

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penyusunan laporan tugas akhir ini diambil dari beberapa referensi sumber penelitian sebelumnya mengenai Optimasi Parameter Untuk Meningkatkan Produktivitas *Milling* Berdasarkan Nilai Kekasaran Permukaan Dengan Menggunakan Metode Taguchi, Berikut ini beberapa penelitian sebelumnya mengenai referensi terkait dari topik yang telah diteliti yaitu:

Cahyono et al. (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi kecepatan *spindel* dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan *stainless steel aisi 304* pada proses *milling* konvensional menggunakan metode taguchi dengan parameter kecepatan *spindel* yang bervariasi 600 rpm, 860 rpm, 960 rpm dan kedalaman makan bervariasi 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan terbesar ada di parameter potong kecepatan *spindel* 600 rpm dan kedalaman makan 0,5 adalah 2,259 μm , kemudian nilai kekasaran permukaan terkecil ada di parameter kecepatan pemotongan *spindel* 960 rpm. dan kedalaman makan 0,1 mm adalah 1,137 μm , maka itu didapat kombinasi parameter pemotong yang optimal yaitu kecepatan spindel 960 rpm dan kedalaman potong 0,1 mm.

Fitriyah and Sakti (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh jenis material, kedalaman potong dan kecepatan *spindel* terhadap kerataan permukaan dan berupa gram baja ST 41 dan ST 60 terhadap mesin *milling* konvensional dengan parameter kedalaman potong 0,2 mm, 0,4 mm dan 0,6 mm dengan kecepatan *spindel* 540 rpm, 910 rpm dan 1500 rpm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis material, kecepatan *spindel* dan kedalaman pemakanan sangat mempengaruhi tingkat kerataan terhadap permukaan. Nilai kerataan permukaan terbagus didapatkan dengan material ST 60 dengan kecepatan 1500 rpm dan kedalaman potong 0,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan *spindel* yang tinggi, kedalaman makan terendah dan jenis material yang padat dengan menghasilkan nilai kerataan permukaan yang cukup rendah, bentuk dari gram juga dipengaruhi pada benda kerja, kecepatan *spindel*, dan kedalaman makan. Jenis gram kontinu merupakan gram yang didapat pada benda kerja yang padat, dengan kecepatan *spindel* yang tinggi dan kedalaman makan yang rendah. Gram kontinu didapatkan pada material ST 60, kecepatan spindel 1500 rpm dan kedalaman pemotongan 0,2 mm.

Prasetya and Mulyono (2019) melakukan penelitian tentang analisa pengaruh variasi jenis cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan skd 11 serta prosedur perawatannya pada mesin *milling* konvensional dengan parameter *spindle speed*, *feeding*, dan *cutting speed*. Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan benda kerja diantaranya adalah penggunaan cairan pendingin (*coolant*). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis cairan pendingin berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja SKD 11 dan jenis cairan pendingin mempunyai pengaruh besar pada kekasaran permukaan SKD 11.

Rudi et al. (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses *face milling* dengan parameter kecepatan putaran *spindle* 360 dan 490 rpm dan kecepatan pemakanan 60 mm/menit dan 70mm/menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa permukaan dengan *spindle* kecepatan rotasi 360 rpm dan kecepatan pemakanan 60 mm /menit lebih kasar daripada yang ada di *spindle* kecepatan putar

360 rpm dan kecepatan pemakanan 70 mm/menit. Selain itu, kekasaran permukaan untuk kecepatan putaran *spindle* 490 rpm dan kecepatan pemakanan 60 mm/menit juga lebih kasar dibanding *spindel* 490 rpm dan 70 mm/menit.

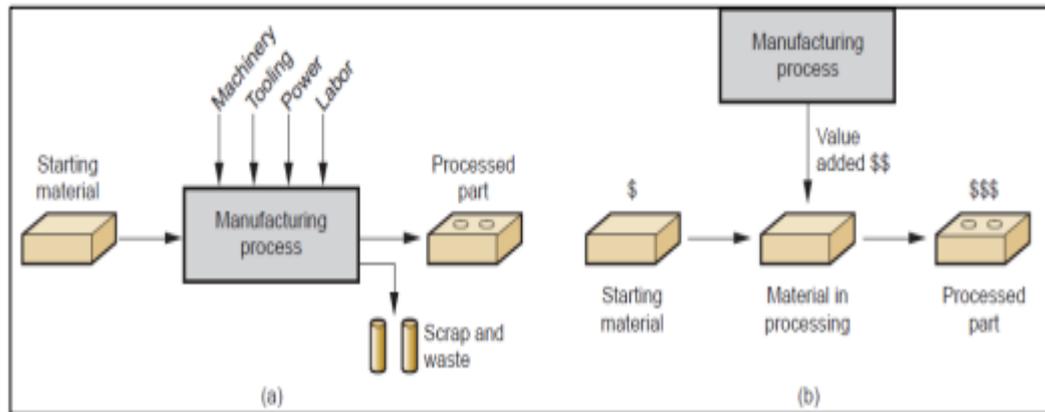
Adinnandha and Sakti (2010) melakukan penelitian tentang analisis jenis pahat dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan pada benda kerja aluminium dan baja ST 37 dengan perlakuan mesin *milling vertical* dengan parameter kecepatan potong dan kedalaman potong 0,2, 0,4, 0,6. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pahat yang keras menyebabkan kekasaran yang rendah. Pahat ini merupakan pahat jepang dengan kekasaran terendah pada aluminium dengan nilai 0,557 μm dan pada baja ST 37 dengan nilai 0,653 μm . Kedalaman makan mempengaruhi nilai kekasaran permukaan pada benda kerja aluminium dan baja ST 37. Kedalaman kekasaran yang rendah ada pada 0,2 mm dengan nilai kekasaran aluminium sebesar 0,557 μm dan baja ST 37 sebesar 0,653 μm .

Aditiya and Mudjijanto (2021) melakukan penelitian tentang pengaruh kedalaman pemakanan pada mesin *milling* terhadap getaran dan kekasaran permukaan baja AISI 4140 dengan parameter kecepatan putaran *spindle*, kecepatan pemakanan dibuat konstan serta kedalaman pemakanan yaitu 0,5, 1, dan 1,5 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada kedalaman pemakanan 0,5 mm memiliki getaran sebesar 3,46 mm/s. Pada kedalaman pemakanan 1 mm memiliki getaran sebesar 4 mm/s. Pada kedalaman pemakanan 1,5 mm memiliki getaran sebesar 7,16 mm/s dan kekasaran permukaan rata-rata Ra sebesar 1,615 μm . Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar getaran semakin tinggi nilai kekasaran benda kerja yang dihasilkan dan artinya kedalaman pemakanan berkorelasi dengan getaran dan kekasaran permukaan.

2.2 Proses Manufaktur

Manufaktur adalah proses perubahan terhadap bahan mentah hingga terciptanya sesuatu produk. Perubahan bahan mentah menjadi suatu produk terdiri dari rancangan produk, pemilihan bahan material, dan langkah-langkah proses dimana produk itu diproduksi. Bidang teknik manufaktur pada hakikatnya merupakan sinergi yang berarti perpaduan yang selalu memperkuat dari disiplin ilmu teknik industri serta teknik mesin. Berdasarkan hal tersebut diterapkan pengetahuan dengan hubungan pada desain produk dan desain proses manufaktur, sedangkan dari teknik industri diterapkan pengetahuan yang berhubungan pada pengolahan sistem di industri manufaktur (Supriyanto 2013).

Proses manufaktur dapat dikatakan dengan dua sudut pandang merupakan perspektif teknologi, sehingga dapat dikatakan manufaktur menjadi suatu pembuatan tahap fisik atau kimia untuk merubah sifat dan bentuk bahan mentah menjadi komponen atau produk yang telah jadi. Kasus menggabungkan terhadap komponen adalah proses dari manufaktur. Dilihat dari sudut pandang kedudukan, suatu produksi merupakan perkembangan nilai dengan suatu bahan untuk mengubah dimensi dan sifat-sifatnya serta sekaligus menggabungkannya untuk bahan lain dengan meningkatkan nilai produk (Groover 2013). Proses manufaktur dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Proses Manufaktur

Sumber : (Groover 2013)

2.3 Proses Pemesinan

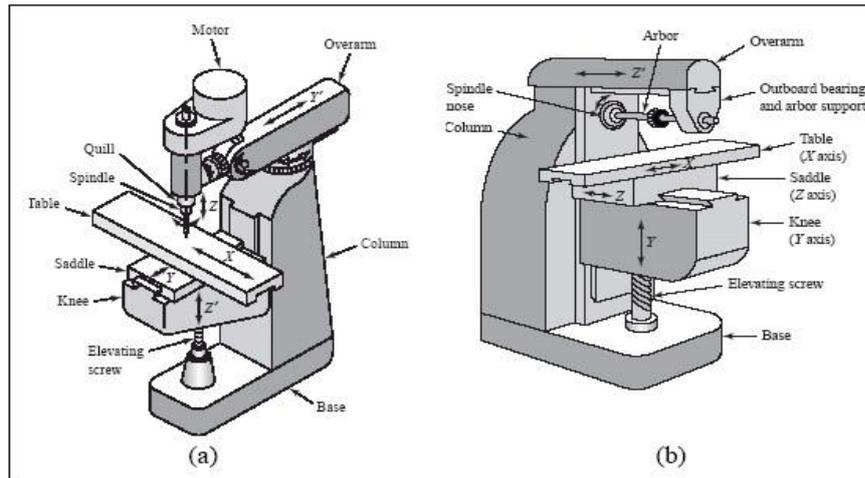
Pemesinan merupakan bagian dalam proses manufaktur di mana suatu proses dibuat dengan membawa jenis sifatnya ke dalam suatu bentuk yang ditentukan. Proses manufaktur pada pemesinan merupakan proses manufaktur dengan disertai berupa alat pemotong yang cukup tajam (*a sharpcutting tool*) dipakai sebagai alat pemotong bahan menjadi bentuk tertentu (Irawan and Rusmana 2014).

Terdapat beberapa alasan mengapa teknologi di pemesinan berperan sekali pada proses material yaitu:

1. Variasi pada material (*varieti of workmaterial*).
2. Variasi dari bentuk komponen dan *fiturgeo metri* (*variety of part shapes and geometric features*).
3. Akurasi ukuran (*dimensional accuraci*).
4. Hasil akhir yang cukup bagus (*good surface finishes*).

2.4 Proses Mesin *Milling*

Mesin *milling* dengan dilakukannya pemotongan pada material dengan alat-alat pemotong dan dilengkapi mata pisau pemotong yang berputar. Dalam dilakukannya pemesinan terdapat beberapa gigi pemotong berada disekeliling mata pisau yang mampu mendapatkan hasil dan putaran yang lebih cepat. Selain itu, dapat mengerjakan permukaan datar dan melengkung ke hasil akhir atau presisi tertentu, maka sangat berguna untuk meratakan atau menghaluskan pada bagian dimensi yang diinginkan (Budiyanto et al. 2020). Mesin ini difungsikan dengan menahan bagian material dengan cara menyayat dan memutar mata pahat disebut mesin *milling* (Awalliyah et al. 2018). Gambar pada mesin *milling* dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini.



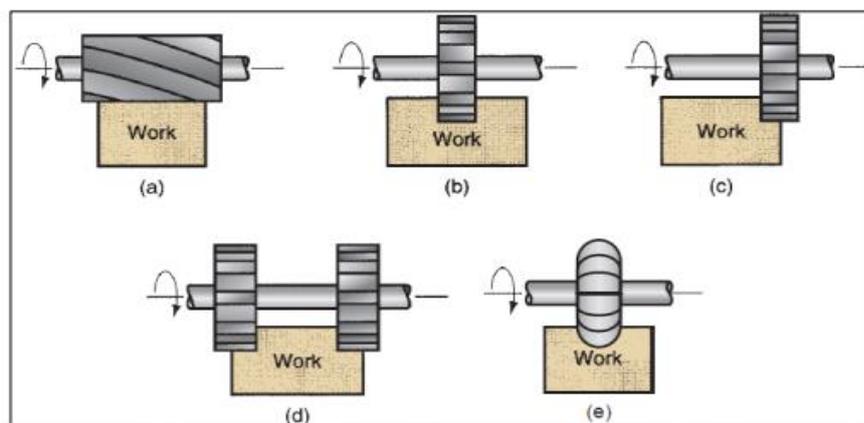
Gambar 2.2 Mesin *Milling*
 Sumber : (Awalliyah et al. 2018)

2.4.1 Macam-Macam Proses Mesin *Milling*

Terdapat beberapa klasifikasi mesin *milling* dimana klasifikasi telah menetapkan terhadap jenis mata pisau, kemudian arah pada pemotong serta letak awal mata pisau terhadap bagiannya. Berikut klasifikasi dari mesin *milling* yaitu:

1. *Peripheral Milling*

Peripheral Milling umumnya dikenal sebagai *slab milling*, permukaan yang di *milling* akan dibuat oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar badan mata pisau pemotongnya. Sumbu dari putaran mata pisau tersebut biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan material yang disayat. Pada *peripheral milling* sebagai *plain milling*, sumbu putar dari mata pisau sejajar dengan *workpiece*. Mata pisau dari *peripheral milling* memiliki bentuk seperti *silindris*. Proses *peripheral milling* dibagi menjadi *slab milling*, *form milling*, *side milling*, *slot milling* dan *straddle milling*. Gambar dari *peripheral milling* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini.

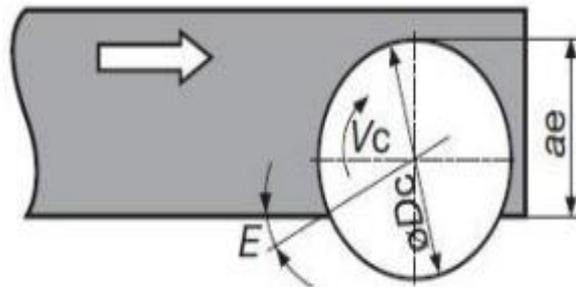


Gambar 2.3 Macam-Macam *Peripheral Milling*
 Sumber : (Groover 2013)

2. *Face Milling*

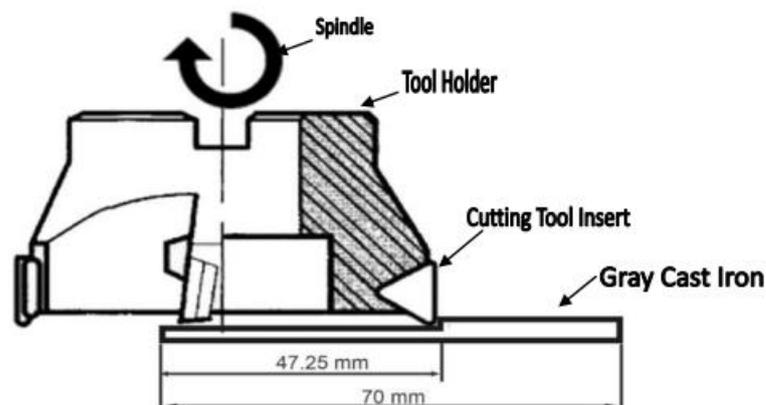
Dalam pemesinan *milling*, mata pisau dipasang di *spindle* yang mempunyai sumbu rotasinya berdiri tegak dengan bidang permukaan terhadap bagian material. Bidang

permukaan yang dihasilkan dari proses *milling* hasil dari penyayatan pada ujung mata pisau dan selubung mata pisau. Pada proses pemesinan *face milling* terdapat dua jenis pemesinan, yang pertama yaitu *center cutting* kemudian *shoulder cutting*. Proses pemotongan terhadap material menggunakan jenis adalah *shoulder cutting* (Awalliyah et al. 2018). Lintasan mata pisau dalam proses pemesinan dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Lintasan Pahat *Shoulder Cutter*
Sumber : (Awalliyah et al. 2018)

Dilihat secara sistematis pada proses *face milling* yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dengan kecepatan tertentu *spindle* berputar pada posisi yang sama, selain itu material juga bergerak ke arah gerak makan dengan kecepatan gerak makan tertentu.



Gambar 2.5 *Face milling*
Sumber : (Awalliyah et al. 2018)

3. *End Milling*

Dalam proses *milling* selama mata pisau memutar dengan sumbu yang berdiri tegak lurus pada permukaan material dimana mata pisau mampu menggerakkan sudut dan gigi mata pisau yang bertumpu terhadap ujung badan mata pisau dan selubung mata pisau.

2.4.2 Parameter Pemotongan Pada Proses *Milling*

Situasi yang terjadi pada gangguan terhadap mesin *milling* dapat ditentukan dengan cara mengukur yang terjadi pada parameter dan besaran getaran mesin *milling*. Terdapat parameter pemotongan dasar dalam proses *milling* (Abbas et al. 2013). Antara lain yaitu:

1. Kecepatan pemakanan (*Feed rate*)

Kecepatan pemakanan atau *feed rate* dapat dinyatakan dalam jarak yang di dapat oleh mata pisau dalam satuan waktu tertentu.

Berikut kecepatan pemakanan dengan rumus sebagai berikut:

$$Vf = F \times n \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

vf = Kecepatan pemakanan (mm/rad)

F = Gerakan pemakanan (mm)

n = Kecepatan putar (rpm)

2. Kecepatan Pemotongan (*Cutting speed*)

Kecepatan potong adalah kelajuan tangensial yang ada pada titik yang terdapat sisi luar mata pisau, secara umum mempunyai ukuran m/min dengan kecepatan potong dengan mempunyai kedekatan langsung diantara ukuran mata pisau serta kecepatan *spindle* dilihat pada gambar 2.6 dengan rumus kecepatan pemotongan.

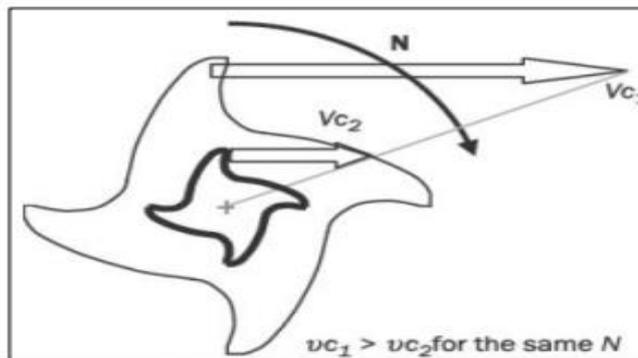
$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

V_c = Kecepatan pemotong (*cutting speed*) (m/min)

N = Kecepatan *spindle* (Rev/min)

D = Diameter pahat *milling* (mm)

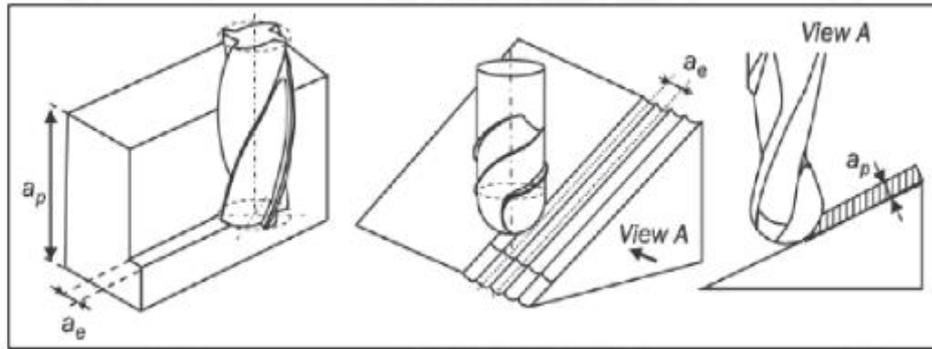


Gambar 2.6 Ilustrasi pengaruh dari diameter pahat yang berbeda

Sumber : <http://repository.ub.ac.id/>

3. Kedalaman Pemotongan (*Depth of cut*)

Pada pemesinan *milling* yang dilakukan berdasarkan kedalaman potong memiliki dua bentuk jenis potong yang pertama ialah kedalaman potong *radial* dan kedalaman potong *axial*, berdasarkan keduanya diukur dengan milimeter (mm). Dengan dalam pemotong yang mempengaruhi tekanan terhadap mata pisau. Apabila nilai dari dalam pemotong meningkat, maka tekanan didapat terhadap mata pisau tersebut dapat semakin meningkat. Dari gambar kedalaman pemotong dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut ini.

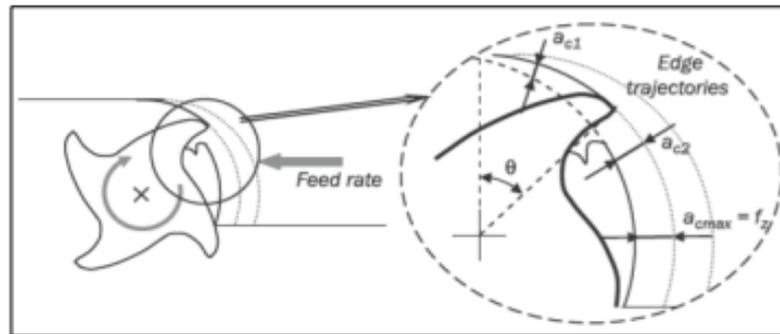


Gambar 2.7 Axial depth of cut (a_p) dan radial depth of cut (a_e)

Sumber : <http://repository.ub.ac.id/>

4. Ketebalan chip

Pada ketebalan chip ketika dalam proses *milling*, ketebalan chip terjadi pengaruh dari sudut putar terhadap mata pisau seperti pada gambar 2.8 berikut ini.



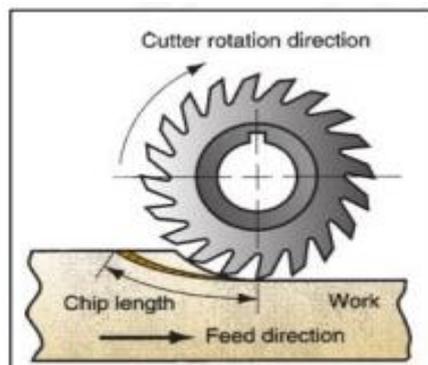
Gambar 2.8 Ketebalan chip untuk beberapa sudut rotasi

Sumber : <http://repository.ub.ac.id/>

2.4.3 Arah Pemakanan Pada Proses *Milling*

Memiliki dua jenis dalam pemesinan *milling* terutama dengan gerak dari pemakanan, khususnya yaitu:

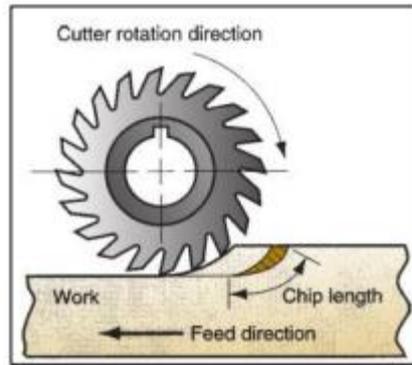
1. *Milling* konvensional merupakan suatu dimana gerak putarnya pada mata pisau bertentangan terhadap gerak dari material dan dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Conventional Milling

Sumber : (Groover 2013)

2. *Climb milling* merupakan proses pemesinan *milling* yang horizontal dengan putaran mata pisau satu arah terhadap gerakan material dan dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.



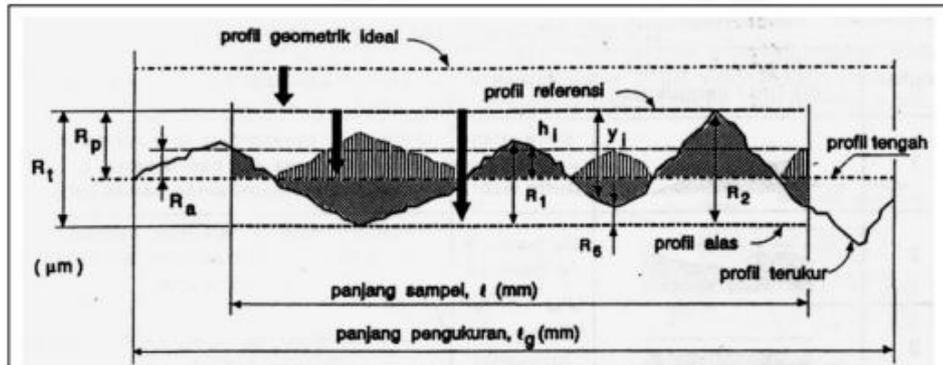
Gambar 2.10 *Down Milling* atau *Climb Milling*
 Sumber : (Groover 2013)

Perbedaan mendasar pada *climb milling* dan konvensional merupakan gambaran dari *chip* dengan bentuk didapat dari proses pemakanan. Dalam proses pemesinan *milling* dengan membuat chip yang panjang. Selama proses *climb milling* dengan mendapatkan poin-poin yang sangat pendek (Groover 2013).

2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah bagian permukaan didapat pada pekerjaan yang dilakukan pada umumnya, biasanya mampu terlihat melalui mata atau meraba kemudian permukaannya dapat dikatakan kasar ataupun halus (Abbas et al. 2013). Menurut Kaisan and Rusiyanto (2020) Permukaan kekasaran dapat ditunjukkan untuk menjadikan antara penghujung yang paling tinggi dan penghujung yang terendah dijadikan pengukuran kekasaran pada permukaan, juga mampu dikatakan sebagai antara jarak profil dan garis yang berada di tengah. Kekasaran yang terjadi di permukaan mempunyai ciri-ciri tersendiri yaitu pada kecepatan makan, apabila kecepatan pemakanan lebih rendah mengakibatkan hasil menjadi lebih halus terhadap kekasaran pada permukaan. Dengan tingkat pemakanan yang cukup tinggi dan pergerakan mata pisau untuk menyayat objek pada material mengakibatkan bertambah laju, serta gerak mata pisau yang masuk dalam proses pada pemakanan di bagian material segera meningkat secara signifikan, menyebabkan material pada bagian permukaan tidak terpotong dengan komplit dan dapat memberikan dampak besar dan mengakibatkan hasil lebih kasar yang diberikan (Pratama et al. 2017).

Kekasaran permukaan yang terjadi dipengaruhi oleh kedalaman pemakanan, laju putaran, dan tingkat kepresisian. Dengan demikian kekasaran permukaan menjadi acuan keakuratan dan kualitas produk di industri manufaktur (Gayuh et al. 2013). Gambar di bawah ini menunjukkan beberapa permukaan profil yang dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2.11 Profil Kekasaran Permukaan
Sumber : (Abbas et al. 2013)

Berikut adalah keterangan gambar adalah yaitu:

1. Profil Geometri ideal (*geometrically ideal profile*)
Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*) merupakan profil pada permukaan geometris ideal berbentuk lingkaran, garis lurus, dan kurva.
2. Profil Terukur (*measured profile*)
Profil terukur (*measured profile*) merupakan diagram permukaan dan dilakukan pengukuran dengan alat pengukur untuk menganalisa data karakteristik terhadap kekasaran yang ada di permukaan.
3. Profil Referensi (*reference profile*)
Profil referensi (*reference profile*) merupakan salah satu analisis ketidaksamaan bentuk pada permukaan. Pada profil ini memiliki bentuk garis lurus atau garis yang mengikuti profil geometris ideal dan mengikuti penghujung yang tinggi terhadap profil yang diukur pada besar benda uji. Berdasarkan profil pada umumnya dikatakan penghujung yang tertinggi (*custline*).
4. Profil Dasar (*root profile*)
Profil dasar (*root profile*) merupakan bentuk dengan letak menyimpang dari arah yang dibawah (berdiri tegak pada geometri ideal untuk besar pada sampel) ke tumpu paling rendah dari profil yang diukur.
5. Profil Tengah (*centered profile*)
Profil tengah (*centered profile*) merupakan bentuk dengan letak seperti itu digunakan untuk menentukan luas bagian bawah dengan rata-rata relatif terhadap penampang yang diukur ditunjukkan oleh daerah yang diarsir.

Saat dilakukannya proses pada pemesinan terdapat standar kualitas yang biasa digunakan pada umumnya yaitu kualitas kekasaran aritmatika (R_a), merupakan standar dengan kualitas nilai permukaan yang diperoleh hasil dari potongan yang maksimal dan diperbolehkan. Tingkat pada nilai kekasaran dapat diukur dengan perbandingan secara optis dengan nilai standar yang ada dengan menggunakan perbandingan berupa mikroskopi. Terdapat nilai kekasaran permukaan yang didapatkan dalam proses manufaktur adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai Kekasaran Permukaan Hasil Dari Proses Manufaktur (Karmin et al. 2013)

<i>Process</i>	<i>Typical Surface Finish</i>	<i>Range of Roughnes, (um)</i>	<i>Process</i>	<i>Typical Surface Finish</i>	<i>Range of Roughnes, (um)</i>
<i>Die Casting</i>	<i>Good</i>	1 - 2	<i>Turning</i>	<i>Good</i>	0.5 - 6
<i>Invesment Casting</i>	<i>Good</i>	1.5 - 3	<i>Grinding</i>	<i>Very Good</i>	0.1 - 2
<i>Sand Casting</i>	<i>Poor</i>	12 - 25	<i>Honing</i>	<i>Very Good</i>	0.1 - 1
<i>Cold Rolling</i>	<i>Good</i>	1 - 3	<i>Lapping</i>	<i>Excelent</i>	0.05 - 0.5
<i>Sheet Metal Draw</i>	<i>Good</i>	1 - 3	<i>Polishing</i>	<i>Excelent</i>	0.1 - 0.5
<i>Cold Extrusion</i>	<i>Good</i>	1 - 3	<i>Superfishing</i>	<i>Excelent</i>	0.02 - 0.3
<i>Hot Rolling</i>	<i>Poor</i>	12 - 25	<i>Chemical Milling</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 2
<i>Boring</i>	<i>Good</i>	0.5 - 6	<i>Electrochemical</i>	<i>Good</i>	0.2 - 2
<i>Drilling</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 6	<i>Electric Discharge</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 15
<i>Milling</i>	<i>Good</i>	1 - 6	<i>Electron Beam</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 15
<i>Planing</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 12	<i>Laser Beam</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 15
<i>Reaming</i>	<i>Good</i>	1 - 3	<i>Arc Welding</i>	<i>Poor</i>	5 - 25
<i>Shaping</i>	<i>Medium</i>	1.5 - 12	<i>Flame Cutting</i>	<i>Poor</i>	12 - 25
<i>Sawing</i>	<i>Poor</i>	3 - 25	<i>Flasma Arc Cutting</i>	<i>Poor</i>	12 - 25

2.6 Getaran Pada Proses *Milling*

Pada pemesinan *milling* terdapat getaran yang muncul dalam pemesinan, dimana getaran pemesinan adalah suatu parameter pemotongan yang terjadi dan tidak mampu untuk dikendalikan dengan sepenuhnya karena letak dari pemesinan itu terus berjalan. Getaran biasanya terjadi ketika alat mesin yang berinteraksi terhadap gaya yang dipaksakan dan yang eksitasi sendiri. Eksitasi paksa contoh dalam bentuk gaya osilasi selama pemesinan, ketidakseimbangan dalam massa rotasi, dan lainnya. Dalam proses pemesinan akan menghasilkan getaran dari banyaknya sumber masalah yang berbeda, sehingga mempengaruhi kualitas hasil pemesinan. Berdasarkan hal tersebut getaran yang terjadi karena adanya efek dari parameter pemotong dalam beroperasinya mesin *milling* (Abbas et al. 2013). Dari keadaan pemesinan serta gejala yang terjadi terhadap mesin diketahui dengan cara mengukur parameter serta besarnya terjadi pada getaran. Terdapat parameter getaran secara umum digunakan yaitu:

1. Simpangan (*displacement*)
2. Kecepatan (*velocity*)
3. Frekuensi (*freqwency*)
4. kecepatan (*aceleration*)

Hasil efek yang diberikan pada getaran yang terjadi di pemesinan tersebut berpengaruh. Hal ini terjadi pada produk yang telah diproduksi, karena usia alat yang sering digunakan. Efek dari getaran mesin yang semakin tinggi akan menghasilkan pemesinan pada benda yang mengakibatkan lebih buruk, dan juga usia mata pisau yang semakin pendek serta mengakibatkan mesin yang tidak mampu bertahan lama dalam pengoperasian. Sehingga getaran mata pisau pada mesin memengaruhi kondisi pemotongan, dan usia mata pisau. Pengaruh dari getaran terhadap keadaan hasil potong dapat diketahui karena perubahan yang terjadi diakibatkan oleh gaya geser (Romiyadi and Azriadi 2013). Terdapat dua jenis getaran yang terjadi dalam proses *milling* yaitu:

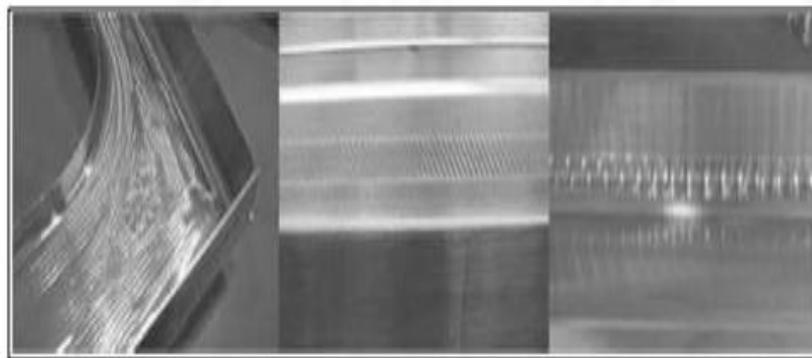
1. Getaran paksa (*Forced Vibration*)

Getaran biasanya terjadi pada peralatan mesin yang merespon aksi eksitasi sendiri serta eksitasi paksa. Misalnya, eksitasi paksa seperti aksi osilasi selama pemesinan *milling*, ketidaksamaan massa yang berputar, dan sebagainya (Aminy et al. 2006).

2. Getaran tereksitasi diri (*Self-excited Vibration*)

Getaran *self-excited* dikenal sebagai *chatter*, dimana terjadinya getaran ini karena adanya hubungan antara proses dari *chip-removal* terhadap struktur mata pisau. Berdasarkan *self-excited vibration* mempunyai amplitudo yang besar, biasanya *chatter* diawali gejala di daerah pemotongan, kemungkinan penyebab terjadinya *chatter* yaitu jenis gram diciptakan, permukaan pada bagian *inhomogenitas* merupakan keadaan gesek yang membedakan pada *toolchip interface*. Model *self-excited vibration* ini tertinggi yang berperan penting yaitu *regenerative chatter*, hal ini terjadi karena kekasaran permukaan mata pisau atau geometri ini buruk terjadi pada pemotongan sebelumnya. Dalam proses ini dilakukannya diulang dengan berkali-kali (Kalpakjian et al. 2009). Berikut ini beberapa faktor dipengaruhi oleh *chatter* diantaranya yaitu:

- a. Aksi potong yang cukup besar terhadap aksi potong, maka *chatter* juga menjadi meningkat. Semakin besar kedalaman potong mengakibatkan besarnya aksi potong. Selain itu, apabila kekasaran pada material meningkat, maka semakin besar peningkatannya terhadap aksi potong.
- b. Dengan menghasilkan jenis *chip*, *continuous chip* segera dikurangi oleh *chatter* yang didapat, dibandingkan *discontinuous chip* segera meningkatkan proses *chatter*. Dapat dilihat pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Ciri-Ciri Benda Kerja Hasil *Milling* yang Mengalami *Chatter Vibration*

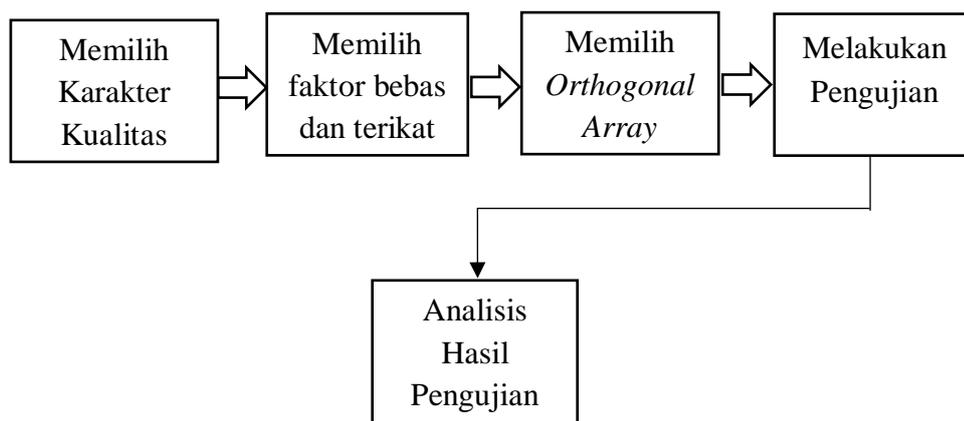
Sumber : <http://repository.ub.ac.id/>

2.7 Aluminium 5052

Aluminium adalah logam non-ferro yang tahan karat dan bersifat ringan. Aluminium digunakan untuk campuran dari beberapa logam berjenis murni, karena sifatnya tidak jauh dari sifat ringan serta mekaniknya, dan kemampuan coranya ditingkatkan dengan menambahkan elemen lain. Terdapat paduannya yaitu nikel, silikon, magnesium, tembaga, dan yang lainnya serta dapat mengubah sifat paduan aluminium (Mu'afax et al. 2013). Adapun aluminium 5052 dengan magnesium (Mg) yang memiliki ketahanan anti korosi dengan cukup bagus. Material ini sangat banyak digunakan pada suhu rendah di kapal, struktur otomotif, pesawat terbang, dan peralatan rumah tangga (Tarmiz and Prayog 2016). Aluminium 5052 mempunyai banyak keunggulan diantaranya yaitu kualitas yang bagus, kekuatan statis sedang, kekuatan tinggi dan tahannya terhadap korosi dengan hasil yang bagus, terutama di area perairan (Wibawa 2018).

2.8 Metode Taguchi

Metode taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taghuci (1940) salah satu metode modern di industri manufaktur dengan tujuan dapat memperbaiki kualitas produk dan juga mampu memberikan biaya *resources* sekecil mungkin. Metode taguchi merupakan upaya meningkatkan kualitas produk yang berfokus pada peningkatan rancangan dan proses (Setiawan et al. 2022). Sasaran dari metode taguchi yaitu dapat meningkatkan kualitas produk, dengan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas, kemudian membedakannya menjadi faktor-faktor yang dapat dikendalikan (kontrol) dan tidak dapat dikendalikan (noise). Setiap faktor terdapat level, kemudian dipilih matriks *orthogonal array* sebagai matriks dan kolom untuk melakukan eksperimen dengan jumlah faktor dan level yang dipilih (Syahbuddin and Santoso 2018). Hasil dari beberapa kombinasi faktor dan level percobaan diamati dan dikumpulkan untuk di analisis menggunakan *Signal to Noise Ratio (S/N)* dengan menentukan faktor mana yang berpengaruh dan mengetahui hasil yang diperoleh (Sugiantoro et al. 2014). Adapun diagram prosedur serta langkah percobaan metode taguchi ini dapat dilihat pada gambar diagram 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Langkah desain parameter taguchi
Sumber: (Syahbuddin and Santoso 2018)

Taguchi membuat ukuran baru dengan kriteria pemilihan desain yang kuat dengan melakukan analisis perbandingan varian dengan menggunakan rasio-F dari kriteria uji hipotesis (Asfar et al. 2017). Taguchi mengklasifikasikan karakteristik kualitas dari tiga jenis yaitu:

1. *Nominal is the best*

Suatu produk dinilai bagus jika nilai-nilai karakteristik kualitas tersebut mendekati nilai target yang ditentukan. Nilai nominal S/N terbaik yaitu:

$$S/N_r = 10 \log \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

2. *Larger the better*

Suatu produk berkualitas mempunyai nilai bagus jika nilai tersebut lebih tinggi untuk karakteristik kualitas tertentu. Nilai S/N pada karakteristik yang lebih bagus yaitu:

$$S/N_L = -10 \log^{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

3. *Smaller the better*

Suatu produk berkualitas bagus dengan karakteristik kualitas tertentu, mempunyai nilai yang rendah maka semakin baik. Nilai S/N pada *smaller the better* yaitu:

$$S/N_L = -10 \log^{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

2.9 Perhitungan Rasio S/N

Disuatu peningkatan pada metode taguchi dengan meningkatkannya konsep rasio S/N (*rasio signal-to-noise*) dengan jumlah percobaan dan menambahkan banyaknya faktor. Dalam dilakukannya perhitungan dengan konsep rasio S/N ini ditujukan dengan menentukan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap penurunan *variabilitas* terhadap jumlah percobaan, karena dalam metode taguchi jumlah percobaan dikurangi dengan memprediksi kelebihan biaya ketika dilakukan pengujian. Dalam perhitungan rasio S/N bergantung dari karakteristik bagusnya suatu kualitas. Maka dengan ini digunakannya persamaan terhadap karakteristik adalah kualitas *smaller is better* (Rachman et al. 2020).

2.10 Orthogonal Array

Orthogonal Array adalah bagan di beberapa kolom dan baris, bagan level dan faktor yang tidak dapat dipengaruhi oleh level atau faktor lainnya. Dari kolom masing-masing mewakili keadaan faktor yang bisa bervariasi pada sebuah eksperimen lainnya. *Array* dikatakan *ortogonal* apabila level setiap kolomnya dan setiap faktor yaituimbang (*balanced*) serta mampu terlepas dari pengaruh yang terjadi pada faktor lainnya ketika melakukan percobaan (Setiawan et al. 2022). Adapun penomoran *orthogonal array* sebagai berikut:

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

- L = Rancangan bujur sangkar
- a = Jumlah eksperimen
- b = Jumlah level
- c = Jumlah faktor

2.11 Design Of Exeperiment (DOE)

Design of Experiment DOE merupakan teknik eksperimen dengan mencari kombinasi terhadap parameter, dan kualitas berubah, tingkatan serta gabungan untuk menghasilkan hasil yang statis dan juga kompeten (Budi et al. 2018). *Design of exeperiment* dan desain eksperimen menurut Sudjana merupakan proses percobaan pada rancangan (dalam setiap gerak suatu pergerakan didefinisikan sepenuhnya) sehingga informasi dapat dibutuhkan, dan dikumpulkan untuk masalah tersebut dan dapat juga diteliti (Sandi et al. 2017).

2.12 ANOVA

ANOVA adalah perhitungan yang lakukan untuk menganalisa hasil data yang dikumpulkan untuk perancangan pengujian berupa statistik. ANOVA fungsikan agar mengetahui dan mengetahui faktor-faktor yang berkontribusi sehingga faktor dari hasil perikiraan estimasi jenis yang telah ditentukan. ANOVA terhadap matriks ortogonal di perhitungkan dalam total kuadrat untuk setiap kolomnya (Mataram et al. 2020). Adapun persamaan yang digunakan di perhitungan ANOVA adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan jumlah kuadrat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SSA_1 = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$SSB_1 = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$SSE = SS_T - SS_B - SS_D - SS_E - SS_{A \times C} - SS_{A \times D} \dots\dots\dots(2.9)$$

2. Perhitungan derajat kebebasan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_T = N - 1 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V_A = K_A - 1 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_C - V_D - V_E - V_F - V_G \dots\dots\dots(2.12)$$

Perhitungan nilai F-Ratio

$$F\text{-Ratio} = \frac{Ms \text{ Pada Masing-Masing Faktor}}{Ms \text{ Error}} \dots\dots\dots(2.13)$$

3. Perhitungan persen kontribusi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P\left[\frac{SSA}{SST}\right] 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$