

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industri manufaktur yang berkembang sangat pesat sebuah produk hasil manufaktur harus memiliki kualitas produk yang tinggi, utamanya pada produk hasil permesinan seperti produk hasil pembubutan. Salah satu mesin perkakas yang digunakan adalah mesin bubut. Pada sejarahnya, mesin bubut pertama kali ditemukan 1800 M di Inggris. Pada saat itu mesin bubut masih sangat sederhana dan tidak begitu rumit untuk dioperasikan sehingga produk yang dihasilkan juga sangat sederhana seperti baut, mur serta benda-benda berbentuk silindris lainnya.

Mesin Bubut adalah mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang berputar. Bubut merupakan suatu proses pemakanan benda kerja dengan mensayat benda kerja yang berputar. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan. Proses bubut (*turning*) dalam industri manufaktur merupakan salah satu proses yang digunakan dalam pemotongan logam. (Azib, 2017).

Salah satu permesinan yang paling sering ditemui saat ini adalah proses pembubutan. Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram (Nurdjito dan Arifin, 2015).

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. Salah satu dari sekian banyak jenis baja adalah baja AISI 1042. Baja Aisi 1042 merupakan baja karbon sedang dimana terdapat kandungan Carbon (0,40% - 0,47%), Mangan (0,6 % - 0,9%) , Posfor ($\leq 0,04\%$), Sulfur ($\leq 0,05\%$) dan baja karbon sedang memiliki kandungan 0,30% - 0,60%, Baja karbon ini yang banyak digunakan bahan dasar pembuatan mur, baut, ataupun roda gigi. (Adji Dzurfanny)

yang tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti *gear*, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat-alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*) (Pratowo & Fernando, 2018).

Mukherjee, dkk (2014) menyimpulkan bahwa kedalaman potong memiliki pengaruh paling signifikan terhadap laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan diikuti oleh kecepatan pemakanan (*feed rate*), dengan meningkatkan kedalaman potong (*depth of cut*) maka laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) juga ikut meningkat.

Vinayak, dkk (2019) menyatakan bahwa rasio S/N dan main *effect plot* untuk MRR, dapat disimpulkan optimal. Parameter pemesian untuk memaksimalkan tingkat laju pengerjaan material, dimana kecepatan potong pada sebesar 750 m/ mnt, gerak umpan 0.07 mm/mnt, dan kedalaman pemotongan 0.5 mm adalah *setting* parameter yang disarankan untuk mendapatkan MRR yang tinggi.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti akan membahas tentang “**ANALISIS MATERIAL REMOVAL PEMBUBUTAN BAJA AISI 1042 TERHADAP VARIABEL PERMESINAN DENGAN MENGGUNAKAN PAHAT KARBIDA**” untuk membuktikan bahwa parameter apa yang paling berpengaruh terhadap *material removal rate* sesuai dengan parameter permesinan [Kecepatan spindel (rpm), Kedalaman potong (mm), dan Kecepatan makan (mm/put)].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan diatas dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana *setting* parameter permesinan sehingga *material removal rate* (MRR) atau laju pembuangan material bisa optimal pada proses bubut material baja AISI 1042.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hubungan *Feed*, Kecepatan Spindel, dan *Depth Of cut* terhadap *Material Removal Rate* (MRR) pada pembubutan material baja AISI 1042.
2. Optimasi MRR terhadap variasi parameter permesinan [Kecepatan spindel (rpm), Kedalaman potong (mm), dan Kecepatan makan (mm/put)] dengan menggunakan metode *Taguchi* pada pembubutan material baja AISI 1042.
3. Untuk mengetahui kontribusi yang dihasilkan oleh setiap parameter permesinan berdasarkan metode *Taguchi*. Dengan menggunakan pahat karbida

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1042 berbentuk silinder dengan panjang 100 mm dan diameter 25,4 mm.
2. Kedalaman potong pembubutan (a) adalah 1 mm.
3. Menggunakan pahat karbida dimana kondisi pahat dianggap selalu sama.
4. Parameter permesinan yang divariasikan adalah Kecepatan spindel (90 rpm, 180 rpm, 300 rpm, 425 rpm), Kecepatan makan (0,05 mm, 0,13 mm, 0,24 mm 0,34 mm), dan Kedalaman potong 1 mm/put.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh parameter permesinan untuk mendapatkan nilai MRR optimal pada proses bubut material baja AISI 1042 dengan menggunakan metode *Taguchi*.
2. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang Manufaktur.
3. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Permesinan

Hampir setiap produk yang diproduksi memiliki komponen yang memerlukan pemesinan, seringkali dengan presisi tinggi. Oleh karena itu, kumpulan proses ini adalah salah satu proses yang paling penting dari proses manufaktur dasar karena nilai tambah pada produk akhir. Dengan cara yang sama, proses pemesinan seringkali lebih mahal. Proses permesinan adalah istilah yang mencakup banyak koleksi proses manufaktur yang dirancang untuk menghilangkan bahan yang tidak diinginkan, biasanya dalam bentuk *chip*, dari benda kerja. Proses Permesinan digunakan untuk merubah hasil coran, tempa, atau blok logam yang sudah terbentuk sebelumnya menjadi bentuk yang diinginkan, dengan ukuran dan hasil akhir yang ditentukan untuk memenuhi persyaratan desain.

Setiap jenis alat mesin dasar memiliki banyak konfigurasi yang berbeda. misalnya, mesin bubut turet mesin bubut, mesin pelacak roda, atau mesin sekrup otomatis. Mesin bubut telah mengikuti tren alat mesin lainnya, dan mesin bubut NC sekarang dapat dibeli secara mudah. Proses pembentukan *chip* utama tercantum di bawah ini, dengan versi alternatif dalam tanda kurung. Setiap proses adalah dilakukan pada satu atau lebih peralatan mesin dasar. Misalnya, pengeboran dapat dilakukan pada mesin bor, penggilingan mesin, mesin bubut, dan beberapa mesin diantaranya:

1. Turning (boring, facing, cutoff, taper turning, form cutting, chamfering, recessing, thread cutting).
2. Shaping (planing, vertical shaping)
3. Milling (hobbing, generating, thread milling)
4. Drilling (reaming, tapping, spot facing, counterboring, countersinking)
5. Sawing (filing)
6. Abrasive machining (grinding, honing, lapping)

Sebagian besar aplikasi industri permesinan adalah logam. Meskipun proses pemotongan logam telah menolak analisis teoretis karena kerumitannya, penerapan proses ini di dunia industri tersebar luas. Proses pemesinan dilakukan pada berbagai peralatan mesin. Contoh lain dari peralatan mesin dasar adalah mesin giling, bor tekan, penggiling, pembentuk, mesin penggerek, dan gergaji Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibentuk melalui proses pemesinan biasanya memiliki bentuk profil berupa bentuk dan ukuran yang telah distandarkan misalnya, bentuk bulat "O", segi empat, segi enam "L", "I" "H" dan lain lain. (ASM Internasional.Vol 16, 1995).

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu: proses pemotongan dengan mesin press, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrup (*shaping*). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses permesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari

seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan. Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan yaitu:

1. Berdasarkan Gerak Relatif Pahat

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua komponen gerakan yaitu:

- Gerak potong (*cutting movement*), Dimana gerak potong adalah gerak yang menghasilkan permukaan baru pada benda kerja.
- Gerak makan (*feeding movement*), Gerak makan adalah gerak yang menyelesaikan permukaan baru yang telah di potong oleh gerak potong.

2. Berdasarkan Jumlah Mata Pahat yang digunakan

Pahat yang dipasangkan pada suatu jenis mesin perkakas memiliki mata pahat yang berbeda-beda. Jenis pahat/perkakas potong disesuaikan dengan cara pemotongan dan bentuk akhir dari produk. Adapun pahat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis pahat yaitu pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tools*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cuttings tools*).

3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

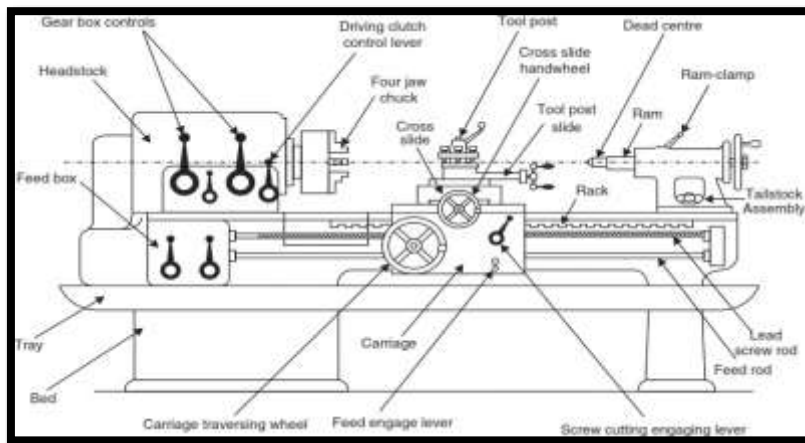
Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan (proses generasi permukaan; *surface generation*). Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan dalam dua garis besar proses yaitu:

- Generasi permukaan silindrik atau konis
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas. Misalnya, mesin bubut tidak selalu digunakan sebagai untuk membubut saja melainkan dapat pula digunakan untuk menggurdi, memotong dan melebarkan lubang (*boring*) dengan cara mengganti pahat dengan yang sesuai. Bahkan dapat digunakan untuk mengefreis, menggerinda atau mengasah halus asalkan pada mesin bubut yang bersangkutan dapat dipasangkan peralatan tambahan (*attachments*) yang khusus (Kencanawati, 2017).

1.6.2 Mesin Bubut



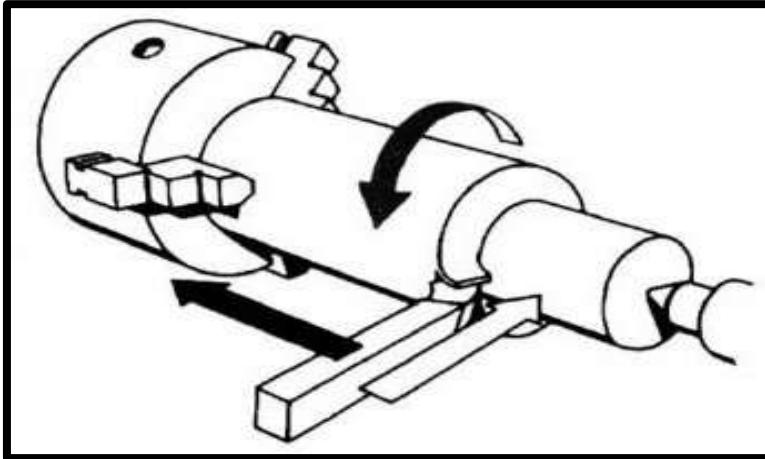
Gambar 1. 1 Komponen Mesin Bubut Sumber, (Gupta, et al., 2009)

Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris, namun dapat juga dipakai untuk beberapa kepentingan lain. Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan pahat potong (*cutting tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut.

Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian *spindel* dan benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu. Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan ditempelkan pada benda kerja yang berputar sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam.

Pada kelompok mesin bubut juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomatis, baik yang dilayani dengan sistem hidrolik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya pun tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut konvensional yang dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1.000 mm atau lebih (Azhar, 2014).

Pergerakan memanjang dari pahat sepanjang luncuran (*sliding*) menghasilkan suatu permukaan yang bundar, dan pergerakan melintang untuk "*surfacing*" (atau *facing*) menghasilkan suatu permukaan yang rata. Gerak putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan (*feeding*). Bila gerak umpan lebih lambat dibandingkan dengan gerak potongnya akan dihasilkan benda kerja berbentuk silindrik dengan alur spiral yang hampir tidak kelihatan, dapat dikatakan, permukaan benda kerja tersebut halus. Bila gerak umpannya secara translasi dipercepat dan gerak potongnya diperlambat maka bentuk alur spiral yang mengelilingi benda kerja silindrik tersebut semakin jelas atau permukaan benda kerja kasar (Upa, 2009).



Gambar 1. 2 Gerakan Pada Proses Pembubuta Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

1.6.3 Bagian-bagian Mesin Bubut

1. Kepala tetap (*Headstock*)
Kepala tetap (*Headstock*), adalah bagian dari mesin bubut yang merupakan tempat dari komponen-komponen utama penggerak dari sumbu utama (*main spindle*) yang berfungsi sebagai tempat dudukan pencekam (*Chuck*), plat pembawa, kolet, senter, pada sebuah sumbu utama (*Main spindle*) terpasang sebuah pencekam. Thermoelectric Cooler (*Chuck*), di dalam box transmisi (*Gearbox Transmission*) terdapat susunan roda gigi yang dapat digeser-geser melalui tuas (*Handle*) berfungsi dapat mengoperasikan mesin sesuai dengan kebutuhan pembubut. (Segara, 2020)
2. Meja Mesin (*Bed*)
Meja mesin bubut juga berfungsi tempat dari dudukan kepala lepas, eretan lepas, penyangga diam (*Steady rest*) dan merupakan tumpuan dari gaya pemakanan saat pembubutan bentuk dari alas bermacam-macam, ada yang datar Permukaanya halus dan rata, sehingga gerakan dari kepala lepas bergerak lancar.
3. Eretan (*Carriage*)
Eretan (*Carriage*), adalah bagian dari komponen mesin yang digunakan untuk penyetelan dari posisi pahat HSS pada arah memanjang, ke kanan dan kiri baik secara manual dan otomatis.
4. Kepala lepas (*Tail stock*)
Kepala Lepas merupakan bagian utama dari mesin bubut yang berfungsi sebagai penopang dalam membubut benda kerja yang panjang, agar benda kerja tetap berputar pada sumbunya, meletakkan mata bor, dan tap.
5. Penjepit pahat (*Toolpost*)
Penjepit pahat (*Toolpost*) digunakan untuk menjepit atau memasag pahat, maka bisa menambahkan lempengan plat besi, agar posisi ujung pahat tingginya dapat satu sumbu (*senter*) dengan kepala lepas.
6. Pencekam (*Chuck*)

Pencekam (Chuck), berfungsi digunakan untuk menjepit benda kerja pada mesin bubut. Jenis cekamnya ada yang berahang 3 (tiga) sepusat (Self centering chuck) dan ada juga yang berahang 3 (tiga) dan 4 (empat) tidak sepusat.

7. Kran pendingin

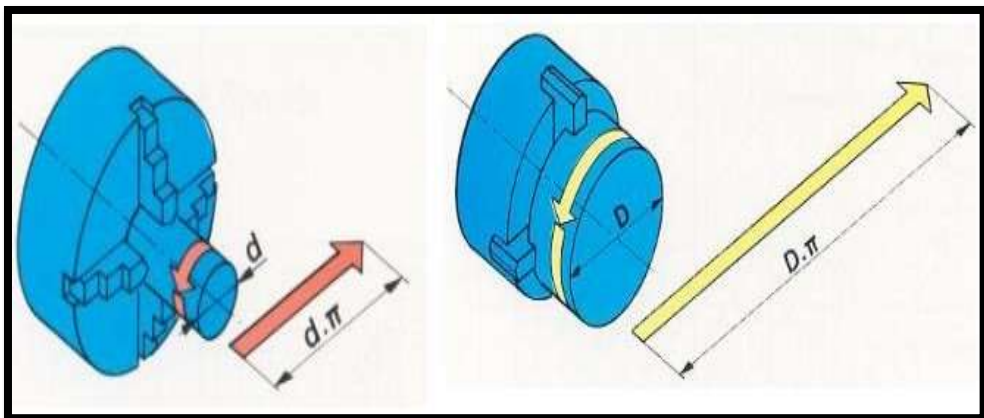
Kran pendingin berfungsi untuk menyalurkan cairan pendingin (*bromus*) saat proses pembubutan. Pemberian cairan pendingin berfungsi untuk mendinginkan benda kerja baja karbon menengah AISI 1042 (HQ760) dan pahat potong HSS pada saat terjadinya proses pembubutan sehingga pahat tidak mudah aus.

Mesin bubut merupakan salah satu metal cutting machine dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram. Prinsip kerja mesin bubut adalah:

1. Benda kerja berputar pada sumbunya
2. Gerakan alat potong:
 - a. Alat potong bergerak sejajar sumbu utama disebut pembubutan memanjang.
 - b. Alat potong bergerak tegak lurus terhadap sumbu utama disebut pembubutan permukaan.
 - c. Alat potong bergerak bersudut terhadap sumbu utama disebut pembubutan konis atau pembubutan tirus (Nurdjito dan Arifin, 2015).

1.6.4 Variabel Permesinan

Ada 3 (tiga) parameter utama pada setiap proses bubut yaitu kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.



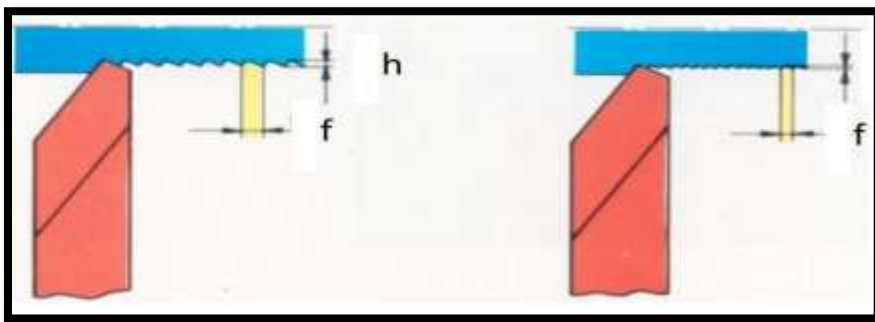
Gambar 1.3 Panjang permukaan benda kerja Sumber: Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Kecepatan putaran (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute, rpm*). Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah

kecepatan potong (*Cutting speed* atau V) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja

Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat. Harga kecepatan potong sudah tertentu tergantung jenis bahan/benda kerja, jenis alat potong, dan kekasaran pemakanan pahat bubut. Misalnya untuk benda kerja *Mild Steel* dengan pahat dari HSS, kecepatan potongnya antara 20 sampai 30 m/menit.

Gerak makan, f (*feed*), adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (gambar 2.4), sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong h . Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ h , atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.



Gambar 1. 4 Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)

Kedalaman potong, h (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong. Ketika pahat memotong sedalam h , maka diameter benda kerja akan berkurang $2h$, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar (Nurdjito dan Arifin, 2015).

Bagi suatu tingkat proses, ukuran produk terlebih dahulu ditentukan dan kemudian pahat harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran benda kerja tercapai. Hal ini tidak terlepas dari elemen dasar proses pemesinan.

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut ini:

Kecepatan potong

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}; \text{ m/min} \quad (2.1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d &= \text{diameter rata-rata} \\ &= (d_o + d_m)/2, \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Kecepatan makan

$$V_f = f \cdot n, \text{ mm/min} \quad (2.3)$$

Dimana:

f = gerak makan, mm/put
 n = putaran spindel, rpm

Tabel 1. 1 Variabel Permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan

Workpiece material	Cutting tool	Range for roughing and finishing		
		Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting Speed, m/min
Low carbon and free machining Steel	Uncoated carbide	0,5-7,6	0,15-1,1	60-135
	Ceramic-coated carbide	"	"	180-495
	Triple coated carbide	"	"	90-245
	Tin coated carbide	"	"	60-230
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	"	365-550
Medium and High Carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-0,75	135-225
	Ceramic-coated carbide	"	"	120-210
	Triple coated carbide	"	"	75-215
	Tin coated carbide	"	"	45-215
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	"	245-455

Sumber: (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Secara sederhana variabel pemesinan merupakan segala variabel yang mempengaruhi proses maupun hasil pemesinan. Variabel pemesinan ini terdiri atas variabel yang bergantung pada mesin dan variabel yang bergantung pada benda kerja. Adapun variabel pemesinan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Benda kerja:
 d_o = diameter mula (mm)
 d_f = diameter akhir (mm)
 l_t = panjang pemotongan (mm)
 d = kedalaman pemotongan (mm)
2. Mesin:
 f = gerak makan (mm/putaran)
 n = putaran poros utama (rpm)

1.6.5 Pahat Karbida

Pada masa sekarang ini alat potong karbida telah banyak menggantikan alat potong HSS. Pahat karbida memiliki kecepatan potong 3 sampai 5 kali lebih cepat dari pada kecepatan potong HSS. Pahat karbida mempunyai sifat-sifat kekerasan yang tinggi pada berbagai tingkatan suhu, konduktivitas termal yang tinggi serta modulus yang juga tinggi dan ketahanan aus yang baik, sehingga alat potong yang terbuat dari karbida merupakan alat potong yang efektif dan efisien. Karbida sementasi (cemented carbide) atau sering disebut sebagai karbida saja dibuat dengan metode metalurgi serbuk.

Karbida memiliki kelas dari bahan keras, tahan aus, tahan api di mana karbida keras partikel diikat menjadi satu, atau disemen, oleh pengikat logam yang lunak dan ulet. Bahan-bahan ini pertama kali dikembangkan di Jerman pada awal 1920-an menanggapi permintaan untuk bahan cetakan yang memiliki ketahanan aus yang cukup untuk menggambar kabel filamen pijar tungsten untuk menggantikan berlian yang mahal

kemudian digunakan. Karbida yang disemen pertama diproduksi adalah tungsten karbida (WC) dengan pengikat kobalt.

Penggunaan tungsten sebagai elemen paduan memberi baja penahan yang baik kekerasan pada suhu tinggi dari 900°C hingga 1000°C. Karbida dibuat dengan cara mencampur bubuk logam tungsten dengan karbon dan memanaskan campuran ke sekitar 1600°C di atmosfir hidrogen sampai kedua zat itu hilang zat kimianya. Saat ini, tiga kelompok karbida berikut secara luas diterapkan untuk elemen alat potong:

- a. WC + Co + (WC-TiC-TaC-NiC) untuk digunakan dalam permesinan baja.
- b. WC + Co untuk digunakan dalam permesinan besi cor dan logam *non ferro*.
- c. TiC + Ni + Mo untuk digunakan dalam pemesinan logam kekuatan tinggi suhu tinggi.

Karbida semen memiliki kekerasan yang sangat tinggi (hanya setelah berlian) dan keausan tinggi resistensi terhadap abrasi. Mereka tidak kehilangan sifat pemotongannya, kekerasan melebihi suhu hingga 900°C- 1000°C. Karenanya alat berujung karbida mampu mengolah logam yang paling keras secara efisien, termasuk baja yang dikeraskan pada kecepatan potong tinggi. Alat tersebut dapat beroperasi pada kecepatan potong dari 16 hingga 25 Kali lipat yang diizinkan untuk alat yang terbuat dari baja perkakas karbon. Satu kelemahan dari semen karbida adalah kerapuhannya. Kekakuan sangat tinggi (modulus Young sekitar tiga kali dari baja) dari karbida yang disemen mensyaratkan bahwa mereka didukung dengan ketebalan yang cukup, bahkan untuk sejumlah kecil deformasi ikatan dalam pada bahan kekakuan ini dapat menyebabkan tegangan tarik yang sangat tinggi. Karbida disemen lemah pada tegangan daripada kompresi. Mereka memiliki kecenderungan kuat untuk terbentuk las tekanan pada kecepatan potong rendah. Dalam pandangan ini mereka harus dioperasikan dengan kecepatan jauh lebih banyak dari yang digunakan dengan alat baja kecepatan tinggi. Ini disebabkan untuk peralatan mesin dari peningkatan daya. Karbida yang memperoleh persentase kobalt tinggi adalah lebih keras dan lebih kuat dari yang mengandung kobalt rendah. Karenanya mereka digunakan untuk pemotongan kasar, pemotongan terputus dan untuk penggilingan. Varietas kobalt rendah digunakan untuk jadi operasi seperti berputar dengan penampang chip yang halus dan pemotongan kontinu. Disarankan untuk menjaga braze metal setipis mungkin (Singh, 2006).

1.6.6 Baja AISI 1042

Baja AISI 1042 digunakan sebagai bahan utama pembuatan suku cadang atau komponen mesin, seperti poros, roda gigi, bantalan, batang penghubung piston dan rantai. Menurut (Pramono, 2011) spesifikasi baja ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif, seperti komponen roda gigi, poros dan bantalan yang digunakan pada kendaraan bermotor. Menurut (Yusman, 2018) penggunaan baja AISI 1042 secara umum dapat digunakan sebagai material pembuatan suku cadang mesin alat-alat perkakas. (Rahmat Dwi, 2021)



Gambar 1.5 Baja AISI 1042

Baja AISI 1042 banyak digunakan pada komponen mesin sebagai komponen roda gigi, poros, batang penghubung piston dan rantai, menurut penggunaan termasuk kedalam baja konstruksi. Fungsi komponen mesin yang terbuat dari baja AISI 1042 yaitu sebagai berikut:

1. Roda gigi berfungsi sebagai komponen untuk meneruskan atau mentransmisikan daya.
2. Poros berfungsi sebagai meneruskan tenaga bersama dengan putaran. - Batang penghubung piston berfungsi untuk mentransmisi daya.
3. Rantai berfungsi untuk mentransmisi daya dan putaran. Pada pengaplikasiannya baja AISI 1042 harus mempunyai ketahanan aus yang baik, hal ini dikarenakan sesuai dengan fungsi dari komponen tersebut agar mampu menahan keausan terhadap pengurangan dimensi yang terjadi akibat gesekan pada bagian komponen tersebut. (Rahmat Dwi, 2021)

1.6.7 Karakteristik Baja AISI 1042

Material St 42 adalah jenis baja konstruksi yang mempunyai kekuatan tarik minimal 42 Kg/ mm² sampai 50 Kg/ mm². Bahan baja AISI 42 ini sendiri memiliki komposisi kimia antara lain : karbon (C) 0,25 %, mangan (Mn) 0,80 %, silikon (Si) 0,30 % dan sisanya besi (Fe) [3]. Dapat diketahui baja ini mempunyai kandungan karbon (C) dibawah 0,3 %, jadi termasuk dalam baja karbon rendah. Metode penambahan karbon padat merupakan cara yang paling sederhana untuk meningkatkan kualitas baja AISI 42, agar dapat memperluas penggunaannya. Pada akhirnya melalui proses pack carburizing penggunaan baja karbon rendah untuk bahan baku (rawmaterials) dapat memperluas penggunaannya (Nanulaitta dan Eka, 2012).

menurut AISI (American Iron and Steel Institute) Kadar karbon dari AISI 1042 antara 0,40% - 0,47% sehingga bersifat lebih kuat dan keras, baja AISI 1042 termasuk baja karbon menengah. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari proses penyambungan logam, atau yang sering disebut dengan pengelasan. Hal ini mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam.. Baja spesifikasi ini mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi atau perbaikan logam Komposisi kimia dari baja AISI 1042 dapat dilihat pada Tabel

Tabel 1. 2 Komposisi Kimia Baja AISI 1042

Unsur	%	Sifat Mekanik Lainnya
Karbon	0,40-0,47	<i>Tensile strength</i>
Mangan	0,60-0,90	<i>Yield strength</i>
Sulfur	Maks. 0,050	<i>Elongation</i>
Fosfor	Maks. 0,040	<i>Reduktion in area</i>
Silican	0,15-0,35	<i>Hardness</i>

Sumber: AISI (*American Iron and Steel Institute*)

Baja karbon seri AISI 1042 merupakan baja karbon menengah yang banyak sekali digunakan untuk pengaplikasian antara lain pembuatan peralatan perkakas, roda gigi, crankshaft, poros propeller, baling-baling kapal dan konstruksi umum karena mempunyai sifat mampu las dan dapat dikerjakan pada proses pemesian dengan baik, baja AISI 1042 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan. Pada umumnya ketahanan berbanding lurus dengan kekerasan.

1.6.8 Klasifikasi Baja AISI 1042

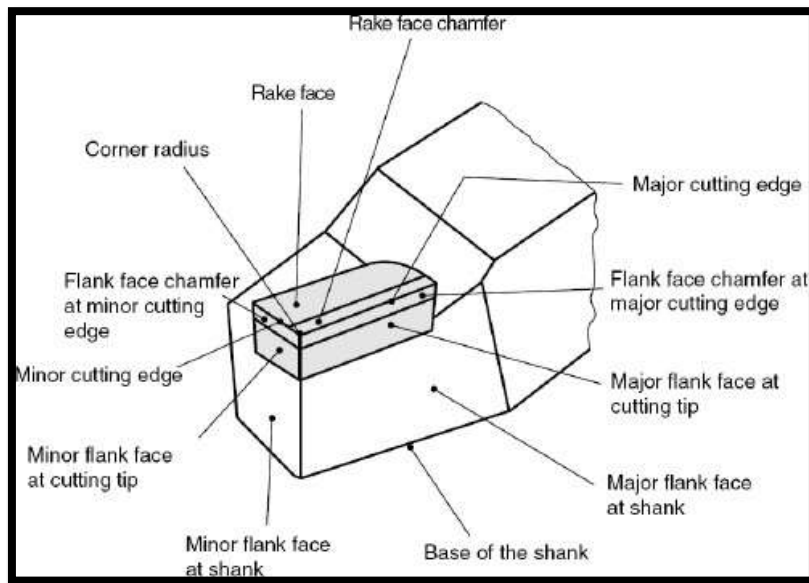
Baja dengan kadar karbon medium mempunyai sifat mampu tempa, *cold drawing, machining, heat treating* (termasuk *flame hardening*) serta mempunyai sifat ketahanan terhadap aus yang baik dengan melalui perlakuan *flame* atau *induction hardening*. Baja ini merupakan salah satu bahan untuk pembuatan kapak, baut, poros, *machinery parts, lightly stressed gears, pinions forming dies, hydraulic shafting, pump shafts, piston rods* dan lain-lain. Material baja AISI 1042 memiliki sifat mekanik sebagai berikut:

Tabel 1. 3 Sifat Mekanik Baja AISI 1042

Sifat Mekanik	Satuan
Tensile Strength	620 MPa (89500 psi)
Yield Strength	415 MPa (60000 psi) min
Elongation	16 min. 25 max
Reduction of Area	40 min 50 max
Modulus of Elasticity	190 – 210 GPa (28000 – 30500 ksi)
Poisson's Ratio	0.27– 0.30

1.6.9 Geometri Alat Potong

Dalam bidang pemesian, geometri alat potong biasanya didefinisikan sesuai dengan standar DIN 6580 dan 6581. Gambar pahat bubut yang sesuai dengan standar DIN 6581 dapat dilihat pada gambar



Gambar 1.6 Geometri Pahat Bubut sesuai dengan DIN 6581 Sumber: (Husein, 2015)

1. Permukaan *Flank* (*flank faces*) adalah area pada sisi potong yang sejajar dengan permukaan potong (*cut surfaces*). Jika permukaan *flank* ini diberi *chamfer*, selanjutnya disebut bagian ini disebut *flank face chamfer*.
2. Permukaan *Rake* (*rake faces*) adalah permukaan di mana tatal (*chip*) bergerak dan menggesek bidang tersebut. Jika permukaan atau bidang *rake* juga diberi *chamfer* kemudian disebut *rake face chamfer*.
3. Sisi potong.
 - Sisi potong utama (*major cutting edges*). Didefinisikan sebagai sisi pemotong, ketika dilihat dari area bidang kerja pada arah gerak makan yang sesuai.
 - Sisi potong minor. Didefinisikan sebagai sisi pemotong tetapi jika dipandang dari area bidang kerja bukanlah berbentuk titik.
4. Pojok alat potong (*corners*).
 - Pojok sisi potong. Didefinisikan sebagai titik bertemunya sisi potong mayor dan sisi potong minor.
 - Radius pahat (*corner radius*) adalah bentuk radius pada ujung alat potong (pojok). Radius pahat diukur dalam bidang referensi pahat (*tool reference plane*) (Sutopo, 2007).

1.6.10 Metode Taguchi

Dr. Genichi Taguchi (1940), memperkenalkan metode *Taguchi* yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, serta bertujuan menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Soejanto (2009), menyatakan bahwa metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor gangguan (*noise*). Metode *Taguchi* menjadikan produk dan

proses memiliki sifat *robust* terhadap faktor-faktor gangguan tersebut, sehingga disebut sebagai *robust design*.

Metode *Taguchi* memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009):

1. Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan level faktor.
2. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan robust terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari faktor kontrol yang menghasilkan respon optimum.

Oleh karena metode *Taguchi* memiliki struktur rancangan yang sangat kompleks, maka metode ini juga memiliki rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, pemilihan rancangan percobaan harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Desain eksperimen dengan menggunakan metode *Taguchi* dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen, yaitu sebagai berikut:

A. Tahap Perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

1. Perumusan Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.
2. Penentuan Tujuan Eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.
3. Penentuan Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.
4. Pengidentifikasi Faktor/Variabel Bebas. Faktor adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada langkah ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap respon yang bersangkutan. Dalam suatu eksperimen, tidak semua faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon harus diselidiki. Dengan demikian, eksperimen dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.
5. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan Faktor-faktor yang diamati dapat dibagi menjadi faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam desain eksperimen *Taguchi*, keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak dapat dikendalikan.
6. Penentuan Jumlah dan Nilai Level Faktor Pemilihan jumlah level akan mempengaruhi ketelitian hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen yang diperoleh akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan akan semakin banyak.
7. Penentuan Matriks Ortogonal Matriks ortogonal merupakan matriks eksperimen yang memuat 28 beberapa faktor-faktor dan level-level dari faktor tersebut. Matriks

ini adalah matriks yang seimbang antara faktor dan level, sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak tercampur dengan pengaruh faktor atau level yang lain (Soejanto, 2009).

Dalam matriks ortogonal, elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom pada matriks tersebut berisi faktor-faktor atau kondisi-kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris berisikan keadaan (level) dari faktor yang terdapat pada kolom. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor-faktor berimbang jumlahnya. Penggunaan matriks ortogonal bertujuan untuk mengefisiensikan dan meminimalkan biaya eksperimen serta memperhatikan faktor gangguan (sehingga disebut *Robust Design*).

Hal ini sangat bermanfaat dalam penelitian khususnya penelitian industri, karena dalam penelitian tersebut banyak faktor yang saling berpengaruh dan berinteraksi, serta adanya faktor gangguan yang sangat mahal untuk dikendalikan. Penentuan matriks ortogonal digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Matriks ortogonal yang tepat dapat ditentukan apabila jumlah derajat kebebasan eksperimen telah dihitung. Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai jumlah perbandingan antara faktor atau parameter yang dibuat untuk menentukan level mana yang lebih baik dan seberapa jauh parameter tersebut lebih baik (Lin, 2002).

Jadi langkah awal dalam penentuan matriks ortogonal adalah penentuan jumlah faktor dan levelnya agar jumlah derajat kebebasan dapat ditentukan. Derajat kebebasan dari matriks ortogonal (umo) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derjat kebebasan dari faktor dan level (ufl).

Derajat kebebasan dari faktor dan level (ufl) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ufl = \text{Jumlah level factor} - 1 \quad (2.4)$$

Jumlah eksperimen minimal yang digunakan untuk penentuan matriks ortogonal didapatkan dari persamaan berikut:

$$\text{Jumlah eksperimen (n)} = umo + 1 \quad (2.4)$$

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.4 Matriks ortogonal L4 (23) berarti jumlah eksperimen yang dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (umo) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 1. 4 Matriks Ortogonal

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
L4 (2 ³)	L9 (3 ⁴)	L16 (4 ³)	L25 (5 ⁶)	L18 (2 ¹ X 3 ⁷)
L8 (2 ⁷)	L27 (3 ¹³)	L64 (4 ²¹)		L32 (2 ¹ X 4 ⁹)
L12 (2 ¹¹)	L81 (3 ⁴⁰)			L36 (2 ¹¹ X 3 ¹²)
L16 (2 ¹³)				L36 (2 ³ X 3 ¹³)

L32 (2^{31})				L54 ($2^1 \times 3^{25}$)
L54 (2^{63})				L50 ($2^1 \times 5^{11}$)

Sumber: (Soejanto, 2009)

B. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri dari 2 hal, yaitu penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan eksperimen.

1. Jumlah Replikasi Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama pada kondisi yang sama dalam sebuah percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi tingkat kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.
2. Randomisasi Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan selalu ada dalam sebuah eksperimen. Pengaruh itu dapat diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan bertujuan untuk menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama. Selain itu, randomisasi juga bertujuan mendapatkan hasil eksperimen yang bebas satu sama lain. Jika replikasi bertujuan untuk memungkinkan dilakukannya uji signifikansi, maka randomisasi bertujuan untuk memberikan validasi terhadap uji signifikansi tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

C. Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen. Analisis Variasi (ANOVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANOVA pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing masing kolom. Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS) dan kuadrat tengah (*mean of square*, MS)

Tabel 1. 5 Tabel Analisis Variansi (ANOVA)

Sumber Variansi	Db	SS	MS
Faktor A	ν_A	SS_A	MS_A
Faktor B	ν_B	SS_B	MS_B
Faktor C	ν_C	SS_C	MS_C
Faktor D	ν_D	SS_D	MS_D
Faktor E	ν_E	SS_E	MS_E
Faktor F	ν_F	SS_F	MS_F
Error	ν_{error}	S_{error}	M_{error}
Total	ν_T	SST	

Sumber : (Soejanto, 2009)

Dimana:

$$\begin{aligned} u_T &= \text{derajat bebas total} \\ &= N - 1 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} u_A &= \text{derajat bebas faktor A} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} u_B &= \text{derajat bebas faktor B} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} u_C &= \text{derajat bebas faktor C} \\ &= k_C - 1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} u_{\text{error}} &= \text{derajat bebas error} \\ &= u_T - u_A - u_B - u_C - u_D - u_E - u_F \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{jumlah keseluruhan} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} CF &= \text{faktor koreksi} \\ &= \frac{T^2}{N} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} SS_T &= \text{jumlah kuadrat total} \\ &= \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$= \sum_{i=1}^n (y_i - T)^2 \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} SS_A &= \text{jumlah kuadrat faktor A} \\ &= \left[\sum_{i=0}^{k_A} \binom{A_1^2}{n_{A_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} SS_B &= \text{jumlah kuadrat faktor B} \\ &= \left[\sum_{i=0}^{k_B} \binom{B_1^2}{n_{B_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} SS_C &= \text{jumlah kuadrat faktor C} \\ &= \left[\sum_{i=0}^{k_C} \binom{C_1^2}{n_{C_1}} \right] - CF \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} SS_E &= \text{jumlah kuadrat error} \\ &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_E - SS_F \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} MS_A &= \text{kuadrat tengah faktor A} \\ &= SS_A - u_A \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} MS_B &= \text{kuadrat tengah faktor B} \\ &= SS_B - u_B \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} MS_C &= \text{kuadrat tengah faktor C} \\ &= SS_C - u_C \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} MS_E &= \text{kuadrat tengah faktor error} \\ &= SS_E - u_E \end{aligned} \quad (2.22)$$

1.6.11 Rasio S/N

Rasio S/N (*Signal to Noise Ratio*) digunakan untuk memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Penggunaan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu: (Soejanto, 2009)

1. Semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non-negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang

diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.23)$$

2. Tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i^2 - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.24)$$

3. Semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non-negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \quad (2.25)$$

1.6.12 Material Removal Rate (MRR)

Tantangan manufaktur modern adalah mencari cara atau strategi membuat produk berkualitas tinggi dengan biaya rendah serta dalam waktu yang pendek. Operasi mesin bubut sebagai bagian dari teknik manufaktur juga memerlukan strategi yang tepat (efektif) dan efisien untuk menjawab tantangan tersebut. Tujuan dari setiap tahap produksi perlu diperjelas dan segera dibuat rencana kerja yang sesuai. Sebagai contoh pada tahap operasi roughing, dibutuhkan strategi meningkatkan produktifitas. Caranya adalah dengan meningkatkan *Material Removal Rate* (MRR). Diharapkan peningkatan produktifitas tersebut dapat membantu usaha menekan biaya produksi (Handoko dan Mudijjama, 2012).

MRR adalah proses pembentukan lubang-lubang kecil pada permukaan benda kerja. Faktor yang mempengaruhi MRR adalah parameter proses yang akan digunakan dalam proses penelitian. MRR dapat didefinisikan sebagai volume material yang terbuang per satuan waktu (mm³/min), rumusnya adalah sebagai berikut: (Arfendi., et al, 2021)

$$MRR_{exp} = \frac{\Delta W}{t} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_0 - W_1 \\ MRR_{th} &= Vc \cdot f \cdot a \end{aligned} \quad (2.27)$$

Dimana:

W_0 = Berat Spesimen Sebelum Pembubutan.
 W_1 = Berat Speseimen Sesudah Pembubutan.
 t = Waktu Pengerjaan.

1.6.13 Minitab

Minitab adalah program komputer yang dirancang untuk melakukan pengolahan statistik. Minitab mengkombinasikan kemudahan penggunaan layaknya Microsoft Excel dengan kemampuannya melakukan analisis statistik yang kompleks. Minitab

dikembangkan di Pennsylvania State University oleh periset Barbara F. Ryan, Thomas A. Ryan, Jr., dan Brian L. Joiner pada tahun 1972. Minitab memulai versi ringannya OMNITAB, sebuah program analisis statistik oleh NIST.

Minitab didistribusikan oleh Minitab Inc, sebuah perusahaan swasta yang bermarkas di State College, Pennsylvania, dengan kantor cabang di Coventry, Inggris (Minitab Ltd.) Paris, Prancis (Minitab SARL) dan Sydney, Australia (Minitab Pty.). Kini, Minitab sering kali digunakan dalam implementasi Six Sigma, CMMI serta metode perbaikan proses yang berbasis statistika lainnya.

Minitab 19, versi terbaru perangkat lunak ini, tersedia dalam tujuh bahasa: Inggris, Prancis, Jerman, Jepang, Korea, Mandarin, dan Spanyol. Minitab Inc. juga membuat perangkat lunak sebagai pelengkap Minitab 19. Quality Trainer; sebuah paket *e-Learning* yang mengajarkan metode statistik dan konsep dalam konteks perbaikan kualitas yang terintegrasi dengan Minitab 19 dan Quality Companion 3, sebuah perangkat lunak untuk mengelola proyek *Six Sigma* dan *Lean Manufacturing* yang memungkinkan data Minitab di kombinasikan dengan dan manajemen proyek. Penggunaan Minitab diantaranya:

1. Mengelola data dan file spreadsheet untuk analisis data yang lebih baik.
2. Analisis regresi dan perancangan percobaan.
3. Power dan ukuran sampel.
4. Tabel dan grafik dan analisis varians untuk menentukan perbedaan antar data.
5. Analisis multivariate termasuk analisis faktor, analisis klaster, analisis korespondensi dan lainnya
6. Test nonparametrics berbagai tes termasuk test sign, run test, friedman test, dan lainnya.
7. Time Series dan Forecasting membantu menunjukkan kecenderungan pada data yang dapat digunakan untuk membuat dugaan. Time series plots, exponential smoothing, trend analysis.
8. Statistical Process Control dan analisis sistem pengukuran.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan metode *experimental laboratory* ini dimulai pada bulan Maret 2024 dan tempat pelaksanaannya di Laboratorium Teknologi Mekanik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Bubut

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan pahat potong (*cutting tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut.



Gambar 2. 1 Mesin Bubut

2. Kunci *Chuck*

Kunci *Chuck* berfungsi untuk mengencangkan dan mengendorkan rahang cekam pada mesin bubut.



Gambar 2. 2 Kunci Chuck

3. Kunci T

Kunci T berfungsi untuk mengencangkan dan melonggarkan pahat di rumah pahat (*Toolpost*).



Gambar 2. 3 Kunci T

4. Jangka Sorong



Gambar 2. 4 Jangka Sorong

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur diameter benda kerja yang akan diteliti.

5. Kuas

Kuas berfungsi untuk membersihkan mesin dari gram-gram setelah melakukan pembubutan.



Gambar 2. 5 Kuas

6. Gurinda

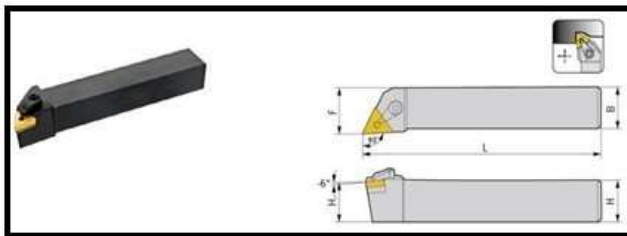
Gurinda digunakan untuk memotong benda kerja sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan sebelum



Gambar 2. 6 Gurinda

7. Holder

Holder yang digunakan adalah MTJNR 2020K16 dengan ukuran yang telah ditentukan sebagai pengujian



Gambar 2. 7 Holder MTJNR 2020

8. Pahat Sisipan Karbida

Pahat yang digunakan yaitu pahat sisipan karbida TNMG160404-MA UE6020.



Gambar 2. 8 Pahat Karbida TNMG160404-MA UE6020

9. Baja AISI 1042

Baja ASI 1042 merupakan bahan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. 9 Baja AISI 1042

10. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat benda kerja baja AISI 1045 sebelum dan sesudah dibubut.



Gambar 2. 10 Timbangan Digital

11. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pembubutan pada pengerjaan material baja AISI 1042.



Gambar 2. 11 Stopwatch

2.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi laboratorium, yaitu dengan mengambil data secara langsung terhadap objek yang diamati pada saat pengujian.

2.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

2.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas yang akan digunakan adalah Kecepatan spindel (90 rpm, 180 rpm, 300 rpm, 425 rpm), Kedalaman potong 1 mm, dan Kecepatan makan (0,05 mm/put, 0,13 mm/put, 0,24 mm/put, 0,34 mm/put).

2.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Laju Pengerjaan Material (MRR) (mm^3/menit).

2.5 Pelaksanaan Penelitian

2.5.1 Prosedur Proses Bubut

1. Menyiapkan benda kerja yang akan diproses bubut.
2. Memotong benda kerja sesuai ukuran.
3. Menyiapkan alat-alat yang diperlukan untuk melakukan proses bubut.
4. Menyiapkan pahat yang akan digunakan yaitu pahat Karbida.
5. Memasang pahat pada *tool post*.
6. Memasang benda kerja pada *chuck*, kemudian dikencangkan.
7. Menghidupkan mesin dan melakukan proses bubut dengan parameter yang telah ditentukan hingga selesai. Parameter yang perlu diperhatikan adalah kecepatan spindel, kedalaman potong, dan gerak makan.
8. Setelah proses pemrosesan selesai, mesin bubut dimatikan dan dibersihkan.
9. Hasil pembubutan tentu menghasilkan nilai *Material Removal Rate* (MRR) spesimen yang berbeda-beda tergantung dari parameter pemrosesan yang telah ditentukan pada setiap spesimen.

2.5.2 Pengambilan Data

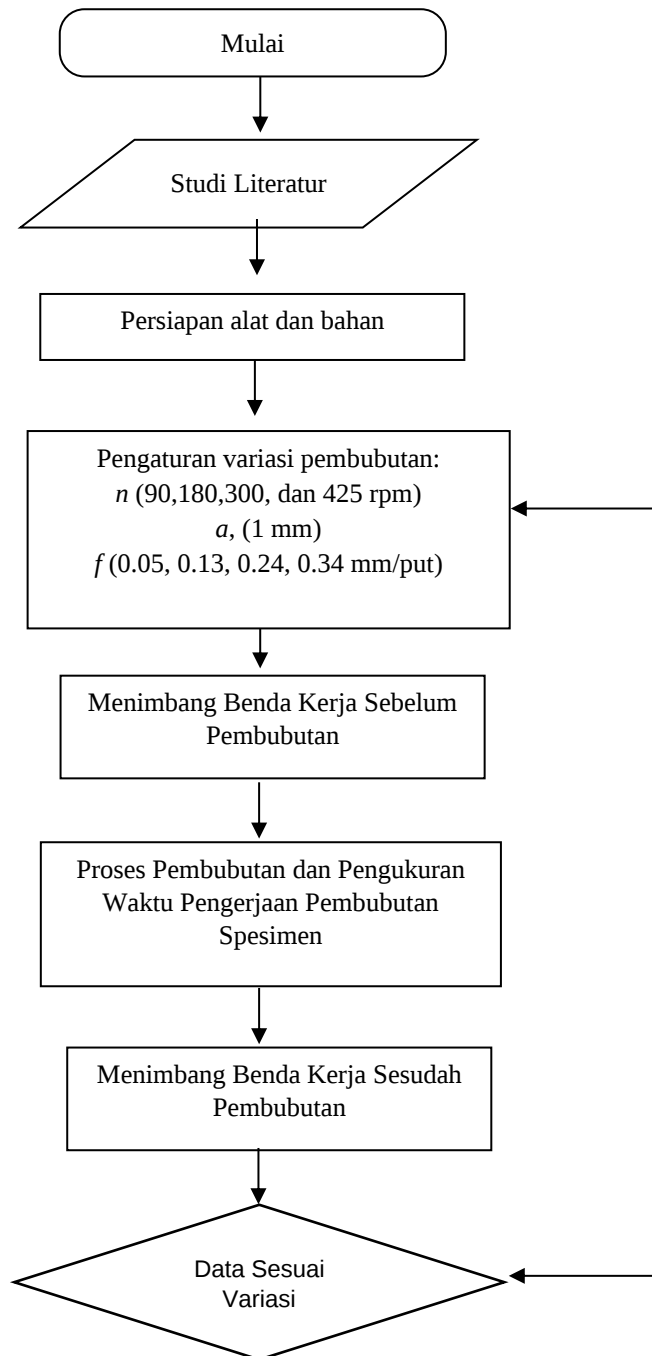
Pengambilan data dilakukan dengan melakukan percobaan variasi terhadap beberapa parameter yang telah ditentukan sebelumnya dimana penelitian kali ini peneliti menentukan 3 faktor yaitu *feed*, *depth of cut*, kecepatan spindel dan masing-masing faktor memiliki 4 level untuk *feed* (0,05 0,13 0,24 dan 0,34 mm/put), *depth of cut* (1 mm), dan kecepatan spindel (90 180 300 dan 425 rpm) sehingga jumlah parameter atau variabel bebas penelitian yaitu 16 parameter.

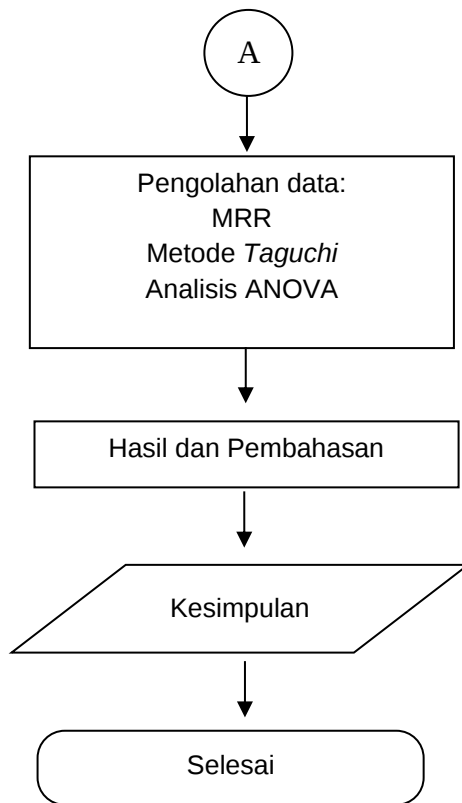
Berat dari material baja AISI 1042 ditimbang sebelum dan sesudah pembubutan dengan menggunakan timbangan digital, pada saat proses pembubutan material baja AISI 1042 berlangsung juga diukur lama proses pembubutan dengan menggunakan

stopwatch, ini dilakukan berulang kali hingga 16 spesimen. Untuk menghitung *Material Removal Rate* (MRR), selisih antara berat sebelum dan sesudah pembubutan dibagi dengan waktu pengerjaan. Hasil perhitungan tersebut menghasilkan nilai *Material Removal Rate* (MRR) secara aktual yang dimuat dalam tabel.

Setelah pengambilan data seperti yang diuraikan diatas selajutnya dilakukan analisis metode *Taguchi* seperti Matriks *Ortogonal Array*, tabel hasil perhitungan *S/N Rasio*, *Response Table for Signal to Noise Ratio*, *Response Table for Means*, *Main Effect Plot for S/N Ratios*, *Main Effect Plot for Means*, *Factor Informations*, dan *Analysis of Variance* (ANOVA) yang dimuat dalam tabel dan gambar grafik. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada Laju Pembuangan Material (MRR) serta menemukan nilai MRR yang optimum dari parameter yang telah ditentukan pada pembubutan material baja AISI 1042 dimana karakteristik mutu pada penelitian kali ini adalah semakin besar semakin baik atau *larger is better*.

2.6 flowchart penelitian





Gambar 2.12 flowchart penelitian