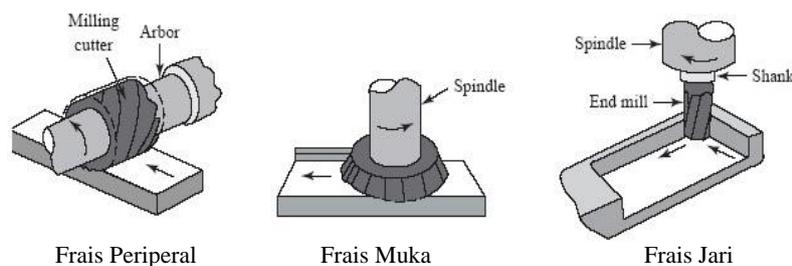
Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pahat biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

2. Frais Muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pahat 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 pahat.

3. Frais Jari (*End Milling*)

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

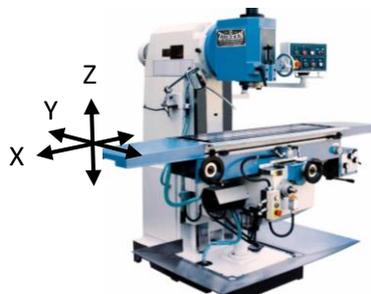


Gambar 2. 3 Klasifikasi proses frais berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan dan posisi pahat

Sumber: (Rahdiyanta, 2010)

2.3.1 Arah Pergerakan Sumbu Mesin Frais Vertikal

Pada mesin frais vertikal, proses pemakanan (*feeding*) benda kerja penyayatannya dilakukan dengan cara memutar pahat kemudian disayatkan ke benda kerja yang digerakkan menggunakan eretan meja dengan arah sumbu X,Y,Z (Firdaus, Hartono, & Lesmanah, 2021). Sumbu X,Y,Z masing-masing mewakili arah pergerakan meja memanjang (X), melintang/melebar (Y), dan arah naik turun (Z).



Gambar 2. 4 Arah Pergerakan Mesin Frais Vertikal

Sumber: (<https://www.zurkenmachines.ca>)

Meja mesin dapat digerakkan secara manual dengan memutar handle searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam dan juga dapat digerakkan secara otomatis dengan mengaktifkan handle otomatis.

2.3.2 Parameter yang Dapat Diatur Pada Mesin Frais

Maksud dari parameter yang dapat diatur adalah parameter yang dapat langsung diatur oleh

operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin frais. Parameter yang dimaksud adalah putaran spindel (n) , gerak makan (f), dan kedalaman potong. Putaran spindel bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi handel pengatur putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur handel gerak makan sesuai dengan tabel *feed* yang ada di mesin. Kedalaman potong diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pahat.

Adapun penjelasan mengenai putaran spindel (n) dan gerak makan (f) pada mesin frais adalah sebagai berikut :

1. Putaran Spindel (n)

Putaran spindel (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong (Vc). Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pahat dalam waktu satu menit. Kecepatan potong (Vc) lebih menekankan kepada istilah kecepatan yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan (Fitriana & Suryanto, 2021). Rumus kecepatan potong mesin frais identik dengan rumus kecepatan potong pada mesin bubut. Pada proses frais besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pahat.

Rumus kecepatan potong (Vc) adalah sebagai berikut : (Firdaus & Susanti, 2021)

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- Vc : Kecepatan potong (meter/menit)
- n : Putaran spindle (rpm)
- D : Diameter pahat (mm)

Dari rumus tersebut dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran spindel yang digunakan, yaitu :

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Tabel 2. 1 Kecepatan Potong (Vc)

Bahan	Cutter Frais HSS	Cutter Frais Karbida
	m/men	m/men
Baja Lunak (Mild Steel)	18-21	30-250
Besi Tuang (Cast Iron)	14-17	40-150
Perunggu	21-24	90-200
Tembaga	45-90	150-450
Kuningan	30-120	120-300
Aluminium	90-150	90-180

Sumber : (A. Gunanto & Pramono, 2017)

2. Gerak Makan (*Feed*)

Gerak makan atau *Feed* merupakan jarak yang ditempuh benda kerja setiap satu kali putaran pahat, jadi satuan dari gerak makan atau *feed* (f) yaitu mm/putaran. Gerak makan sering ditentukan berhubungan dengan kedalaman pemakanan. Gerak makan ini mempunyai nilai

antara 1/3 sampai dengan 1/20 kedalaman pemakanan (Afriany, Ilmi, Asmadi, & Effendi, 2018).

Gerak makan juga erat kaitannya dengan kecepatan pemakanan atau *feed rate* (V_f atau F). Menekankan pada kecepatan laju pemakanan meja frais pada saat melakukan proses penyayatan benda kerja (Fitriana & Suryanto, 2021).

Kecepatan pemakanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (A. Gunanto & Pramono, 2017) :

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

dimana:

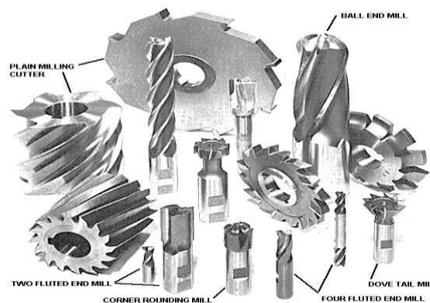
F = Kecepatan pemakanan (mm/menit)

f = Gerak makan (mm/putaran)

n = Putaran spindel (putaran/menit)

2.4 Pisau Frais

Pisau frais atau gigi pisau frais pada umumnya terbuat dari bahan-bahan *high speed steel (HSS)*, *cemented carbide* atau *cast alloy*. Pisau frais dapat dibedakan mejadi pisau frais solid dan pisau frais inserted (Rahdiyanta, 2010).



Gambar 2. 5 Pisau Frais Tipe Solid

Sumber : (Rahdiyanta, 2010)

Gambar 2. 6 Pisau Frais Tipe Insert



Sumber : (Rahdiyanta, 2010)

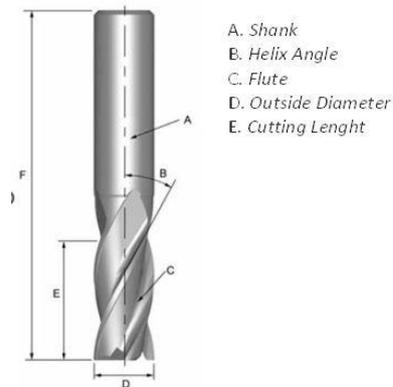
2.4.1 Pisau Frais Jari (*End Mill Cutter*)

End Mill Cutter merupakan pisau frais tipe solid dengan sisi dan gagang yang menjadi satu. *Endmill cutter* merupakan salah satu jenis pisau frais yang banyak digunakan. Ukurandan jenisnya sangat bervariasi. Pisau potong jenis ini biasa terbuat dari material baja berkecepatan tinggi (HSS), dan ada juga yang terbuat dari karbida. Pisau ini memiliki 2 atau lebih alur (*Flute*) yang biasadigunakan untuk meratakan bagian permukaan ataupun juga bisa untuk membuat alur pada bidang datar. Pisau ini umumnya dipasang pada posisi tegak (*vertical*),

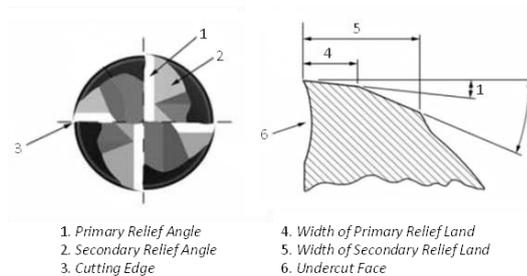
tapi pada kondisi tertentu bisa juga dipasang pada posisi melintang (*horizontal*) tergantung dari pengerjaan benda kerja itu sendiri.

Endmill cutter berpengaruh besar pada tingkat kekasaran permukaan. Jumlah *flute* dan material *endmill* tersebut sangat diperhitungkan untuk mendapat tingkat kekaaran yang baik. Penggunaan *endmill* dengan mata sayat 4 *flute* menghasilkan tingkat kekasaran yang lebih baik karena semakin banyak *flute* maka dapat meminimalisir tingkat gesekan antara *endmill* dengan benda kerja (Firdaus & Susanti, 2021).

Berikut adalah bagian-bagian *endmill cutter*



Gambar 2. 7 Bagian-bagian *Endmill*
 Sumber : (<http://www.drillco-inc.com>)



Gambar 2. 8 Geometri *endmill 4 flute*
 Sumber : (<http://www.drillco-inc.com>)

2.5 Material Baja ST 37

Bahan material benda kerja adalah salah satu faktor yang ikut mempengaruhi kualitas hasil proses frais. Hal ini berhubungan terhadap sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan tersebut. Sifat-sifat itu terdiri dari sifat keras, lunak dan lain-lain. Setiap bahan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

Material logam yang cukup sering digunakan adalah Baja ST 37. Baja ST 37 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon rendah, disebut juga baja lunak, Baja ST37 adalah baja yang memiliki nilai kekerasan yang cukup rendah, dengan kadar karbon sekitar 0,06% sehingga memiliki mampu keras yang tergolong rendah (Hartanto, Suprpto, & Widyastuti, 2020). Baja ST 37 adalah berarti baja yang mempunyai kekuatan tarik antara 37 kg/mm² sampai 45 kg/mm². Kekuatan tarik ini adalah maksimum kemampuan sebelum material mengalami patah. Baja jenis ini banyak sekali digunakan untuk pembuatan baja batangan, tangki, perkapalan, jembatan, menara, pesawat angkat dan dalam permesinan (Sugiyanto & Prabowo, 2018).

Baja karbon adalah unsur (Fe) yang mengandung unsur karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Baja karbon dapat memiliki unsur-unsur lain sebagai paduan dalam jumlah sedikit untuk

mendapatkan sifat tertentu. Pembagian baja karbon berdasarkan kandungan karbon yang terlarut pada logam adalah sebagai berikut (Hartanto, Suprpto, & Widyastuti, 2020):

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah memiliki kadar karbon terlarut dari 0,05% hingga 0,3%. Secara umum baja jenis ini memiliki karakteristik lunak. Baja karbon rendah memiliki ketangguhan dan mampu las yang baik, namun mampu keras yang rendah. Biasanya digunakan untuk proses pemesinan, panel kendaraan, pipa maupun kerangka bangunan.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang memiliki kadar karbon antara 0,3% - 0,6% juga bisa ada tambahan seperti Mangan (Mn) sebesar 0,6% - 1,65%. Baja karbon sedang memiliki mampu las dan ketangguhan yang baik, walaupun tidak sebaik baja karbon rendah. Baja karbon sedang memiliki karakteristik lebih keras. Baja kategori ini biasa digunakan pada aplikasi seperti poros, gandar, roda gigi, kopling.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon sebesar 0,6% - 1% yang dapat dipadu juga dengan Mangan sebesar 0,3% - 0,9%. Kandungan karbon yang tinggi membuat baja jenis ini memiliki mampu keras yang tinggi. Karena nilai tegangan tarik yang tinggi, baja karbon tinggi cocok untuk material-material yang menerima pembebanan tinggi atau rentan aus seperti pegas, atau mata pisau industri.

4. Baja karbon sangat tinggi

Baja jenis ini memiliki kandungan karbon antara 1,25% - 2%, baja karbon sangat tinggi memiliki mampu keras yang sangat baik. Kelemahannya yaitu mampu las dan ketangguhan yang rendah. Karena itu, penggunaannya terbatas pada aplikasi alat-alat yang memerlukan kekerasan tinggi seperti pisau, alat punch dan pahat tangan.

2.6 Kekasaran Permukaan

Permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran terdiri dari ketidakrataan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidakrataan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi (Sugiyanto & Prabowo, 2018).

Suatu ukuran geometris yang ideal dari sebuah komponen adalah permukaan yang halus. Dalam kenyataannya tidak mungkin mendapatkan hasil permukaan yang benar-benar halus. Ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti manusia sebagai operator dan faktor lain dari mesin yang digunakan untuk membuatnya (Firdaus & Susanti, 2021). Tingkat kerataan dan kekasaran permukaan mempunyai peran penting dalam perencanaan komponen pemesinan. Khususnya mengenai masalah gesekan, pelumasan dan keausan. Hal ini dimaksudkan agar komponen mesin yang dipakai bisa digunakan dalam jangka waktu panjang. Tingginya nilai kekasaran permukaan yang terdapat pada komponen-komponen rangkaian mesin dapat menyebabkan kerusakan salah satunya yaitu keausan yang mengakibatkan proses pengerjaan atau proses jalannya mesin akan terhambat. Oleh sebabnya tingkat kerataan dan kekasaran permukaan yang dihasilkan dari proses pengfraisan amat sangat diperhatikan agar supaya hasil dari proses pengfraisan mendapatkan kerataan dan kekasaran yang rendah (Firdaus, Hartono, &

Lesmanah, 2021).

Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan berbagai cara. Umumnya cara yang digunakan adalah dengan menyatakan penyimpangan rata-rata aritmatik dan garis rata-rata profil (R_a). Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N_1 sampai N_{12} (Munadi, 1988).

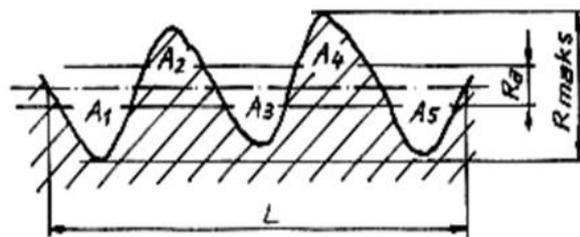
Untuk menunjukkan harga kekasaran permukaan rata-rata beserta toleransinya dapat dilihat pada tabel ISO 1302 berikut ini :

Tabel 2. 2 Nilai Kekasaran Permukaan Menurut Standar ISO 1302

<i>Roughness value (Ra)</i>		<i>Roughness grade numbers</i>
μm	μin	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12,5	500	N 10
6,3	250	N 9
3,2	125	N 8
1,6	63	N 7
0,8	32	N 6
0,4	16	N 5
0,2	8	N 4
0,1	4	N 3
0,05	2	N 2
0,025	1	N 1

Sumber : (ISO-1302, 2002)

Harga kekasaran permukaan yang lazim digunakan pada benda kerja pemesinan merupakan harga kekasaran rata-rata (R_a / roughness arithmetic) (Sueb, Yogaswara, & Darso, 2004). R_a tersebut didapat dari pengukuran suatu permukaan hasil dari pengerjaan. Hal tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 9 Harga Kekasaran R_a

Sumber : (Sueb, Yogaswara, & Darso, 2004)

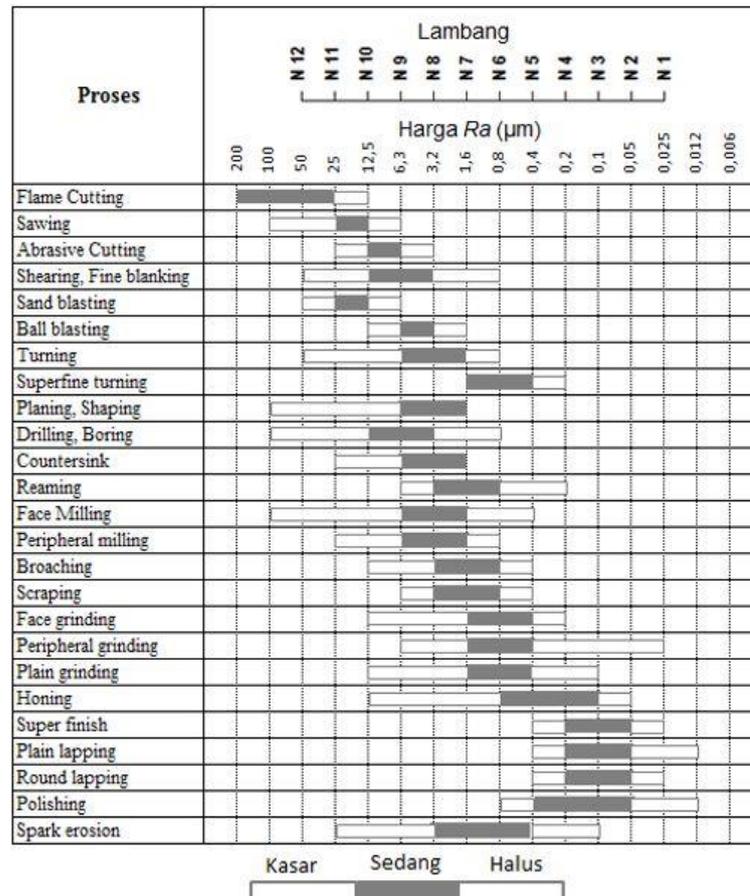
$$R_a = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

R_a : Nilai kekasaran (μm)

A_1 s.d A_5 : Luas area A_1 s.d A_5 (μm^2)

L : Panjang area yang di ukur (μm)

Tabel 2. 3 Nilai Kekasaran (Ra) Pada Proses Pemesinan



Sumber : (Sueb, Yogaswara, & Darso, 2004)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa setiap proses pemesinan memiliki kemampuan untuk mencapai harga kekasaran rata-rata (Ra) yang berbeda beda. Seperti halnya proses pemesinan frais muka yang dituntut mampu menghasilkan harga kekasaran tingkat halus antara 0,4 μm (N5) sampai dengan 1,6 μm (N7) dan kekasaran tingkat sedang antara 1,6 μm (N7) sampai dengan 6,3 μm (N9).

2.7 Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan metode statistik yang digunakan untuk meningkatkan mutu suatu produk. Metode Taguchi diperkenalkan pertama kalinya oleh Dr. Genichi Taguchi. Dalam sebuah penelitian, semakin banyak jumlah pengujian semakin lama waktu penelitian maupun biaya penelitian. Cara untuk mengurangi jumlah eksperimen salah satunya adalah dengan memakai desain eksperimen dengan metode Taguchi (Astanto, Burhanuddin, & Ibrahim, 2020).

Filosofi Taguchi terdiri dari tiga konsep, yaitu kualitas harus dirancang ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya, kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target, produk harus dirancang agar kokoh (*robust*) terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiantoro, 2020).

Ekperimen Taguchi pada umumnya dikelompokkan dalam beberapa tahapan, tahapan-tahapan tersebut antara lain sebagai berikut (Wahyudi, Suryapranatha, Nindiani, & Waluya, 2020) :

1. Tahapan Perencanaan

Tahapan perencanaan merupakan tahapan untuk mendapatkan informasi dari ekperimen yang akan dilakukan baik itu informasi positif maupun informasi negatif. Indikasi yang menjelaskan akan adanya faktor dan level yang mampu mempengaruhi peningkatan performa hasil produk ataupun proses produksi terdapat pada informasi positif. Indikasi yang menjelaskan mengenai faktor yang memiliki pengaruh tetapi tidak dapat ditemukan maka informasi tersebut terdapat pada informasi negatif.

2. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan merupakan tahapan yang penting, karena pada tahapan ini hasil dari pengujian akan dikumpulkan. Apabila dalam pelaksanaan ekperimen dan dalam perencanaan berjalan dengan baik maka akan mendapatkan informasi yang positif mengenai faktor dan level.

3. Tahapan Analisa

Tahapan analisa merupakan tahapan yang memiliki sifat statistik. Metode statistik yang banyak digunakan untuk menganalisis data dari suatu percobaan yang terancang adalah teknik analisis ragam atau sering disebut dengan ANOVA. (Fajrin, Pathurahman, & Pratama, 2016).

Analisis Varians ANOVA yaitu suatu teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi dari suatu faktor (Upura & Destianto, 2019).

2.7.1 Variabel Pada Metode Taguchi

Identifikasi jenis variabel dan faktor pada tahap perencanaan metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang diduga sebagai sebab munculnya variabel lain, dalam konteks ini yang dimaksud adalah variabel terikat (Kusumastuti, Khiron, & Achmadi, 2020). Variabel ini nilainya dapat ditentukan dan dikendalikan oleh operator.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat atau variabel tak bebas adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas atau biasa disebut juga sebagai variabel respon atau *output* (Kusumastuti, Khiron, & Achmadi, 2020).

3. Variabel *control*

Variabel *control* adalah variabel yang mempunyai nilai sama selama penelitian namun pengaruhnya terhadap variabel terikat diabaikan. Variabel ini dapat ditentukan dan dikendalikan oleh operator.

4. Faktor *noise* (gangguan)

Faktor *noise* atau faktor gangguan adalah faktor pengganggu yang nilainya diluar kendali operator (Zaman & Afiatna, 2017) .

2.7.2 Orthogonal Array

Dalam menerapkan metode Taguchi, desain eksperimental yang digunakan berdasarkan pada *orthogonal array* (OA). Tujuannya adalah supaya jumlah informasi maksimum dapat diperoleh dengan eksperimen yang minimum. Orthogonal array merupakan tabel kombinasi level yang digunakan untuk melakukan eksperimen (Nurrohkayati, Zulrahman, Syach, & Khairul, 2021) .

Orthogonal array digunakan untuk menganalisis data eksperimen dan merancang eksperimen yang efisien. Ini memungkinkan untuk menentukan jumlah minimum eksperimen yang akan memberikan informasi sebanyak mungkin tentang semua faktor yang memengaruhi parameter (Pamasaria, Saputra, Hutama, & Budiantoro, 2020).

Tabel 2. 4 Matriks Orthogonal Standar Taguchi

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
L4(2 ³)	L9(3 ⁴)	L16(4 ⁵)	L25(5 ⁶)	L18(2 ¹ x3 ⁷)
L8(2 ⁷)	L27(3 ¹³)	L64(4 ²¹)		L32(2 ¹ x3 ⁹)
L12(2 ¹¹)	L81(3 ⁴⁰)			L36(2 ¹¹ x3 ¹²)
L16(2 ¹⁵)				L36(2 ³ x3 ¹³)
L32(2 ³¹)				L54(2 ¹ x3 ²⁵)
L54(2 ⁶³)				L50(2 ¹ x3 ¹¹)

Sumber : (Setyanto & Lukodono, 2017)

Orthogonal array berupa tabel yang terdiri dari baris dan kolom, dimana jumlah baris mewakili jumlah eksperimen dan jumlah kolom mewakili jumlah faktor. Penulisan *orthogonal array* dapat dirumuskan sebagai berikut (Sunengsih, Winarni, & Amzainaa, 2017) :

$$L_i(l^k) \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana:

i = Banyak eksperimen atau percobaan

l = Banyak level pada setiap faktor

k = Banyak kolom yang berarti juga banyak faktor.

2.7.3 Rasio Signal-to-Noise (SN)

Rasio Signal-to-Noise (S/N) digunakan sebagai suatu pengukur penyimpangan sifat-sifat kualitas atau dari nilai-nilai yang mendekati kenilai yang diinginkan. Ada tiga kategori dari sifat-sifat kualitas dalam analisa dari rasio S/N yaitu lebih rendah lebih baik (*Smaller is better*), lebih tinggi lebih baik (*Large is better*) dan nominal lebih baik (*Normal is the best*) (Astanto, Burhanuddin, & Ibrahim, 2020).

1. Lebih rendah lebih baik (*Smaller is better*)

Smaller is better merupakan karakteristik terukur *non negative* dengan nilai ideal nol. Sehingga yang memiliki nilai yang paling kecil atau mendekati nol maka nilai tersebut semakin

baik. Perhitungan *Smaller is Better* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiantoro, 2020) :

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

2. Lebih tinggi lebih baik (*Large is better*)

Nilai karakteristik kualitasnya tidak terbatas, jadi semakin besar nilai maka semakin baik pula kualitasnya. Perhitungan *Large is better* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiantoro, 2020) :

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

3. Nominal lebih baik (*Normal is the best*)

Nilai karakteristik kualitasnya dapat berupa positif maupun negatif. Nilai target dari karakteristik ini telah ditetapkan sehingga nilai hasil yang mendekati nilai sesuai dengan target yang telah ditetapkan adalah nilai yang semakin baik. Perhitungan *Normal is best* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pamasaria, Saputra, Utama, & Budiantoro, 2020) :

$$S/N = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - m)^2}{n} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$