

## BAB II

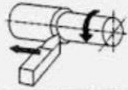





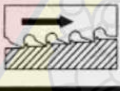
### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pemesinan

##### 2.1.1 Pengertian Pemesinan

Pemesinan sering disebut juga dengan (*machining*) yang berarti suatu proses pembentukan material logam maupun non logam menjadi barang atau produk jadi dengan cara menggunakan mesin yang disertai dengan *cutter*/pahat mesin. Cara kerja mesin ini dengan cara menyayat material dengan alat potong dan membuang material yang tidak dipakai yang akan menghasilkan geram (*chip*). Hal ini akan mempengaruhi bentuk benda kerja di awal akan berbeda dengan hasil bentuk di akhir. Proses ini akan mencapai bentuk geometri yang diinginkan.

Pemesinan sendiri dapat dibagi menjadi tiga substraktif utama, yaitu pengeboran (*drilling*), pembubutan (*turning*), dan frais (*milling*). Pada dasarnya proses dalam ketiga ini sama, yaitu membentuk material sesuai dengan geometri yang diminta. Perbedaannya hanya cara pengoperasian dan geometri benda kerja mesin tersebut yang berbeda. Pada mesin bubut mayoritas benda yang dikerjakan berbentuk bulat, dan mesin frais atau mesin bor dapat mengerjakan benda kerja yang kotak maupun bulat. Untuk proses pemesinan sendiri yang utama dibutuhkan adalah sebuah gambar produk yang akan dibuat. Gambar inilah yang akan menjadi patokan dalam proses kerja dan geometri benda kerjanya.

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)		a benda kerja b pahat m/min	a pahat b benda kerja m/min
Parut dan Gergaji		pahat m/min	

Gambar 2.1 Gambar beberapa proses machining

## 2.2 Gambar Teknik

### 2.2.1 Pengertian Gambar Teknik

Maksud gambar teknik untuk ilmu teknik yaitu suatu gambar atau alat untuk menyampaikan informasi, ide, cara, ataupun gagasan ke si pengamat gambar atau operator maupun konsumen. Gambar ini dibuat oleh juru gambar atau sering juga disebut *drafter*. Dalam pembuatan gambar teknik memuat seperti bentuk benda ataupun geometris beserta ukuran. Ketelitian membuat gambar sangat dibutuhkan keterangan-keterangan atau simbol yang jelas.

Oleh karena itu, suatu gambar pastinya juga harus mengandung informasi yang akurat, jelas, serta lengkap supaya maksud, atau gagasan yang ingin diutarakan mudah dipahami dan dibaca oleh konsumen ataupun si

pembaca gambar. Karena gambar teknik juga dapat dianggap sebagai acuan, alat komunikasi atau bahasa orang-orang yang bekerja di dunia teknik.

## 2.3 Mesin CNC

### 2.3.1 Pengertian CNC

CNC sendiri merupakan singkatan dari (*Computer Numerical Control*) atau biasa dikatakan dengan *numerical control*. Mesin CNC sendiri merupakan mesin yang dioperasikan dan dikendalikan oleh program komputer. Ciri-ciri mesin CNC ini adalah mesin yang cepat dan praktis tentunya juga dengan gerakan yang presisi.

Prinsip kerja mesin CNC ini adalah dengan cara menginput kode G Code ke mesinnya dan akan diproses oleh prosesor pada mesin CNC. Kode G Code ini berasal dari software CAD/CAM yang sudah dibuat sedemikian rupa. Mesin CNC sendiri terdiri dari banyak jenis salah satunya adalah mesin CNC *milling*.

### 2.3.2 CNC Milling

Mesin CNC *milling* atau biasa disebut juga dengan mesin CNC frais yaitu suatu mesin frais konvensional yang sudah terkomputerisasi, artinya pengoperasian mesin ini sudah berjalan dengan otomatis. Mesin ini memiliki beberapa sumbu mulai dari 3 *axis* sampai 5 *axis*. Mesin ini beroperasi sesuai input G Code yang dimasukkan ke dalam mesin dan akan diterjemahkan oleh prosesor mesin yang akan mengeluarkan *output* seperti pergerakan meja mesin, ganti *tool*, memutar *spindle*, ataupun untuk berhenti operasional dan sebagainya. Kode-kode G Code ini berasal dari software CAD/CAM yang ada di komputer.

Mesin CNC *milling* ini menjadi salah satu mesin paling sering digunakan di perusahaan industri manufaktur karena banyak keuntungan yang ditawarkan ke perusahaan seperti

1. Tingkat produktivitas yang tinggi

2. Ketepatan yang tinggi
3. Kepresisian yang sangat baik
4. Mampu mengerjakan bentuk yang rumit sekalipun.

### **2.3.3 Cara Kerja Mesin CNC *Milling***

Langkah pertama dalam mengoperasikan mesin ini berasal dari sebuah gambar atau desain yang dibuat oleh juru gambar di software CAD (*Computer Aided Design*). Setelah itu gambar tersebut akan di *programming* di software CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Mulai dari proses *Facing, surface 3D, Contour, Pocket, Drilling* dan lain-lain. Pada langkah ini juga proses simulasi kerja ditampilkan di software CAM tersebut, mulai dari strateginya, pergerakannya maupun waktu prosesnya.

Kemudian program tersebut di konversi menjadi kode-kode G *Code* yang sudah jadi. Setelah itu kode tersebut dimasukkan ke dalam *flash disk* maupun ke data file mesin melalui kabel LAN, selanjutnya kode G *Code* tersebut di *input* ke mesin CNC *milling*. Setelah tahap ini selesai tinggal eksekusi program di mesin dengan cara memilih program yang di *input* dan menekan tombol *start* pada mesin.

### **2.4 Bentuk Dasar Hasil CNC *Milling***

Bentuk ini berarti permukaan apa saja yang bisa dilakukan oleh mesin CNC *milling*. Dengan teknologi yang modern tentu saja mesin ini dapat membentuk berbagai macam profil-profil yang rumit. Cara mesin ini membuat suatu bentuk tentunya ada langkah proses yang dilakukan oleh operator di CAM nya. Langkah-langkah tersebut terdapat beberapa jenis dasar pergerakan mesin yaitu sebagai berikut.

### **2.4.1 Facing**

*Facing* adalah proses permesinan yang membuang bagian atas benda kerja yang akan menghasilkan permukaan yang rata. Proses ini biasanya awal mula dari proses-proses berikutnya yang ada dibawah ini.

### **2.4.2 Contour**

*Contour* adalah bentuk benda kerja yang tampak dari luar, seperti panjang, lebar, dan tinggi benda kerja. Cara *contour* ini bekerja adalah dengan memotong bagian terluar benda kerja dengan *cutter* sehingga menghasilkan bentuk luar benda kerja. *Cutter* akan mengelilingi benda kerja dengan sekaligus menyayat benda kerja hingga kedalaman yang diinginkan pembuat program. Jika terdapat bagian yang sulit maka dibutuhkan *tool* yang lebih tepat atau *axis* mesin yang lebih banyak.

### **2.4.3 Pocket**

*Pocket* adalah sebuah profil lubang yang berada di tengah atau di pinggiran benda kerja yang tidak tembus. Cara pembuatan *pocket* ini dengan cara *cutter* yang memotong mulai dari bagian atas benda kerja hingga kedalaman yang dibutuhkan. *Contour* ini bisa berbentuk bulat, kotak, hexagon dan bentuk lainnya. Pada dasarnya *pocket* ini sama dengan *contour*, jika profilnya rumit maka akan menggunakan *tool* yang lebih dari satu.

### **2.4.4 Hole**

*Hole* salah satu bentuk yang paling mudah dalam proses pemesinan, hal ini dikarenakan tidak ada profil yang rumit. *Hole* ini adalah lubang yang tembus dari satu permukaan ke permukaan lainnya. Cara pembuatan *hole* ini bisa dilakukan dengan mata bor, *endmill*, holder *insert* ataupun yang lainnya. Pergerakan mesin untuk membuat *hole* ini dengan cara naik turun saja dengan menggunakan putaran yang disesuaikan.

### 2.4.5 Surface 3D

*Surface* 3D merupakan salah satu proses yang paling rumit di permesinan, khususnya CNC *milling*. Proses ini tidak bisa dilakukan dengan mesin *milling* konvensional atau mesin manual. Proses *surface* 3D ini adalah pengerjaan permukaan yang tidak lurus, bisa berbentuk *taper*, radius bahkan perpaduan *taper* dengan radius. Hal ini membuat proses ini lebih lama dibandingkan dengan proses *contour* ataupun *pocket*. Dikarenakan pergerakan *step over* dan *depth of cut cutter* harus kecil supaya mendapatkan hasil yang mulus. *Step over* berarti pergerakan *cutter* ke samping sedangkan *depth of cut* adalah pergerakan *cutter* ke bawah.

## 2.5 Bagian-Bagian CNC Milling

### 2.5.1 Step Motor

Step motor merupakan komponen utama penggerak eretan mesin, masing-masing eretan mempunyai step motor masing-masing, yaitu penggerak eretan X, penggerak eretan Y, dan penggerak eretan Z. Ukuran dan jenis masing-masing step motor biasanya sama.



Gambar 2.2 Step Motor

### 2.5.2 Motor Utama

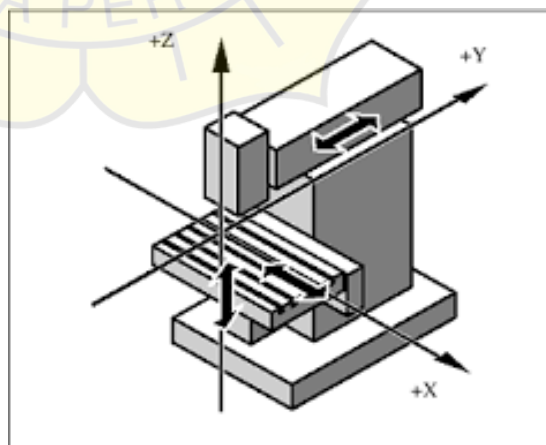
Motor utama yaitu penggerak utama *holder* alat potong (*Milling Taper Spindle*) untuk memutar alat potong/*tool*. Motor ini lebih besar daripada step motor dan mempunyai kecepatan spindle yang lebih tinggi.



Gambar 2.3 Motor utama

### 2.5.3 Eretan (*Support*)

Eretan atau sumbu yaitu arah gerakan sumbu jalannya mesin, atau bantalan meja kerja mesin CNC *milling*. Untuk mesin 3 axis memiliki dua fungsi gerak kerja, yaitu posisi vertikal dan posisi horizontal.



Gambar 2.4 Eretan (*support*)



#### 2.5.4 Meja Mesin

Meja ini adalah fasilitas utama untuk meletakkan ragam maupun magnet. Meja ini mempunyai alur slot yang berfungsi untuk memasukkan *clamp* untuk menjepit ragam atau magnet. Kapasitas meja ini tergantung dari spesifikasi mesin tersebut, ada yang berukuran 500 mm bahkan sampai 2000 mm.



Gambar 2.5 Meja Mesin (sumber : PT Sanadipa Azely Indonesia)

#### 2.5.5 Rumah Alat Potong (*Milling Taper Spindle*)

Rumah alat potong pada mesin *milling* atau sering disebut juga *holder home* digunakan untuk menjepit penjepit alat potong (*tool holder*) supaya pada waktu proses pengerjaan benda kerja *holder* ataupun *cutting* tetap berada di posisi yang sama. Sumber putaran dihasilkan berasal dari putaran motor utama yang memiliki kecepatan putar antara 0-10.000 putaran/menit. Pada mesin CNC *milling* ini hanya menggunakan 1 *cutter* di satu *holder*. Jadi jika *cutter* banyak umumnya *holder* yang digunakan juga banyak.

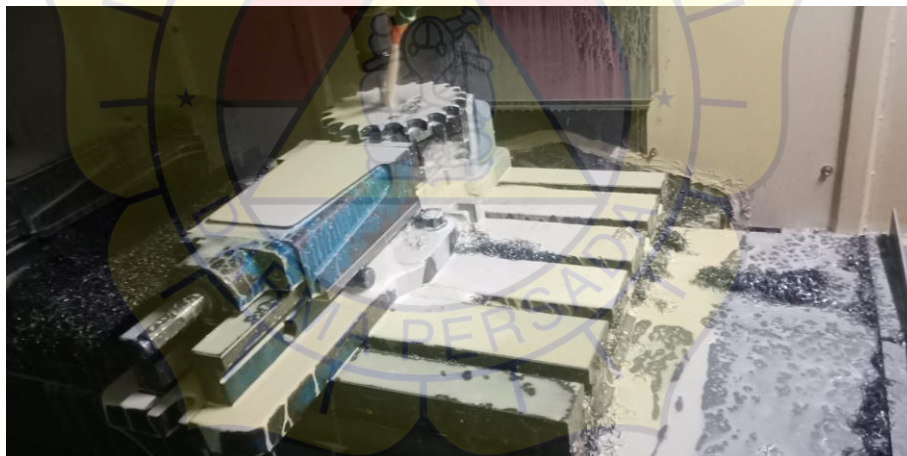




Gambar 2.6 *Tool Holder* (sumber : PT Sanadipa Azely Indonesia)

### 2.5.6 Ragum

Ragum adalah alat untuk menjepit benda kerja yang ingin diproses, supaya material tidak terhempas ketika di proses. Ragum ini bekerja dengan cara mendorong benda kerja ke sisi satunya, lalu dijepit dengan sisi yang lain.

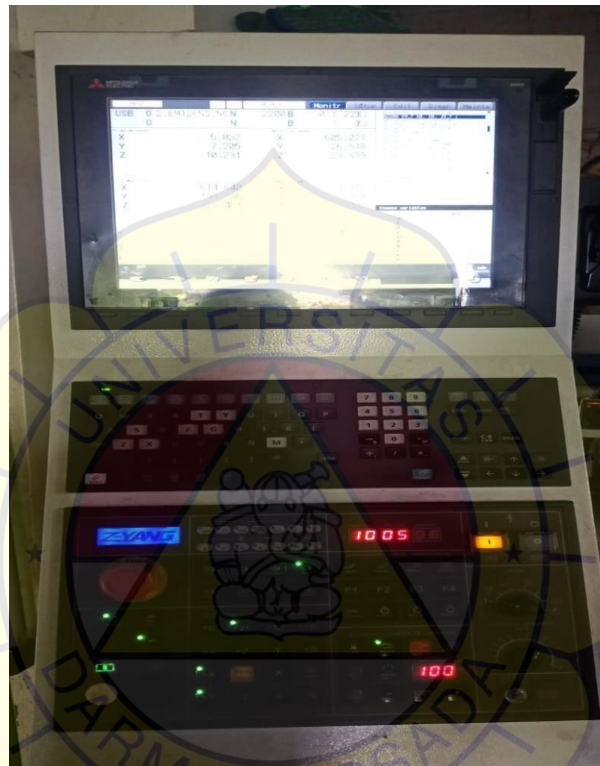


Gambar 2.7 Ragum (sumber : PT Sanadipa Azely Indonesia)

### 2.5.7 Bagian Pengendali/Kontrol

Bisa dikatakan bagian kontrol ini adalah jantung mesinnya, dikarenakan semua pergerakan maupun perintah-perintah *G Code* dimasukkan dalam kontrol ini. Mulai dari pergerakan meja, *spindle*, maupun *tool changer*. Bagian kontrol ini bisa juga dioperasikan manual tanpa *G Code* oleh operator, seperti halnya *men-setting* benda kerja sebelum diproses pakai program dari komputer.

Bagian kontrol mesin CNC dilengkapi dengan banyak tombol-tombol, sakelar dan layar *monitor*. Pada blok control ini merupakan unsur layanan langsung berhubungan dengan operator. Kontrol ini juga mempunyai banyak jenis dan merek, tetapi proses dasar pemakaiannya sama saja, hanya berbeda peletakan tombol dan layar saja.



Gambar 2.8 Panel Kontrol (sumber : PT Sanadipa Azely Indonesia)

### 2.5.8 Penukar Alat (*Tool Changer*)

*Tool changer* ini adalah alat yang berfungsi untuk mengganti *holder tool* mesin. Alat ini berguna ketika dalam suatu proses benda kerja memiliki banyak *cutter/tool holder*. Tentunya alat ini juga bisa beroperasi otomatis dengan program maupun bergerak manual yang dilakukan oleh operator. Pada dasarnya mesin CNC *milling* memiliki beberapa slot *tool holder*, oleh sebab itu rata-rata mesin CNC *milling* modern sudah mempunyai *tool changer* ini.



Gambar 2.9 Tool *Changer* (sumber : PT Sanadipa Azely Indonesia)

## 2.6 CAD (*Computer Aided Design*)

### 2.6.1 Pengertian CAD

CAD (*Computer Aided Design*) yaitu suatu software atau program komputer yang berfungsi untuk mendesain atau menggambar suatu produk maupun sebuah *layout*. Gambar tersebut bisa berupa dua dimensi maupun tiga dimensi, tergantung softwarena. Dua dimensi berarti suatu gambar yang hanya bisa dilihat dari dua sisi saja seperti halnya sebuah garis-garis. Sedangkan tiga dimensi berarti gambar yang mempunyai ruang atau volume dan dapat dilihat dari sisi manapun.

CAD ini bertujuan untuk mengoptimalkan pekerjaan *engineer*, meningkatkan efisiensi waktu, meningkatkan produktivitas serta meningkatkan detail hasil desain kita. CAD juga terdapat banyak jenisnya seperti *SolidWorks*, *AutoCAD*, *Inventor*, *Pro Engineer* dan lain-lain. Khusus perusahaan industri manufaktur CNC software yang paling banyak dipakai adalah *SolidWorks*.

### 2.6.2 SolidWorks

SolidWorks yaitu salah satu software *Computer Aided Design* (CAD) 3D yang canggih dan penggunaannya yang mudah. Software ini dikembangkan oleh *Solidworks Corporation* yang sekarang sudah dimiliki oleh *Dassault System*.

Software ini mampu menggambar 3D dan 2D juga dapat dikonversi dwg, xt, step, dan lain-lain. Software ini juga mampu membuat pemrograman *wiring*, analisis kekuatan desain, serta animasi yang baik.

## **2.7 CAM (Computer Aided Manufacturing)**

### **2.7.1 Pengertian CAM**

*Computer Aided Manufacturing* (CAM) adalah sebuah teknologi yang berbasis komputer yang berguna untuk membuat perancangan, pengaturan, pembuatan produk manufaktur. Sistem CAM ini mencakup beberapa bidang keahlian diantaranya adalah, sistem pengendalian robot, pemrograman NC atau *G Code*, penyediaan perkakas potong dan sebagainya.

Sama halnya dengan CAD, menggunakan software CAM ini sangat membantu dalam proses manufaktur dan sangat menguntungkan. Diantaranya pengurangan biaya produksi, efektivitas kerja semakin tinggi dan software tidak seperti manusia yang memiliki rasa lelah. Sehingga software ini sangat cocok untuk produksi massal. Terdapat banyak software CAM di zaman sekarang, salah satunya adalah *Delcam For Solidworks* yang berfungsi untuk membuat program *G Code*.

### **2.7.2 Delcam For Solidworks (DFS)**

*Delcam for solidworks* yaitu salah satu software pembuatan NC program untuk industri manufaktur yang berbasis sama dengan solidworks. Perusahaan pembuat software ini sudah berdiri sejak tahun 1977 yang dulu berbasis di Universitas *Cambridge*, Inggris. Sekarang perusahaan delcam ini sudah diakuisisi oleh Autodesk dan dioperasikan secara independen.

## **2.8 Desain Eksperimen**

### **2.8.1 Pengertian Desain Eksperimen**

Desain eksperimen adalah teknik yang digunakan untuk memandu pemilihan eksperimen agar dapat dilakukan dengan paling efektif (Emerson ,

2013) . Desain eksperimen adalah eksperimen yang dilakukan untuk mempelajari atau mengeksplorasi proses yang ada atau untuk membandingkan pengaruh kondisi yang berbeda terhadap suatu fenomena (Montgomery , 1991). Ketika *Design of Experimen* dilakukan, perlu untuk mendefinisikan masalah dan memilih variabel atau yang disebut parameter faktor. Dan jumlah variabel yang diasumsikan dalam DoE dibatasi atau diasumsikan kecil (Emerson, 2013).

Petunjuk pelaksanaan desain eksperimen menurut Mongomery, 2012 adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi dan nyatakan masalahnya
2. Pelaksanaan pemilihan variabel respon
3. Pilih faktor, level dan rentang
4. Pilih rencana pengujian
5. Melakukan percobaan
6. Analisis statistik data
7. Kesimpulan dan rekomendasi

Desain eksperimen tentu berhubungan dengan optimasi. Optimasi merupakan langkah logis yang diambil setelah menguji beberapa variabel yang mempengaruhi optimasi. Langkah ini berguna dalam mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang menghasilkan jawaban terbaik.

### **2.8.2 Tujuan Desain Eksperimen**

- 1) Mengumpulkan atau memperoleh informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna untuk melakukan penelitian terhadap permasalahan yang akan dibahas .
- 2) Desain yang sederhana mudah diimplementasikan, data yang diperoleh berdasarkan desain tersebut dapat dianalisis dengan cepat dan murah .
- 3) Desain eksperimental bertujuan untuk memperoleh informasi sebanyak mungkin dengan biaya serendah mungkin .

## **2.9 Metode Taguchi**

Metode Taguchi adalah penemuan Dr. Genichi Taguchi yang tinggal di Jepang. Metode Taguchi merupakan metode yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dengan menggunakan pendekatan “baru”, yaitu menerapkan metode baru dengan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC ( Statistical Process Control) , pendekatan ini juga berguna untuk meningkatkan kualitas produk dan langkah-langkah proses dalam waktu siklus yang lebih pendek, sekaligus meminimalkan biaya produksi dan sumber daya. Tujuan dari metode Taguchi adalah untuk menciptakan produk jadi yang tahan terhadap unsur kebisingan. Inilah sebabnya mengapa pendekatan ini juga dikenal sebagai desain yang kokoh. Ada tiga konsep dasar dan sederhana yang terlibat dalam upaya menghasilkan produk berkualitas tinggi (berkinerja kuat), yaitu sebagai berikut.

1. Daya tahan dalam kualitas; Kualitas harus tertanam dalam produk dan bukan diuji, produk juga harus dirancang agar kebal terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikendalikan..
2. Fungsi pengurangan kualitas; Biaya kualitas harus diukur sebagai penyimpangan dari nilai standar, dan pengukuran kerugian harus mencakup keseluruhan sistem yang ada..
3. Fungsi orientasi sasaran; Kualitas dicapai dengan meminimalkan penyimpangan dari target.

### **2.9.1 Tahapan Dalam Metode Taguchi**

Metode Taguchi menggunakan matriks ortogonal untuk menentukan batas minimal jumlah percobaan yang akan dilakukan namun memperoleh informasi sebanyak-banyaknya mengenai pengaruh parameternya. Jadi bagian terpentingnya terletak pada pemilihan kombinasi level variabel eksperimen. Metode Taguchi mengembangkan konsep rasio S/N untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Perhitungannya harus dilakukan sebagai berikut:



### 2.9.2 Menghitung Rasio S/N (*Signal-to-Noise ratio*)

*Taguchi* memberikan Metode rasio S/N dengan menguji pengaruh faktor kebisingan terhadap pengaruh yang terjadi . Rasio S/N ini bergantung dari kaarakteristik yang akan di inginkan . Karakteristik yang digunakan dalam metode taguchi ada 3 jenis yaitu ;

#### 1. *Smaller the Better*

Ini merupakan ciri mutu , semakin rendah nilainya maka mutunya semakin baik . Contohnya adalah kekasaran permukaan

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

Dimana

n = Jumlah tes didalam percobaan

#### 2. *Large the Better*

Ini merupakan ciri kualitas dimana semakin tinggi nilainya maka semakin baik pula kualitasnya . sebagai kekuatan material .

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

#### 3. *Nominal the Better*

Merupakan ciri kualitas dimana nilai nominalnya ditetapkan pada nilai tertentu . Jika nilainya mendekati nilai nominal maka kualitasnya akan meningkat. Misalnya , semakin dekat ukuran produk dengan ukuran nominal yang ditentukan, maka kualitasnya akan semakin baik .

$$S/N = -10 \log . V_e$$

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{V_m - V_e}{nV_e} \right]$$

### 2.9.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis varians ( ANOVA ) adalah teknik yang dapat digunakan untuk mengevaluasi perbedaan variabilitas pengaruh suatu faktor dalam sampel yang berbeda . ANOVA dapat digunakan untuk menentukan apakah mean sampelnya sama . Analisis varians (ANOVA ) digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setiap parameter kontrol terhadap proses . Besar kecilnya pengaruh dapat ditentukan dengan membedakan jumlah nilai kuadrat dari parameter kontrol dari semua parameter control .

Analisis varians Taguchi (ANOVA) digunakan sebagai metode statistik untuk menafsirkan data eksperimen. ANOVA adalah teknik komputasi yang dapat digunakan untuk menilai secara kuantitatif dampak setiap faktor terhadap semua tindakan respons. Analisis varians (ANOVA) yang digunakan dalam desain parametrik sangat berguna dalam menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi sehingga dapat ditentukan keakuratan estimasi model. ANOVA yang digunakan pada hasil percobaan dengan metode Taguchi biasanya merupakan ANOVA dua arah. ANOVA dua arah adalah data eksperimen yang terdiri dari dua atau lebih level dan dua faktor atau lebih .

Berikut persamaan jumlah kuadrat, akar rata-rata kuadrat, derajat kebebasan, nilai F, dan nilai probabilitas:

#### 1. Jumlah kuadrat (*sum of square*)

Jumlah kuadrat masing-masing koefisien, contoh koefisien A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} \dots \frac{A_n^2}{n_{An}} - \frac{T^2}{N}$$

Dimana:

$A_1$  = Banyaknya nilai data pada faktor A

$A_2$  = Banyaknya nilai data pada faktor A level 2

$A_3$  = Banyaknya nilai data pada faktor A level 3

$n_{A1}$  = Banyak data tentang faktor A level 1

$n_{A2}$  = Banyak data tentang faktor A level 2

$n_{A3}$  = Banyak data tentang faktor A level 3

T = Jumlah semua nilai data

N = banyaknya data keseluruhan

1. Derajat Kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan setiap elemen, derajat kebebasan keseluruhan dengan error, dan derajat kebebasan error.

$V_a$  = Beberapa tingkat faktor A-1

$V_t$  = Jumlah Keseluruhan level - 1

$V_e = V_t - (V_a + V_b + \dots + V_n)$

Di mana:

$V_a$  = Koefisien derajat kebebasan A

$V_e$  = Koefisien derajat kebebasan error

$V_t$  = Koefisien derajat kebebasan total

2. Rata-rata kuadrat (*mean square*)

Rata-rata kuadrat setiap faktor, contoh untuk faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A}$$

3. Jumlah kuadrat total

$$SS_T = \sum y^2$$

Dimana:

y = Nilai data

4. Jumlah kuadrat karena rata-rata

$$SS_m = n \cdot \bar{y}^2$$

Dimana:

n = Banyak data

5. Jumlah kuadrat *error*

$$SS_E = SS_T - SS_m - SS_{faktor}$$

Dimana:

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_E + \dots SS_n$$

6. Rata-rata kuadrat *error*

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e}$$

7. Persen Kontribusi

Persentase menunjukkan kontribusi (kekuatan relatif) dari setiap variabel proses terhadap total varian dari reaksi yang dapat diamati secara bersamaan. Jika persentase *error* kurang dari 15 %, maka tidak ada variabel dengan efek yang diabaikan. Namun, jika persentase *error* lebih 15 %, hal ini menunjukkan bahwa ada variabel dengan efek diabaikan, sehingga kesalahan yang terjadi terlalu besar. Interpretasi hasil pengujian dengan menggunakan rencana pengujian Taguchi adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} 100\%$$

Dengan:

$SS_A$  = jumlah kuadrat dari variabel dihitung sebagai persentase kontribusi

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

Interval keyakinan (1-  $\alpha$ ) 100% untuk hasil optimasi:

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan parameter-parameter menduga rata-rata}}$$

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} \times MS_e} \times \frac{1}{n_{eff}}$$

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

Dengan:

$\mu_{prediksi}$  = perkiraan rata-rata dari kombinasi optimal

$n_{eff}$  = jumlah pengamatan yang efektif

## 2.10 Minitab 18

Minitab adalah perangkat lunak komputer yang digunakan untuk mengolah data statistik. Program komputer ini mampu menangani data analisis statistik yang kompleks. Minitab ini dibuat di Pennsylvania State University oleh peneliti Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr. dan Brian L. Carpenter 1972.

## 2.11 Parameter Standar Internasional

### 2.11.1 Putaran Mesin (*Spindle Speed*)

Yang dimaksud dalam putaran mesin adalah suatu kemampuan mesin bubut/*milling* membuat potongan pada potongan tersebut dengan aman dalam putaran per menit. Hal yang berpengaruh pada putaran mesin ini adalah kecepatan potong material/*cutting* dan diameter alat potongnya atau diameter benda kerja. Rumus untuk menghitung putaran mesin ini adalah sebagai berikut;

$$N = \frac{cs \times 1000}{\pi \times D}$$

Dimana :

Cs = Kecepatan potong (m/menit)

$\pi$  = Nilai konstanta (3.14)

D = Diameter benda kerja/*cutter*

### 2.11.2 Kecepatan potong (*Cutting speed – Cs*)

Tabel 2.1 Kecepatan Potong Sesuai Bahan

Bahan	Pahat Bubut HSS		Pahat Bubut karbida	
	m/min	ft/min	m/min	ft/min
Baja Lunak ( <i>Mild Steel</i> )	18 - 21	60 - 70	30 - 250	100 - 800
Besi Tuang ( <i>Cast Iron</i> )	14 - 17	45 - 55	45 - 150	150 - 500
Perunggu	21 - 24	70 - 80	90 - 200	300 - 700
Tembaga	45 - 90	150 - 300	150 - 450	500 - 1500

Kuningan	30 - 120	100 - 400	120 - 300	400 - 1000
Aluminium	90 - 150	300 - 500	90 - 180	a- 600

Sumber: (Krisrianto H,2015)

Kecepatan potong adalah suatu penyayatan benda kerja dengan keadaan alat potong dan material aman. Tabel diatas ini adalah suatu perhitungan internasional yang sudah dipatenkan. Jika material berbeda, maka kecepatan potongnya juga berbeda, begitu juga bahan alat potong yang digunakan.

### 2.11.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth Of Cut*)

Tebal pemakanan dapat dipilih berdasarkan bahan benda kerja, pisau yang digunakan, mesin, sistem pencekaman, dan kecepatan potong.

$$a = L_o - L_i \text{ (mm)}$$

Keterangan:

a = kedalaman pemakanan (mm)

$L_o$  = ukuran atau panjang awal (mm)

$L_i$  = ukuran atau panjang akhir (mm)

Untuk *depth of cut* yang paling sering dipakai pada proses *milling* bervariasi. Beberapa kedalaman potong pada proses *finishing* biasanya dirancang sebanyak tiga yaitu 0.1 mm untuk *low*, 0.2 mm untuk *medium*, dan 0.3 mm untuk *high*.

### 2.11.4 Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*)

Selain istilah *cutting speed* (kecepatan potong), ada juga istilah *feed rate* (kecepatan pemakanan). Sumbodo (2008 : 304) yang mengatakan bahwa “yang dimaksud dengan kecepatan pemakanan adalah yaitu jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau *feed* permenit”. Dia mengemukakan bahwa *cutting speed* berbeda dengan *feed rate*. Kecepatan potong disimbolkan dengan  $V_c$  lebih menjuru kepada istilah kecepatan potong yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan



dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan. Kecepatan potong yang diijinkan ( $V_c$ ) digunakan untuk menentukan rpm atau kecepatan putaran mesin. Sedangkan *feed rate* ( $V_f$ ) sendiri digunakan untuk menghitung kecepatan laju pemakanan meja mesin saat melakukan proses penyayatan.

Pada mesin milling CNC, feedrate yang dinyatakan dalam milimeter per menit, bila digunakan harus disesuaikan dengan jumlah cutting edge dari cutter yang digunakan. Feedrate setiap tepi pahat untuk setiap jenis pahat dan untuk setiap material yang terstandarisasi atau terstandarisasi, Anda cukup memilih yang sesuai dengan kebutuhan Anda. Jadi rumus rasio pakannya adalah :

$$V_f = n \times f_z \times z_n \text{ (mm/min)}$$

Keterangan:

- $V_f$  = *feed rate* (mm/menit)  
 $n$  = kecepatan putaran spindel (rpm)  
 $f_z$  = *feed per gigi* (mm)  
 $z_n$  = jumlah mata pisau

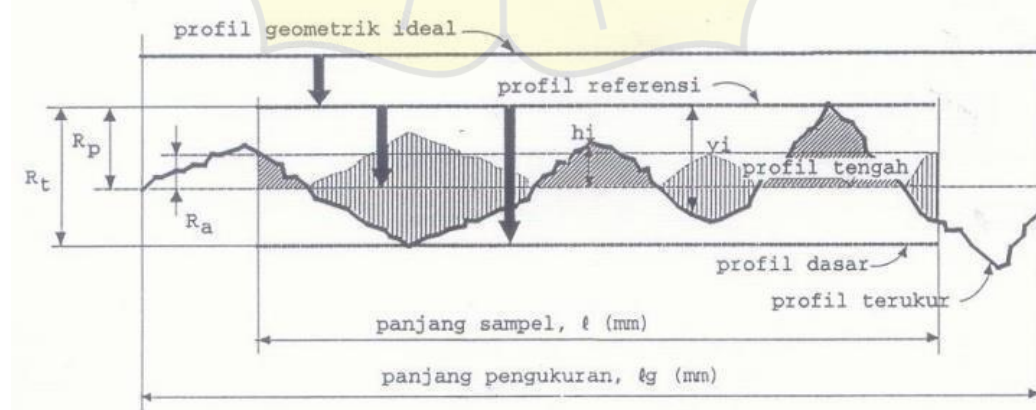
Pemakanan per gigi ( $f_z$ ), diukur dalam mm/tooth , merupakan nilai proses penggilingan untuk menghitung table feed . Jika pemotong memiliki lebih dari satu ujung potong, maka diperlukan nilai  $f_z$  untuk memastikan bahwa setiap ujung potong berada dalam kondisi aman. Nilai umpan per gigi dihitung berdasarkan ketebalan chip yang direkomendasikan. Harga pakan harus dihitung menggunakan rumus sumber pakan dan disesuaikan dengan ukuran alat dan jumlah kepala alat yang akan digunakan. Berikut ini adalah tabel pengumpanan roda gigi yang direkomendasikan untuk pemesinan milling menggunakan pahat HSS dan karbida. Berikut ini adalah daftar tingkat energi suatu bahan menurut Misumi..

Tabel 2.2 Kecepatan pemakanan per gigi sesuai bahan

Material	End mill Face Cutting Depth Max 6 mm			Shell End Mill Face Mill	Form Cutter	Sloting & Side Mill
	< 12	12-25	>25	>40	-	-
Plain carbon steel	0.025	0.075	0.1	0.1-0.3	0.125	0.05-0.2
Alloy Steel	0.025	0.05	0.075	0.1-0.3	0.1	0.05-0.2
Tool Steel CS 18-25 m/mnt	0.025	0.05	0.05	0.075-0.25	0.1	0.05-0.15
Tool Steel CS 05-17 m/mnt	0.025	0.05	0.05	0.075-0.2	0.075	0.05-0.125
Spring Steel	0.025	0.05	0.05	0.075-0.2	0.075	0.05-0.125
Stainless Steel						
304, 304L, 316, 316L	0.025	0.05	0.075	0.125-0.2	0.1	0.05-0.175
410, 416	0.025	0.05	0.075	0.1-0.15	0.1	0.05-0.175
420, 420F	0.025	0.05	0.05	0.075-0.5	0.075	0.05-0.175
440C, 440F	0.013	0.05	0.05	0.05-0.15	0.075	0.05-0.125
Copper	0.05	0.1	0.125	0.1-0.5	0.1	0.05-0.25
Lead Bronze	0.05	0.1	0.125	0.1-0.5	0.1	0.05-0.25
Phospor Bronze	0.05	0.075	0.1	0.075-0.3	0.1	0.05-0.2
Pure Aluminum	0.075	0.1	0.125	0.125-0.5	0.125	0.1-0.3
Aluminum Alloy	0.05	0.075	0.1	0.125-0.5	0.1	0.1-0.3
Cast Iron						
GG20,25	0.025	0.075	0.1	0.125-0.4	0.125	0.05-0.25
GG30,35,40,45,50	0.025	0.05	0.075	0.1-0.3	0.1	0.05-0.2
GG55,60	0.025	0.05	0.05	0.05-0.2	0.075	0.05-0.125

## 2.12 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan yaitu suatu kondisi permukaan yang memiliki ketidakteraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan yang berupa guratan yang akan terlihat pada profil permukaan. Faktor yang mempengaruhi kekasaran tersebut antara lain geometri dan dimensi pahat, parameter pemotongan, cacat pada benda kerja dan sebagainya. Suatu kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan jarak tertinggi dari permukaan hingga jarak terdalam dari suatu permukaan. Dapat juga dinyatakan dengan jarak rata-rata dari ujung profil ke garis tengah.



Gambar 2.10 Profil Permukaan (Sumber: Rochim,2007)

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan beberapa parameter permukaan yang berkaitan dengan dimensi dalam arah vertikal dan horizontal.

Untuk arah vertikal, beberapa parameter diketahui :

- a. Kekasaran perataan  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
- b. Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- c. dari Mean Square Roughness  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ) yang merupakan akar kuadrat dari mean kuadrat jarak antara bagian yang diukur dan bagian tengah .
- d. Kekasaran rata-rata aritmatika  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah rata-rata aritmatika dari jarak absolut antara bagian yang diukur dan bagian tengah .
- e. Kekasaran total rata-rata  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ), adalah jarak antara profil bawah dan bagian yang diukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata antara profil bawah dan bagian yang diukur pada lima lembah terendah .

Nilai kekasaran rata-rata maksimum yang diperbolehkan ( $R_a$ ) ditunjukkan di atas simbol segitiga . Satuan yang digunakan harus sesuai dengan satuan panjang yang digunakan pada gambar teknik (metrik atau inci) . Jika diperlukan  $R_a$  kekasaran minimum , maka dapat ditulis di bawah indeks kekasaran maksimum . Angka kekasaran tersebut dapat diperjelas menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti terlihat pada tabel di bawah ini .

Perhitungan kekasaran dapat dihitung secara matematis yang dirumuskan dengan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum y \text{ (}\mu\text{m)}$$

Tabel 2.3 Standarisasi simbol nilai kekasaran menurut ISO

Kekasaran ( $\mu\text{m}$ )	Tingkat Kekasaran	Panjang Sampel ( $\mu\text{m}$ )
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	
6.3	N9	2.5
3.2	N8	
1.6	N7	0.8
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	
0.1	N3	0.25
0.05	N2	
0.025	N1	

Sumber: Bimbing Atedi dan djoko Agustono (2005)

Angka kekasaran (ISO number) untuk menghindari kesalahan harga satuan kekasaran. Oleh karena itu, parameter kekasaran dapat ditulis secara langsung atau dengan menuliskan angka kekasaran ISO. Panjang benda uji gauge disesuaikan dengan besarnya kekasaran permukaan yang dimiliki. Jika panjang sampel tidak ditunjukkan dengan penulisan simbol, berarti panjang sampel adalah 0,8 mm (jika rating pemesinan baik hingga sedang) dan 2,5 mm (jika proses pemesinan baik). dianggap mentah). (Rochim, 2007) .

### 2.13 Hipotesa

Hipotesis penelitian ini adalah semakin besar sumbu putar maka semakin rendah kekasaran permukaan benda kerja , karena pemotong berputar lebih cepat dan menghasilkan potongan lebih banyak pada waktu tertentu . Semakin tinggi laju gerak makan , semakin tinggi pula beban pemotongannya . Dengan demikian alat akan bergetar semakin tinggi dan kekasaran permukaan akan semakin rendah. Selama pemesinan, kedalaman pengumpanan yang dangkal mengurangi beban saat melakukan pemotongan. Agar pahat tidak terlalu

bergetar pada saat pemotongan dan mengurangi kekasaran permukaan (Triatma et al., 2014 ).

## 2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian yang dilakukan beberapa orang atau kelompok yang mempunyai metode dan tujuan yang sama. Penelitian terdahulu ini berfungsi untuk dasar penelitian yang akan kita buat dan sebagai acuan langkah-langkah penulisan yang tepat.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Peneliti	Metode	Tahun
ANALISIS VARIASI PROSES MILLING CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST41 DENGAN METODE TAGUCHI	Bijak Sunyapa	<i>Taguchi</i>	2016
APLIKASI METODE TAGUCHI PADA OPTIMASI PARAMETER PERMESINAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN KEAUSAN PAHAT HSS PADA PROSES BUBUT MATERIAL ST 37	Angger Bagus Prasetyo	<i>Taguchi</i>	2015
OPTIMASI PARAMETER PROSES PERMESINAN CNC MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN KAYU JATI	Nur Firstiawan	<i>Taguchi</i>	2012
OPTIMASI PARAMETER PROSES PEMESINAN CNC MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST40 DENGAN	Fajar Rahmadi	<i>Taguchi</i>	2010

METODE TAGUCHI			
PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK OPTIMASI SETTING PARAMETER CNC MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL	Farizi Rachman , Bayu Wiro K, Tri Andi Setiawan , Pradita Nurkholies	<i>Taguchi</i>	2020

