

BAB II

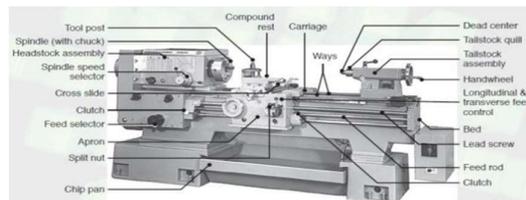
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemesinan

Proses pemesinan merupakan sebuah proses yang paling banyak digunakan untuk membuat suatu produk jadi yang bahan utamanya logam. Ada tiga aspek penting dalam proses pemesinan diantaranya sebagai berikut kualitas produk, energi yang dipakai dan tingkat produksi (Lubis, Rosehan, & W, 2019). Pada proses pembuatan mesin yang lengkap sekitar 60% sampai dengan 80% itu dilakukan dengan proses pemesinan. Pada proses pemesinan ada tiga kelompok dasar prinsip dalam pemotongan logam yaitu pemotongan konvensional, pemotongan dengan non konvensional, dan pemotongan dengan mesin pres. Proses pemotongan dengan konvensional meliputi proses pembubutan, proses milling, proses sekrap. Proses pemotongan menggunakan mesin pres yaitu penggungtingan, pengepresan, penarikan. Pada proses pemotongan logam biasa juga disebut dengan proses pemesinan cara kerjanya yaitu membuang bagian benda yang tidak dibutuhkan, sehingga menjadi benda yang diinginkan (Rahdiyanta, 2010). Pada proses pemesinan yang digunakan pada proses produksi harus memiliki ketelitian yang tinggi untuk menghasilkan produk yang berkualitas baik. Kepresisian, ketelitian dan kekasaran permukaan menjadi hal utama dalam acuan pengerjaan di dalam proses pemesinan (Salam & Sunarto, 2020).

2.2 Mesin Bubut

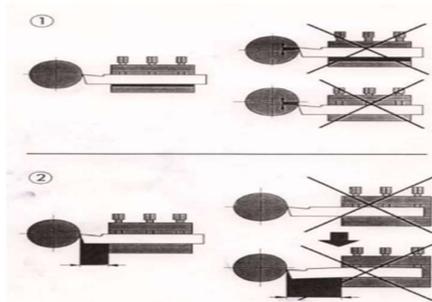
Mesin bubut adalah salah satu mesin perkakas yang kebanyakan terbuat dari logam, berfungsi untuk membuat benda yang silindris, mesin bubut juga dapat digunakan untuk memotong dan membuat ulir (Mahendra, Anggara, Kapel, & Miftahudin, 2021). Pada mesin bubut gerakan utamanya yaitu berputar, benda kerja dicekam pada cekam mesin bubut, sehingga jika chuck berputar maka benda kerja ikut berputar, pahat bubut di pasang pada tempatnya yaitu tool post pahat ini bisa bergerak memanjang maupun melintang tergantung kita menggunakan eretan yang digunakan (Damara & Budiman, 2019). Mesin bubut ini paling banyak digunakan di industri manufaktur, Lembaga Pendidikan dan Lembaga pelatihan. Mesin bubut konvensional, mesin bubut ini hanya mempunyai beberapa kecepatan putaran, hal ini dikarenakan ada batasan batasan dalam tingkatan rasio sehingga kecepatannya menyesuaikan (Royandi & Effendi, 2016).



Gambar 2. 1 Mesin bubut
sumber: (Gundara & Riyadi, 2017)

2.3 Proses Bubut

Dalam proses bubut, dalam pembuatan komponen waktu yang membutuhkan waktu harus seminimal mungkin agar menghasilkan kualitas produksi yang baik (Margono & Wardoyo, 2020). Proses pembubutan merupakan proses pemesinan dengan menggunakan satu mata potong yaitu pahat bubut yang berguna untuk membuang bagian benda kerja yang berputar yang tidak diinginkan untuk mendapatkan hasil produk yang diinginkan. proses pembubutan memiliki cirrikhas yang dimiliki untuk membuat benda kerja yang memiliki bentuk silindris (Dwipayana & Fadli, 2019). Pahat bubut ini harusnya terbuat dari bahan material yang lebih kuat dari pada bahan material benda kerja. fungsi dari mesin bubut in juga membentuk benda kerja dengan spesifikasi geometri yang diinginkan, biasanya benda kerjanya terbuat dari bahan logam (Mudjijanto, Sutarto, & Sarip, 2019). Proses pembubutan pemasangan pahat pada *tool post* harus lah benar dimana pahat bubut tidak boleh terlalu Panjang keluar dari *tool post* karena akan membuat pahat bubut ini getaran jika pahat bubut terlalu Panjang keluar dari *tool post* dan ujung pahat bubut ini harus memiliki ketinggian yang yang sejajar dengan sumbu benda kerja (Rahdiyanta, 2010).



Gambar 2. 2 Mengatur Pahat bubut
Sumber: (Rahdiyanta, 2010)

Pada proses pembubutan terdapat beberapa hal yang mempengaruhi daya yang dibutuhkan yaitu: Kedalaman potong (*depth of cut*), kecepatan potong, penggunaan material benda kerja dan lain-lain (Damara & Budiman, 2019). Adapun jenis-jenis pembubutan sebagai berikut (Nurdjito & Arifin, 2015):

1. Membubut Lurus.
2. Membubut Muka.
3. Membubut Alur.
4. Membubut Ulir.
5. Membubut Tirus.
6. Membubut Dalam.

2.3.1 Parameter yang Dapat Diatur Dalam Mesin Bubut

Parameter utama pada mesin bubut terbagi menjadi tiga pada setiap prosesnya yaitu kecepatan putaran spindel, gerakan pemakanan (*feed*), dan kedalaman

potongan (*depth of cut*), tiga bagian ini dapat di atur secara langsung oleh oprator mesin bubut (Sastal, Gunawan, & Sudia, 2018).

Adapun penjelasan dari tiga parameter utama pada mesin bubut sebagai berikut:

1. Kecepatan Putaran Spindel

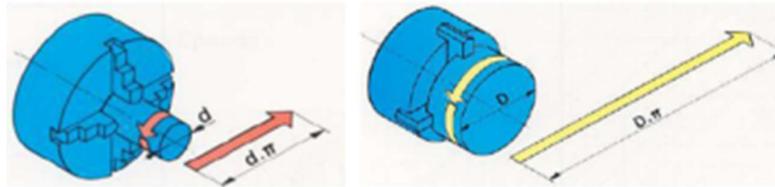
Kecepatan putaran pasti berhubungan dengan benda kerja dan sumbu utama atau spindel. dikarenakan kecepatan putaran di nyatakan dalam putaran permenit, tetapi hal yang diutamakan dalam proses pembubutan yaitu kecepatan potong (Putra & Huda, 2020).

kecepatan potong merupakan dimana kecepatan pahat bergerak memotong benda kerja. untuk mengetahui berapa kecepatan potongan dapat menggunakan persamaan berikut (Mataram, Saputra, & Setiyawan, 2020):

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

dimana:

- v : Kecepatan potong (m/menit)
- D : Diameter benda kerja (mm)
- n : Kecepatan Spindel (rpm)

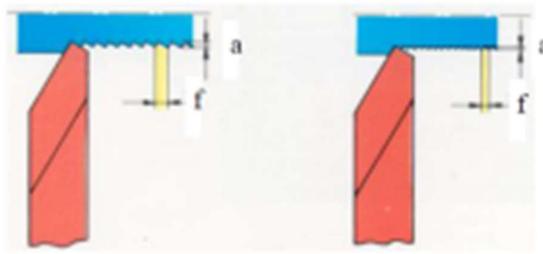


Gambar 2. 3 Kecepatan potong
Sumber : (Putra & Huda, 2020)

Kecepatan potong memiliki faktor-faktor yang mempengaruhinya yaitu material pahat, material benda kerja, proses pendinginan, proses pemotongan dan kekakuan benda kerja (Kosjoko, 2018).

2. Gerakan Pemakanan (*Feed*)

Gerak pemakanan atau *Feed* merupakan jarak yang ditempuh pada pahat setiap satu kali putaran benda kerja, jadi satuan dari gerak pemakanan atau *feed* (f) yaitu mm/putaran. material benda kerja, material pahat, kekuatan mesin dan kekasaran benda kerja yang dikehendaki menentukan gerak pemakanan. gerkan pemakanan sering ditentukan berhubungannya dengan kedalaman pemakanan (a). gerak pemakanan ini mempunyai nilai $1/3$ sampai dengan $1/20$ a , atau sesuai dengan permukaan benda kerja yang diinginkan (Afriany, Iلمي, Asmadi, & Effendi, 2018).



Gambar 2. 4 Gerakan Pemakanan
 Sumber: (Putra & Huda, 2020)

Menghitung kecepatan pemakanan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Damara & Budiman, 2019):

$$vf = f \times n \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

vf = Laju pemakanan (mm/menit)

f = Gerak makan (mm/rad)

n = Kecepatan putar (rpm)

3. Kedalaman Potongan (*depth of cut*)

kedalaman potongan atau *depth of cut* merupakan kedalaman bagian yang di potong pada benda kerja, atau bisa juga artikan sebagai jarak antara bagian yang di potong dan bagian yang belum terpotong, dimana jika pahat bubut maju memotong sebanyak a , maka benda yang terpotong sebanyak $2.a$, dikarenakan bagian benda kerja yang berputar maka bagian benda kerja yang terpotong mempunyai dua sisi (Putra & Huda, 2020).

Untuk menentukan kedalaman potongan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Rahdiyanta, 2010):

$$a = \frac{(D_o - D_m)}{2} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

a = Kedaalaman Potongan (mm)

D_o = Diameter awal (mm)

D_m = Diameter akhir (mm)

2.4 Pahat Bubut

Pahat merupakan salah satu alat yang dipasang pada mesin perkakas. Alat potong yang digunakan pada mesin bubut dinamakan dengan pahat bubut. pahat bubut ini digunakan untuk memotong benda kerja singga menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan (Nugroho, Ridhuan, & Suraya, 2017). pada proses kerjanya dimana pahat bubut ini dipakai untuk memotong benda kerja yang memiliki material keras sehingga dibutuhkan material pahat yang lebih kuat dari pada material benda kerja yang ingin dibubut.



Gambar 2. 5 Pahat Bubut
Sumber: (Sastal, Gunawan, & Sudia, 2018)

2.4.1. Material Pahat Bubut HSS

Baja HSS ini adalah jenis material pahat potong yang paling sering digunakan. di temukan baja kecepatan tinggi ini pertama kalinya yaitu pada tahun 1898 dimana baja ini merupakan baja panduan tinggi dengan unsur *chrom* (Cr) dan *Tungsten/wolfram* (W). dalam keadaan lunak material ini dapat di bentuk secara pemesinan menjadi berbagai macam pahat potong (Dewangga, Nugraha, & Dantes, 2017). Perkembangan alat potong semakin kesini semakin maju seperti pahat bubut yang berjenis Karbida, CBN, Insert dan keramik, meskipun begitu pahat HSS masih tetap dipakai pada industri manufaktur sekala sedang sampai kecil, dan juga di bidang Pendidikan (Apriansyah, Widagdo, & Zainuddin, 2020).

2.5 Material

Bahan material adalah salah satu faktor yang ikut mempengaruhi kualitas hasil proses pembubutan. hal ini berhubungan terhadap sifat-sifat yang dimiliki oleh bahan tersebut, sifat-sifat itu terdiri dari sifat keras, lunak dan lain-lain. sifat yang banyak terdapat pada suatu bahan yaitu sifat keras dengan tingkat kekerasan yang berbeda-beda pada setiap kandungan karbon dalam bahan itu. jika tingkat kekerasan bahan tersebut dikerjakan dalam mesin produksi salah satunya pada pembubutan akan menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang berbeda-beda dalam tingkat kekerasan dari masing-masing bahan tersebut. hal ini terjadi dikarenakan sifat bahan-bahan tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda-beda (Salam & Sunarto, 2020).

2.6 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan antara Fe dan C dimana kadar C sampai 2,14%. Kandungan karbon mempengaruhi sifat-sifat mekanik pada baja karbon. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya (Nurhilal, 2017).

2.6.1 Jenis-Jenis Baja Karbon

Adapun Jenis dari baja Karbon Sebagai berikut:

1. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,56%C – 1,7%C dimana setiap satu ton baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon sekitar 70-130 kg. memiliki kekerasan tinggi dan banyak digunakan untuk pembuatan tools. pada baja

karbon ini memiliki sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong (Saputra & Widjayanto, 2019).

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang memiliki kandungan unsur karbon sekitar 0,25%C – 0,55%C. pada setiap satu ton baja karbon mengandung sekitar 30-60 kg karbon. Baja karbon sedang ini banyak digunakan dalam membuat shaft, crankshaft dan poros (Saputra & Widjayanto, 2019).

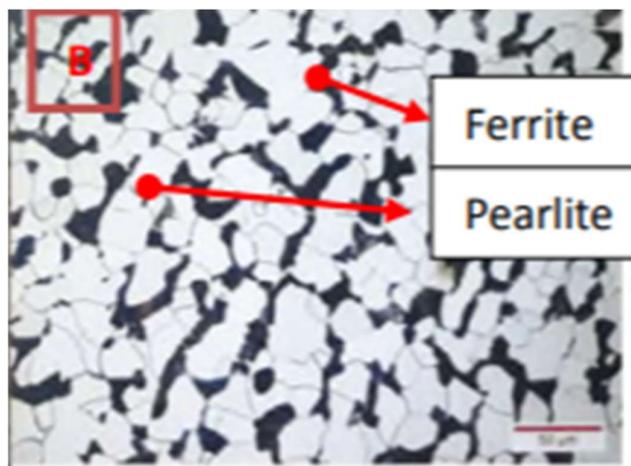
3. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. Pada baja karbon rendah ini merupakan baja yang paling mudah untuk diproduksi diantara karbon yang lain, mudah dilakukan proses pemesinan dan las, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi memiliki kekerasan yang rendah dan tahan aus (Firdaus, Setiadi, & Sadiana, 2019).

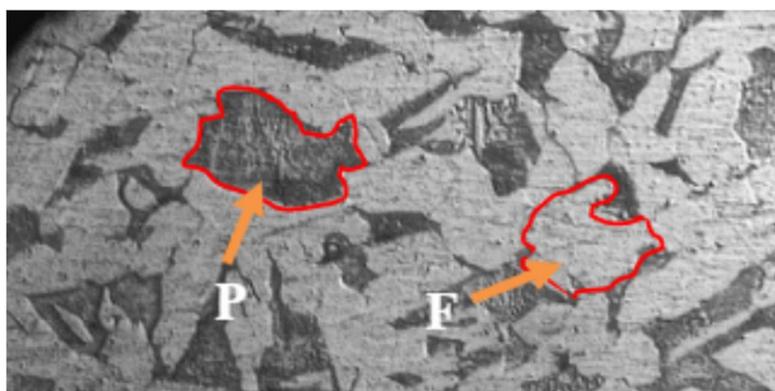
2.6 Baja ST 37

Baja ST 37 adalah salah satu material yang mempunyai kadar karbon yang rendah, Baja ST 37 ini memiliki kadar karbon yang kurang dari 0,30%. Baja ST 37 ini memiliki kekuatan tarik 370 N/mm^2 kekuatan tarik merupakan kemampuan maksimal yang dimiliki oleh material sebelum material itu patah. Baja karbon ST 37 ini mempunyai bermacam-macam kandungan unsurnya seperti Karbon (C) yaitu 0,15%, Silikon (Si) yaitu 0,001%, Mangan (Mn) yaitu 0,6%, Sulfur (S) yaitu 0,0011% dan Fosfor (P) yaitu 0,050%. (Aminuddin, Santosa, & Yudo, 2020). Baja ST 37 ini biasa dipakai untuk konstruksi dikarenakan mempunyai sifat yang tahan las dan mempunyai kepekaan terhadap retak las. (Sugiyanto & Prabowo, 2018) Baja ST37 ini memiliki sifat yang mudah di proses pemesinan, dimana ST 37 ini biasa digunakan dalam pembuatan roda gigi, poros dan baut (Prasetyo, 2015).

Struktur mikro dari baja ST 37 dapat dilihat pada gambar 2.6 dimana baja ST 37 ini banyak mengandung kristal Ferit dibandingkan dengan kristal perlit. pada gambar 2.6 terlihat ferit yang halus dan terang sedangkan perlit terlihat agak gelap dan agak kasar. dimana kristal ferit mempunyai sifat yang lunak, pada perlit mempunyai sifat lebih keras dibandingkan dengan ferit (Prayogi & Suhardiman, 2019).



Gambar 2. 6 Struktur Mikro Baja ST37 dengan pembesaran 500x
 Sumber: (Susila & Prayitno, 2017)



Gambar 2. 7 Struktur Mikro Baja ST37
 Sumber: (Mukti & Anggono, 2017)

2.7 Kekasaran Permukaan

Proses pemesinan setiap permukaan benda kerja pasti mengalami kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan merupakan kesalahan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata permukaan. permukaan benda kerja memiliki nilai berbeda-beda dalam kekasaran permukaan benda kerja yang dipengaruhi oleh kebutuhan di dalam dunia industri (Sutrisna, Nugraha, & Dantes, 2017). Adapun sebuah komponen memiliki karakteristik geometris yang ideal yaitu permukaan yang halus (Salam & Sunarto, 2020). Nilai kekasaran yang terjadi pada logam adalah salah satu pertimbangan untuk menentukan kualitas produk logam (Budiana, et al., 2020). Nilai kekasaran permukaan dihasilkan dari proses manufaktur, dimana pada proses *turning* rentang kekasaran 0,5-6 μm dikategorikan baik.

Tabel 2. 1 Nilai Kekasaran Permukaan dihasilkan berbagai Proses Manufaktur

Proses	Typical Surface Finish	Range of Roughness (μm)	Proses	Typical Surface Finish	Range of Roughness (μm)
Die Casting	Good	1-2	Turning	Good	0,5-6
Investment casting	Good	1.5-3	Grinding	Very Good	0,1-2
Sand Casting	Poor	12-25	Honing	Very Good	0,1-1
Cold rolling	Good	1-3	Lapping	Excelent	0.05-05
Sheet Metal draw	Good	1-3	Polishing	Excelent	0.1-0.5
Cold Extrusion	Good	1-3	superfinishing	Excelent	0.02-0.3
Hot rolling	Poor	12-25	Chemical Milling	Medium	1.5-5
Boring	Good	0.5-6	Electric Discharge	Good	0.2-2
Drilling	Medium	1.5-6	Electron Beam	Medium	1.5-15
Milling	Good	1-6	Laser Beam	Medium	1.5-15

Sumber: (Karmin, Ginting, & Yunus, 2013)

Adapun dua bentuk perbedaan kekasaran permukaan yaitu (Suroso & Prayogi, 2019):

1. *Ideal Surface Roughness* merupakan sebuah proses pemesinan yang kekasaran idealnya memenuhi keadaan ideal.
2. *Natural Surface Roughness* merupakan proses pemesinan menghasilkan kekasaran natural.
3. Hasil kekasaran natural dapat di pengaruhi dari beberapa faktor yaitu:
 - 1) Oprator.
 - 2) Getaran yang terjadi pada mesin.
 - 3) Adanya cacat pada material.
 - 4) Ketidak teraturan *feed mechanism*.

Mendapatkan permukaan yang benar-benar halus dalam praktiknya sangatlah susah untuk menghasilkan suatu benda kerja dengan permukaan yang benar-benar halus. hal-hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu salah satunya yaitu disebabkan dari oprator dan mesin-mesin yang digunakan dalam proses pembuatannya.

2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah salah satu meode dimana penerapannya untuk meminimukan cacat. Metode Taguchi diperkenalkan pertama kalinya oleh Dr. Genichi Taguchi Tahun 1949. Metode ini sudah sering digunakan dalam bidang

industri. Metode Taguchi merupakan salah satu metode yang bertujuan memperbiki kualitas produk dan proses produksi secara bersamaa menekan biaya seminimal mungkin (Prasetyo, 2015). Metode Taguchi adalah salah satu metode *Off-line* dimana metode ini dilakukan sebelum maupun sesudah produksi, metode ini sangat bagus untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi biaya. Pada eksperimen taguchi ada tiga tahap utama yang mencakup pendekatan eksperimen yaitu perencanaan eksperimen pelaksanaan eksperimen, dan analisis, adapun pengertiannya sebagai berikut (Andriani, Setyanto, & Kusuma, 2017):

1. Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen merupakan tahapan yang terptng, seperti penentuan tujuan, perumusan masalah eksperimenpenentuan, pemilihan variabel tak bebas, menegetahui faktor-faktor, perbedaan faktor kontrol dan faktor pengganggu, pemilihan jumlah level dan nilai faktor. Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi dapat menggunakan diagram sebab-akibat atau diagram tulang ikan (Halimah & Ekawati, 2020).

2. Tahapan Pelaksanaan Eksperimen

Tahapan pelaksanaan eksprimen ini merupakan tahapan yang penting dalam pengumpulan hasil pengujian. Jika suatu eksperimen pelaksanaannya sesuai dengan yang sudah dirancang dengan baik, maka akan memudahkan peneliti saat melakukan analisis dan dapat mendapatkan hasil yang lebih akurat (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020).

3. Tahapan Analisis Eksperimen

Tahapan analisis eksperimen ini merupakan tahapan pengolahan data yaitu pengumpulan data, perhitungan data, pengaturan data, dan penyampaian data eksperimen, dimana analisa ini menggunakan ANOVA (Nurrohkayati, Binyamin, & Khairul, 2020). untuk mengetahuin pengaruh dari faktor-fator kendali dengan faktor yang takterkendali dapat dilakukan pengujian statistik (Cahyo, Subhan, & Pratiwi, 2021).

2.8.1 Karakteristik kualitas

Pada metode Taguchi karakteristik kualitas dalam metode Taguchi adalah sebagai berikut (Wulandari, Wuryandi, & Ispriyanti, 2016):

1. *Nominal is the best*

karakteristik kualitas dimana nilainya dapat berupa positif maupun negatif. dimana nilai targetnya di tetapkan, sehingga nilai yang dimana yang mendekati niali target adalah nilai yang semakin baik (Andriani, Setyanto, & Kusuma, 2017). Untuk mendapatkan *Nominal is the best* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut: (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020)

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

2. *Smaller is Better*

karateristik kualitas dengan nilai tidak negatif yang memmiliki nilai mulai dari nol, dimana nili yang diinginkan yaitu nol, sehingga yang memiliki nilai

yang paling kecil atau mendekati nol maka nilai tersebut semakin baik (Rhomadan, Napitupulu, & Husman, 2021). Untuk mendapatkan *Smaller is Better* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020):

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

3. *Larger is Better*

Karakteristik kualitas dimana kualitas dengan nilainya tidak terbatas jadi semakin besar nilai maka semakin baik pula kualitasnya (Cahyono, Mufarida, & Finali, 2017). Untuk mendapatkan *Larger is Better* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020):

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

2.8.2 Design Of Experiment (DOE)

Design Of Experiment (DOE) adalah sebuah teknik statistik yang digunakan untuk peningkatan kualitas produk dalam proses. Pada DOE terdapat dua jenis variabel utama, yang pertama variabel independen (faktor) dan yang kedua variabel dependen (respon). Variabel faktor dibagi menjadi dua, yaitu faktor terkontrol dan faktor yang tidak dapat dikontrol atau faktor pengganggu. pada faktor yang diuji terdapat sejumlah level. Secara umum, dalam melakukan prosedur DoE ada enam langkah utama. yang pertama yaitu menentukan tujuan eksperimen, langkah yang kedua yaitu memilih varibel-varibel yang terkait, langkah yang ketiga yaitu menentukan desain eksperimen, langkah yang keempat yaitu melakukan pengambilan data, langkah yang kelima yaitu mengecek apakah data yang diambil sudah sesuai dengan asumsi-asumsi eksperimen, dan langkah yang keenam yaitu menganalisis data hasil eksperimen (Muttaqin, 2019).

2.8.3 Orthogonal Array

Orthogonal array merupakan salah satu metodologi untuk merancang percobaan yang efisien, untuk menganalisis data percobaan, *orthogonal array* ini juga berfungsi untuk memberikan jumlah eksperimen minimal yang mampu memberi banyak informasi faktor yang mempengaruhi parameter. Pemilihan kombinasi level dari faktor-faktor bagian terpenting pada *orthogonal array* (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020). Tabel *orthogonal array* terdiri dari baris dan kolom dimana jumlah baris menentukan jumlah eksperimen dan jumlah kolom menentukan jumlah faktor (Andriani, Setyanto, & Kusuma, 2017). Adapun penomoran *orthogonal array* sebagai berikut (Setyanto & Lukodono, 2017):

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana:
 L = Rancangan Bujur sangkar.
 a = Banyaknya Eksperimen.

b = Banyaknya Level.
 c = banyaknya Faktor.

2.8.4 ANOVA

ANOVA atau Analisis ragam merupakan teknik statistika yang berfungsi untuk mendeteksi adanya perbedaan rata-rata. (Lusiana & Mahmudi, 2021). ANOVA ini digunakan dalam metode Taguchi untuk menentukan proses dan parameter mana yang signifikan secara statistik dan kontribusi setiap parameter yang di tentukan (Pribadi, Yulianto, & Girawan, 2020). Adapun beberapa persamaan yang digunakan dalam perhitungan ANOVA sebagai berikut (Nurrohkayati, Zulrahman, Syach, & Khairul, 2021):

1. Adapun rumus untuk menghitung jumlah kuadrat adalah sebagai berikut:

$$SSA_1 = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$SSB_1 = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$SSE = SS_T - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E - SS_{A \times C} - SS_{A \times D} \dots\dots\dots(2.12)$$

2. Adapun rumus untuk menghitung drajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$V_T = N - 1 \dots\dots\dots(2.13)$$

$$V_A = K_A - 1 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_C - V_D - V_E - V_F - V_G \dots\dots\dots(2.15)$$

Perhitungan nilai F-Ratio

$$F\text{-ratio} = \frac{Ms \text{ Pada masing-masi faktor}}{Ms \text{ Error}} \dots\dots\dots(2.16)$$

3. Adapun rumus untuk menghitung persen kontribusi adalah sebagai berikut:

$$P = \left[\frac{SS_A}{SS_T} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$