

SKRIPSI

**OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA**



Di susun Oleh :

Syarfiansah

D021 17 1318

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

SKRIPSI

**OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA**

DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH :

SYARFIANSAH

D021 17 1318

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik**

Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA

Disusun dan diajukan oleh

SYARFIANSAH
D021 17 1318

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 25 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr Ir. H. Ilyas Renreng, MT
Nip. 19570914 1987 03 1001

Pembimbing Pendamping



Dr.Ir. Hairul Arsyad, S.T, M.T
Nip. 19750322 2002 12 1001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.
NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : SYARFIANSAH

NIM : D021 17 1318

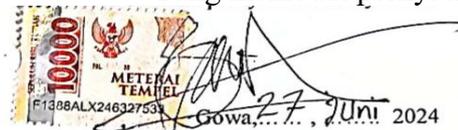
JUDUL SKRIPSI : OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140
DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN
ANOVA

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian Pernyataan ini Saya buat

Yang membuat pernyataan,



The image shows a 10000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERAL TEMBEL', and 'F1388ALX246327533'. A handwritten signature is written over the stamp, and the date 'Gowa, 27, Juni 2024' is written below it.

SYARFIANSAH

OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA

Nama : SYARFIANSAH
Nim : D021 17 1318
Pembimbing I : Prof.Dr. Ir.H. ILYAS RENRENG,. MT
Pembimbing II : Dr.Ir. HAIRUL ARSYAD, S.T.,M.T

ABSTRAK

Dunia industri manufaktur, keberhasilan suatu proses produksi sangat dipengaruhi oleh mesin-mesin produksi yang digunakan. Mesin - mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu produk manufaktur. Proses pemesinan (machining) adalah proses pembuangan atau pengambilan material dalam bentuk potongan – potongan kecil (chip), yang tidak diinginkan dari suatu bahan material (workpiece) untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan sesuai dengan desain yang telah ditentukan sebelumnya. 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 4140 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. Kekasaran permukaan adalah bagian dari permukaan akhir (tekstur permukaan) yang bisa didefinisikan sebagai tanda yang ditinggalkan oleh tindakan dari proses produksi yang digunakan, seperti operasi balik. Faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah parameter proses yang akan digunakan dalam proses penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) Mengetahui pengaruh parameter pembubutan terhadap kekasaran permukaan material baja AISI 4140 dengan tipe pemotongan orthogonal(2). Untuk mengetahui kontribusi yang dihasilkan oleh parameter pembubutan terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140 berdasarkan metode taguchi(3). Untuk mengetahui optimasi kualitas kekasaran permukaan Hasil pembubutan material baja AISI 4140. Dari hasil analisis didapatkan Berdasarkan metode taguchi variabel yang paling berpengaruh pada proses pembubutan tersusun sebagai berikut: Gerak makan (feed) dengan persen kontribusi sebesar 64,07 %, putaran spindel (n) dengan persen kontribusi sebesar 23,64 % dan

kedalaman potong (a) dengan persen kontribusi sebesar 15,08%. Pembubutan yang paling optimal dihasilkan pada parameter bubut dengan gerak makan (feed) 0,05 mm/put, putaran spindel (n) 1200 rpm dan kedalaman potong (a) 2 mm dengan nilai kekasaran permukaan 0,251 μm .

Kata Kunci: Proses Permesinan, Mesin Bubut, Baja AISI 4140, Kekasaran Permukaan .

OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN MENGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA

Nama : SYARFIANSAH
Nim : D021 17 1318
Pembimbing I : Prof.Dr. Ir.H. ILYAS RENRENG,. MT
Pembimbing II : Dr.Ir. HAIRUL ARSYAD, S.T.,M.T

ABSTRACT

In the world of manufacturing industry, the success of a production process is greatly influenced by the production machines used. These machines are widely used in the manufacture or repair of certain components in a manufactured product. The machining process is the process of removing or taking material in the form of small pieces (chips), which are not wanted from a material (workpiece) to get the desired shape according to a predetermined design. Steel is a metal that is widely used in various fields, especially in the engineering and construction industry. One of the many types of steel is AISI 4140 steel which is classified as medium carbon alloy steel which is widely used as the main material in engines such as gears, piston connecting rods and especially shafts in motorized vehicles and industry. Surface roughness is that part of the surface finish (surface texture) which can be defined as the mark left by the actions of the production process used, such as turning operations. Factors that affect surface roughness are process parameters that will be used in the research process. The purpose of this study was to (1) determine the effect of turning parameters on the surface roughness of AISI 4140 steel material with orthogonal cutting type (2). . To find out the optimization of surface roughness quality AISI 4140 steel machining results. From the analysis results obtained based on the taguchi method the variables that have the most influence on the turning process are arranged as follows: Feed motion with a percent contribution of 64.07%, spindle rotation (n) with a contribution percentage of 23.64% and depth of cut (a) with a contribution percentage of 15.08%. The most optimal turning is produced on lathe parameters with a feed motion of 0.05 mm/put, spindle rotation (n) 1200 rpm and depth of cut (a) 2 mm with a surface roughness value of 0.251 μm .

Keywords: Machining Process, Lathe, AISI 4140 Steel, Surface Roughness

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul : “Optimasi Pembubutan Material Baja AISI 4140 dengan Menggunakan Metode Taguchi Dan Anova ”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S-1 di program studi Jurusan Mesin Prodi Teknik Mesin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof Dr. Eng. Jalaluddin, ST,MT selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST, MT selaku Sekertaris Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H.Ilyas Renreng, MT. selaku dosen pembimbing pertama skripsi saya yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Hairul Arsyad, ST, MT selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan serta masukan selama penyusunan tugas akhir ini..

7. Bapak dan Ibu Dosen dan serta staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu kami dalam mengurus dan memudahkan perjalanan berkas kami menuju Rektorat.
8. Kepada Dr.Eng Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku Dosen yang membantu saya dalam pengujian kekasaran hasil pembubutan spesimen saya.
9. Kepada saudara(i) seperjuangan ZYNCROMEZH'17 yang selalu ada dalam suka maupun duka. Khususnya kepada Moh.Rinaldi, Azizul, dan Ruslan serta teman-teman lain yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.
10. Kepada saudara(i) seperjuangan TEKNIK 2017 yang juga selalu untuk penulis baik suka maupun duka.
11. Kepada HMM FT-UH tempat mendapatkan banyak sekali pembelajaran yang begitu bermanfaat bagi penulis.
12. Kepada keluarga sakinah MAPALA 09 SMFT-UH di mana adalah tempat bermain dan belajar bagi penulis.
13. Kepada kanda-kanda senior khususnya HYDRAULIC'15 yang telah banyak membantu penulis dari awal masuk perkuliahan hingga menulis skripsi ini.
14. Kepada adinda-adinda junior yang juga telah banyak membantu penulis dalam pengerjaan skripsi ini khususnya Nurwahyudi Bakri,Angga Asteriasti Aji, Muh.Yusuf dan Arief Dwi Yulianto AP Serta yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu-persatu.
15. Kepada saudara-saudara ANAK MUDA PEO yang selalu ada untuk memberikan dukungan serta tempat berbagi cerita di kala penulis lagi pusing saat pengerjaan skripsi ini.
16. Serta kepada Nur Afiah dan Kasmawati yang telah menjadi penyemangat bagi penulis namun tak dapat menemani hingga akhir karna takdir semesta berkehendak lain.
17. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Saripuddin dan Syamsiah dan saudaraku yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Buat sahabat – sahabat saya. Terima kasih atas dukungan dan doanya.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Gowa,, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Proses Permesinan	4
2.2 Mesin Bubut	9
2.2.1 Prinsip kerja mesin bubut	12
2.2.2 Bentuk - bentuk dasar pengerjaan pada mesin bubut	12
2.3 Bagian bagian utama mesin bubut	13
2.3.1 Kepala Tetap (<i>Head Stock</i>)	13
2.3.2 Kepala Lepas (<i>Tail Stock</i>)	13
2.3.3 Meja Mesin Bubut (<i>Bed Machine</i>)	14
2.3.4 Eretan (<i>carriage</i>)	14
2.3.5 Poros Tranportir (<i>Lead Screw</i>)	14
2.3.6 Tuas (<i>handle</i>)	15
2.3.7 Pemegang Pahat (<i>Tool Post</i>)	15
2.4 Pahat bubut	15
2.4.1 Geometri Pahat Bubut	16
2.4.2 Pahat Karbida	17
2.5 Baja AISI 4140	18
2.5.1 Penggunaan baja AISI 4140	19
2.5.2 Unsur baja AISI 4140	20
2.5.3 Struktur baja AISI 4140	20

2.6	<i>Surface Roughness</i> (Kekasaran Permukaan)	21
2.7	Metode <i>Taguchi</i>	25
2.7.1	Tahap Perencanaan	25
2.7.2	Tahap Pelaksanaan	28
2.7.3	Tahap Analisis	29
2.7.4	Rasio S/N	31
2.8	Minitab	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	33
3.3	Metode Pengambilan Data	36
3.4	Variabel Penelitian	37
3.4.1	Variabel Bebas	37
3.4.2	Variabel Terikat	37
3.5	Pelaksanaan Penelitian	37
3.5.1	Prosedur Proses Bubut	37
3.5.2	Pengujian kekasaran permukaan benda kerja	39
3.6	Flowchart Penelitian	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Proses Pembubutan	41
4.2	Menganalisis Kecepatan Potong Dari Masing-masing Putaran Spindel	42
4.3	Pengambilan Data kekasaran Dari Masing-masing Spesimen	42
4.4	Menganalisis Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Depth Of Cut</i>	46
4.4.1	Menganalisis Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Depth Of Cut</i> pada putaran spindel 300 rpm	46
4.4.2	Menganalisis Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Depth Of Cut</i> pada putaran spindel 600 rpm	47
4.4.3	Menganalisis Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Depth Of Cut</i> pada putaran spindel 900 rpm	48

4.4.4	Menganalisis Hubungan Antara <i>Feed</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Depth Of Cut</i> pada putaran spindel 1200 rpm -----	49
4.5	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Feed</i>	50
4.5.1	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Feed</i> pada <i>Depth Of Cut</i> 0,5 mm -----	50
4.5.2	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Feed</i> pada <i>Depth Of Cut</i> 1 mm -----	51
4.5.3	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Feed</i> pada <i>Depth Of Cut</i> 1,5 mm -----	52
4.5.4	Menganalisis Hubungan Antara Kecepatan Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat <i>Feed</i> pada <i>Depth Of Cut</i> 2 mm -----	53
4.6	Menganalisis Hubungan Antara <i>Depth Of cut</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel	54
4.6.1	Menganalisis Hubungan Antara <i>Depth Of cut</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel pada <i>Feed</i> 0,05 mm/min ----	54
4.6.2	Menganalisis Hubungan Antara <i>Depth Of cut</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel pada <i>Feed</i> 0,13 mm/min ----	55
4.6.3	Menganalisis Hubungan Antara <i>Depth Of cut</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel pada <i>Feed</i> 0,24 mm/min ----	56
4.6.4	Menganalisis Hubungan Antara <i>Depth Of cut</i> Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra) Akibat Kecepatan Spindel pada <i>Feed</i> 0,30 mm/min ----	57
4.7	Menganalisis Variabel Paling Berpengaruh Terhadap kekasaran permukaan Hasil Pembubutan Dengan Metode <i>Taguchi</i>	58
4.8	<i>Analisis Of Varians</i> (ANOVA)	62
BAB V PENUTUP		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64
Daftar Pustaka		65
Lampiran		67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industri manufaktur, keberhasilan suatu proses produksi sangat dipengaruhi oleh mesin-mesin produksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan di tiap bengkel mesin konstruksi dan bengkel-bengkel pengerjaan logam, mesin mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu produk manufaktur. Salah satu mesin perkakas yang digunakan adalah mesin bubut. (Wiratama, 2021.)

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional. Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (*shearing*), pengepresan (*pressing*) dan penarikan (*drawing, elongating*). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (*turning*), proses frais (*milling*), sekrap (*shaping*). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (*chips*) sehingga terbentuk benda kerja. (Sugeng, 2019)

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin pada umumnya berbentuk silindris. Prinsip dasarnya adalah proses pemesinan permukaan luar dan dalam benda silindris seperti poros, lubang/bor, ulir, dan tirus. Dalam pemesinan poros berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran, sesuai dengan fungsinya poros dirancang agar kuat dan kokoh dalam menerima beban yang ditanggungnya. (Rukma, 2010)

Proses pemotongan logam atau proses pemesinan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur, bahkan proses pemesinan telah menjadi inti dari industri manufaktur sejak revolusi industri. Penelitian tentang proses pemotongan logam biasanya difokuskan pada penentuan sifat mampu mesin material yang mencakup umur pahat, gaya potong, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material (Pamuji dan lusi, 2019).

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 4140 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*). (Bambang & Ari, 2018).

Berdasarkan uraian tersebut diatas, penelitian ini dilakukan dengan menitik beratkan pada pengaruh variabel permesinan pada proses pembubutan pada material Baja AISI 4140. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang **“OPTIMASI PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN ANOVA”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dapat dikemukakan yaitu bagaimana setting variabel yang paling berpengaruh terhadap kualitas kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140 menggunakan pahat karbida.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Untuk mengetahui variabel permesinan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140 dengan tipe pemotongan orthogonal.
2. Untuk mengetahui kontribusi yang dihasilkan oleh parameter pembubutan terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140 berdasarkan metode taguchi.
3. Untuk mengetahui optimasi kualitas kekasaran permukaan Hasil pembubutan material baja AISI 4140.

1.4 Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 4140.
2. Benda kerja yang digunakan berbentuk silindris.
3. Putaran spindel ditentukan yaitu 300 rpm, 600 rpm, 900, dan 1200 rpm.
4. Kedalaman pemotongan ditentukan yaitu 0,5 mm, 1 mm, 1,5, dan 2 mm.
5. Kecepatan makan (0,05 mm/put, 0,13 mm/put, 0,24mm/put, dan 0,30 mm/put).

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan pengetahuan tentang material pada pembubutan baja AISI 4140.
2. Menambah wawasan pengetahuan dalam bidang manufaktur.
3. Menjadi wadah pengaplikasian ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, khususnya dalam bidang pemesinan.
4. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Permesinan

Proses pemesinan (*machining*) adalah proses pembuangan atau pengambilan material dalam bentuk potongan – potongan kecil (*chip*), yang tidak diinginkan dari suatu bahan material (*workpiece*) untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan sesuai dengan desain yang telah ditentukan sebelumnya. Karena kebanyakan *workpiece* terbuat dari metal maka proses pemesinan juga disebut *metal cutting* atau *metal removal*. (Handaya, Ricko, 2008)

Umumnya, benda kerja yang digunakan berasal dari proses sebelumnya, seperti proses penuangan (*Casting*) dan proses pembentukan (*Metal Forging*). Proses pemesinan dibagi menjadi dua yaitu: (Bondan T. Sofyan, 2015):

1. Traditional Machining : turning, milling, grinding, dll.
2. Non-traditional machining : chemical machining, ECM, EDM, EBM, LBM, machining dari material non-metallic.

Proses pemesinan yang biasa dilakukan di industri manufaktur adalah proses pembubutan (*turning*), proses penyekrapan (*shaping*), proses frais (*milling*), proses gergaji (*sawing*), dan proses gerinda (*grinding*). Proses ini merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau merupakan proses akhir setelah pembentukan logam yang sudah dibentuk melalui proses pengecoran atau tempa yang dipersiapkan sesuai bentuk dan ukuran mendekati benda yang akan dibuat. (Mustafik, Roni, 2020)

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan berbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Untuk sementara, dapat diklasifikasikan dua jenis pahat yaitu pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tools*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple points cutting tools*). Gerak relatif dari pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua macam komponen gerakan yaitu gerak potong (*cutting movement*) dan gerak makan (*feeding movement*). Menurut jenis kombinasi dari gerak potong dan gerak makan maka proses permesinan dikelompokkan menjadi tujuh macam proses yang berlainan,

yaitu: (anonim, 2019)

1. Proses membubut (*Turning*)
2. Proses menggurdi (*Drilling*)
3. Proses mengefreis (*Milling*)
4. Proses menggerinda rata (*Surface Grinding*)
5. Proses menggerinda silindris (*Cylindrical Grinding*)
6. Proses menyekrap (*Shaping, Planing*)
7. Proses menggergaji atau memarut (*Sawing, Broaching*)

2.2.1 Beberapa proses 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 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:

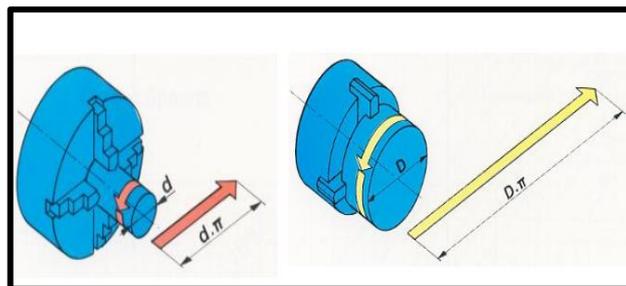
- Generasi permukaan silindrik atau konis dan
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

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)

2.2.2 Variable 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 2.1. Panjang permukaan benda kerja

Sumber : *Handout Permesinan Bubut* (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute, rpm*), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed*) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling

benda kerja (lihat gambar 2.1). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ m/menit} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

V_c = kecepatan potong; m/menit

d = diameter benda kerja ;mm

n = putaran benda kerja; putaran/menit

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter 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.

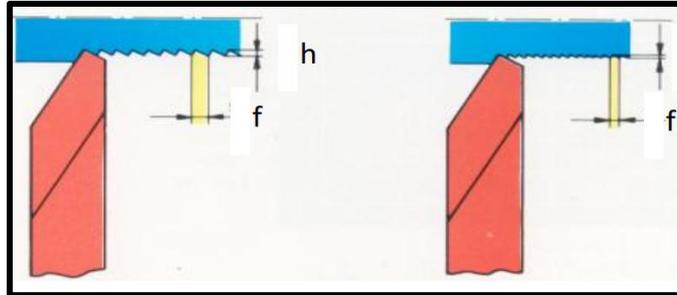
Karena diameter dinyatakan dalam milimeter, dan kecepatan potong dalam meter, maka $\pi \times d$ benda atau keliling kerja dibagi dengan 1000.

BAHAN	Pahat HSS		Pahat Karbida	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75 – 100	24 – 45	185 -230	110 - 140
Baja karbon	75 – 90	25 – 40	170 - 215	90 - 120
Baja /menengah	60 – 85	20 – 40	140 - 185	75 110
Besi cor kelabu	40 - 45	25 -30	110 – 14	60 - 75
Kuningan	85 – 110	45 – 70	185 - 215	120 -300
Aluminium	70 - 110	30 - 45	140 - 215	60 - 90

Tabel 2.1 Kecepatan Potong C_s (m/menit)

Gerak makan (*feed*) , adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (lihat gambar 2.2), 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 2.2. Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)
 Sumber :
 Handout Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

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 (ditunjukkan pada gambar 2.2). Ketika pahat memotong sedalam h , maka diameter benda kerja akan berkurang, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar (Nurdjito.2015)

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 potong (mm)

2. Mesin :

- f = gerak makan (mm/putaran)
- n = putaran poros utama (putaran/menit)

Variabel pemesinan merupakan hal-hal yang mempengaruhi proses Pemesinan.(Nurdjito dan Arifin, 2015)

Tabel 2.2. Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan.

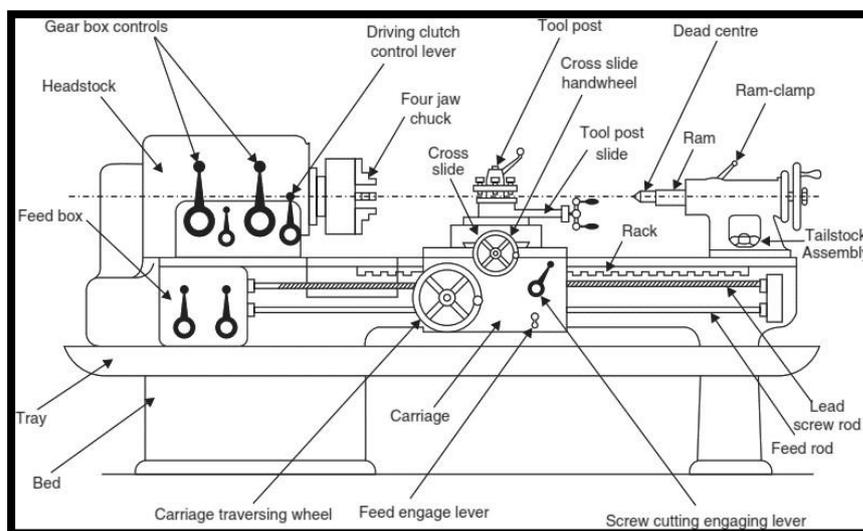
Workpiece material	Cutting tool	Range for roughing and finishing		
		Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting Speed, m/min
Low carbon and free machining Steel	Uncoated carbide	0,5-7,6	0,15-1,1	60-135
	Ceramic-coated carbide			
	Triple coated carbide			
	Tin coated carbide			
	Al ₂ O ₃ ceramic			
Medium and High carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-0,75	135-225
	Ceramic-coated carbide			
	Triple coated carbide			
	Tin coated carbide			
	Al ₂ O ₃ ceramic			

2.2 Mesin Bubut

Proses permesinan bubut merupakan proses pemesinan dengan menggunakan mesin *turning*. Pada proses ini *workpiece* dipasang pada holder mesin kemudian dalam prosesnya *workpiece* berputar secara horisontal dan tool akan memakan *workpiece* searah dengan sumbu putarnya. Jenis *workpiece* yang digunakan pada proses turning biasanya berbentuk silinder. Proses pengerjaan dengan turning menghasilkan diameter yang lebih kecil. Selain itu dengan proses turning ini juga kita dapat membuat ulir. (Handaya, Ricko, 2008)

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. 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. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (penyekam) 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.



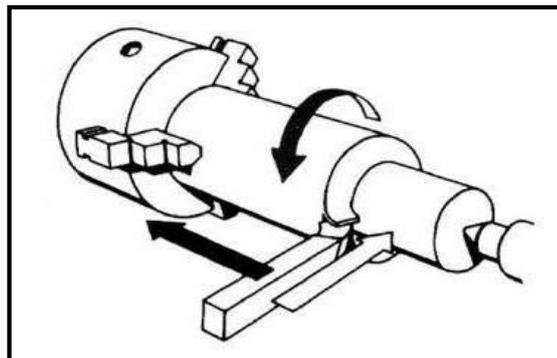
Gambar 2.3Komponen Mesin Bubut

Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam. Dalam kecepatan putar sesuai perhitungan, alat potong akan mudah memotong benda kerja sehingga benda kerja mudah dibentuk sesuai yang diinginkan. Dikatakan konvensional karena untuk membedakan dengan mesin-mesin yang dikontrol dengan komputer (*Computer Numerically Controlled*) ataupun kontrol numerik (*Numerical Control*) dan karena jenis mesin konvensional mutlak diperlukan keterampilan manual dari operatornya. (Hess, A, 2005)

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)

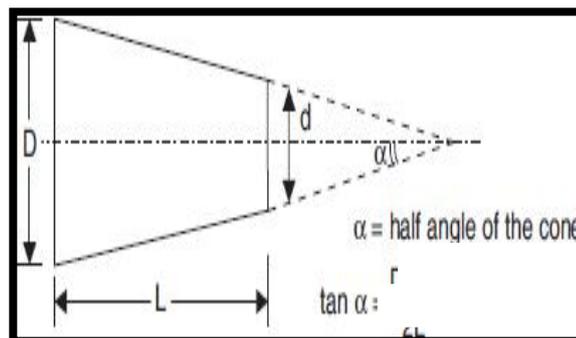
Pergerakan memanjang dari pahat sepanjang luncuran (*sliding*) menghasilkan suatu permukaan yang bundar, dan pergerakan melintang untuk “*surfacing*” (*atau facing*) menghasilkan suatu permukaan yang rata. Gerak putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut 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. (Nafsan & Upara, 2009)



Gambar 2.4 Gerakan Pada Proses Pembubutan

Sumber : Handout Permesinan Bubut (Nurdjito, & Arifin, A, 2015)

Selain menghasilkan bentuk silindris dengan diameter yang seragam, proses ini juga bisa digunakan untuk membentuk tirus, yaitu diameter yang satu dengan yang lain berbeda seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses bubut tirus

Dimana

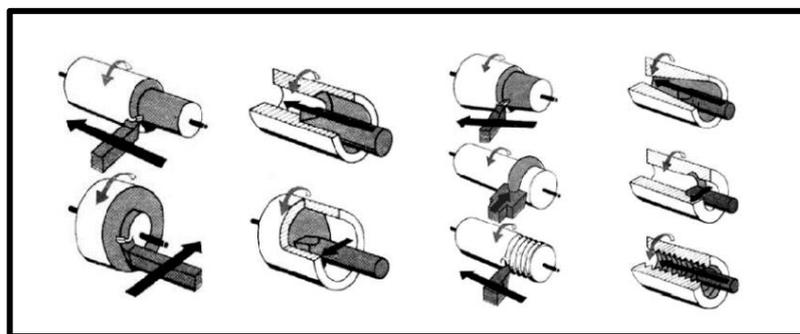
α = sudut setengah dari kerucut

$$\tan \alpha = (D-d)/2L$$

Untuk menghasilkan bentuk tirus, dilakukan proses bubut *tirus (taper turning)*. Yaitu pembubutan untuk menghasilkan bentuk kerucut dengan mengurangi diameter sepanjang benda kerja silinder sedikit demi sedikit. Bentuk kerucut dihasilkan jika pahat potong bergerak sepanjang garis yang membentuk sudut (?) terhadap sumbu longitudinal dari benda kerja meskipun pergerakan carriage sejajar sumbu longitudinal. Cross slide bergerak dan carriage bergerak sehingga pahat bergerak dalam dua sumbu dan sudut tirus tergantung pada perbandingan dua sumbu tersebut.

2.2.1 Prinsip kerja mesin bubut

1. Benda kerja berputar pada sumbunya
2. Gerakan alat potong :
 1. Alat potong bergerak sejajar sumbu utama disebut pembubutan memanjang.
 2. Alat potong bergerak tegak lurus terhadap sumbu utama disebut pembubutan permukaan.
 3. Alat potong bergerak bersudut terhadap sumbu utama disebut pembubutan konis atau pembubutan tirus.



Gambar 2.6 Bentuk Dasar Pembubutan

Sumber : Handout Permesinan Bubut (Nurdjito, & Arifin, A, 2015)

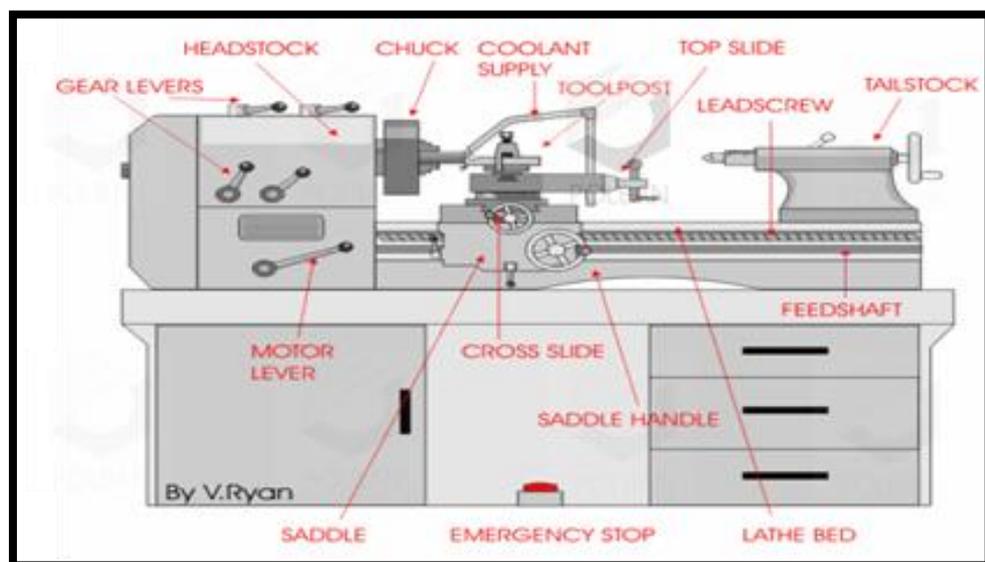
2.2.2 Bentuk - bentuk dasar pengerjaan pada mesin bubut

1. bentuk poros / lubang silindris
2. bentuk permukaan rata

3. bentuk tirus / konis luar
4. bentuk tirus / konis dalam
5. bentuk bulat / profil
6. bentuk ulir luar
7. bentuk ulir dalam
8. bentuk alur dalam

2.3 Bagian bagian utama mesin bubut

Bagian bagian utama mesin bubut terdiri dari :



Gambar 2.7 Bagian-Bagian Utama Mesin Bubut

2.3.1 Kepala Tetap (*Head Stock*)

kepala tetap (*head stock*) spindle utama mesin yang berfungsi sebagaiudukan beberapa perlengkapan, Alat-alat perlengkapan tersebut dipasang pada spindle mesin berfungsi sebagai pengikat atau penahan benda kerja yang akan dikerjakan pada mesin bubut diantaranya: cekam (*chuck*), kollet (*collet*), senter tetap, atau pelat pembawa rata (*face plate*) dan pelat pembawa berekor (*driving plate*).

2.3.2 Kepala Lepas (*Tail Stock*)

Kepala lepas (*tail stock*) digunakan untuk kedudukan senter putar (*rotary centre*), senter tetap, cekam bor dan mata bor bertangkai tirus dimana pemasangannya dimasukkan pada lubang tirus kepala lepas. Senter putar dipasang pada kepala lepas dengan tujuan mendukung ujung benda kerja agar putarannya

stabil, sedangkan cekam bor atau mata bor dipasang pada kepala lepas dengan tujuan untuk proses pengeboran

2.3.3 Meja Mesin Bubut (*Bed Machine*)

Alas/Meja Mesin Bubut (*Bed Machine*) digunakan sebagai tempat kedudukan kepala lepas, eretan, penyangga diam (*steady rest*) dan merupakan tumpuan gaya pemakanan pada waktu pembubutan. Bentuk alas/ meja mesin bubut bermacam-macam, ada yang datar dan ada yang salah satu atau kedua sisinya mempunyai ketinggian tertentu. Selain itu, alat/meja mesin bubut memiliki permukaannya yang sangat halus, rata dan kedataran serta kesejajarannya dengan ketelitian sangat tinggi, sehingga gerakan kepala lepas dan eretan memanjang di atasnya pada saat melakukan penyayatan dapat berjalan lancar dan stabil sehingga dapat menghasilkan pembubutan yang presisi.

2.3.4 Eretan (*carriage*)

Terdiri dari tiga bagian diantaranya:

1. Eretan memanjang (*longitudinal carriage*) berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan dengan arah memanjang menjauhi atau mendekati spindle mesin, dapat digerakan secara manual atau otomatis sepanjang meja mesin dan sekaligus sebagai dudukan eretan melintang.
2. Eretan melintang (*cross carriage*) berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan yang arah melintang menjauhi atau mendekati sumbu senter, dapat digerakan secara manual atau otomatis dan sekaligus sebagai dudukan eretan atas.
3. Eretan atas/eretan kombinasi (*top carriage*) berfungsi untuk melakukan pemakanan secara manual kearah sudut yang dikehendaki sesuai penyetelannya. Biasa digunakan untuk pemakan finishing bubut memanjang dan pembuatan tirus.

2.3.5 Poros Transportir (*Lead Screw*)

Sebuah poros berulir yang umumnya berbentuk segi empat dengan jenis ulir whithworth (inchi) atau metrik (mm) dinamakan poros transportir. Poros ini berfungsi untuk membawa eretan pada waktu pembubutan secara otomatis, misalnya pembubutan arah memanjang atau melintang dan pembuatan ulir.

2.3.6 Tuas (*handle*)

Tuas atau handel yang berfungsi sebagai pengaturan putaran, setting otomatis, setting kisar ulir, pemutar spindle pada mesin bubut. Setiap mesin bubut dengan pabrikan yang berbeda, biasanya memiliki cara penggunaannya dan posisi atau letak. Maka dari itu, didalam mengatur tuas untuk setiap melakukan proses pembubutan harus berpedoman pada tabel-tabel petunjuk pengaturan yang ada pada mesin bubut tersebut.

2.3.7 Pemegang Pahat (*Tool Post*)

Penjepit atau pemegang pahat (*Tools Post*) berfungsi sebagai penjepit atau pemegang pahat. Bentuknya atau modelnya umumnya ada dua macam yaitu, pemegang pahat standar dan pemegang dapat disetel (*adjustable tool post*).

2.4 Pahat bubut

Pahat/Alat Potong merupakan suatu alat yang dipasang pada mesin perkakas dan berfungsi untuk memotong benda kerja atau membentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Pada proses kerjanya pahat digunakan untuk menyayat benda kerja yang keras sehingga diharuskan material pahat harus lebih keras dari pada benda kerja yang akan dibubut. (Wiratama E. , 2021)

Material pahat harus mempunyai sifat-sifat (Wiratama E. , 2021.)

- 1) Keras, kekerasan material pahat harus melebihi kekerasan material benda kerja yang disayat;
- 2) Tahan terhadap gesekan, material pahat harus memiliki ketahanan terhadap gesekan, hal ini bertujuan pada saat proses penyayatan berlangsung pahat tidak mudah aus (berkurang dimensinya) untuk menjaga kualitas dan keakuratan dimensi dari benda kerja;
- 3) Ulet, pahat haruslah terbuat dari jenis material yang ulet, dikarenakan pada saat proses penyayatan pahat pasti akan mendapat beban kejut;
- 4) Tahan panas, pahat harus terbuat dari material tahan panas, karena pada saat pahat dan benda kerja bergesekan akan menimbulkan panas yang cukup tinggi (250°C-400°C) tergantung putaran dari spindle mesin (semakin tinggi putaran spindle mesin maka akan semakin tinggi pula suhu yang ditimbulkan);

- 5) Ekonomis, pahat harus bersifat ekonomis (pemilihan jenis material pahat harus disesuaikan dengan jenis pengerjaan yang akan dilakukan dan jenis material benda kerja).

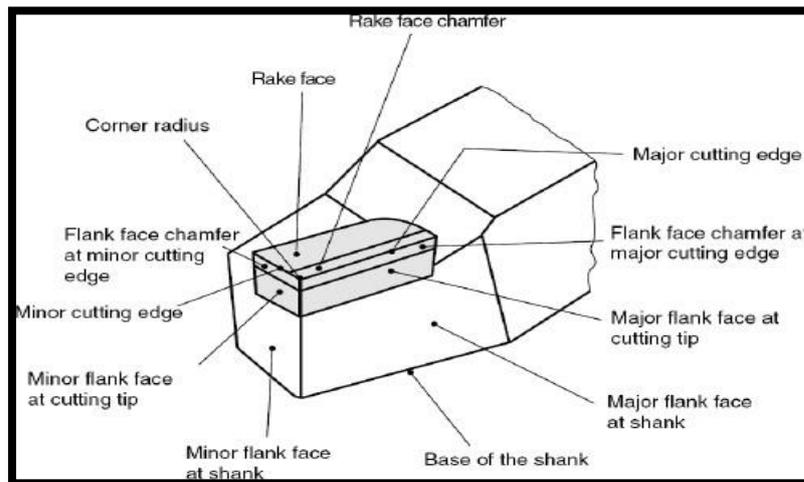
Pada mulanya untuk memotong baja digunakan baja karbon tinggi sebagai bahan dari pahat, dimana kecepatan potongnya pada waktu itu hanya bisa mencapai sekitar 10 m/menit. Berkat kemajuan teknologi kecepatan potong ini dapat dinaikkan sehingga mencapai sekitar 700 m/menit yaitu dengan menggunakan CBN (*Cubic Baran Nitride*). Kekerasan tersebut dapat dicapai berkat kekerasan yang tetap relatif tinggi meskipun temperatur kerjanya cukup tinggi. Dari kemajuan teknologi tersebut dapat diketahui bahwa hanya material dari jenis karbida dan keramiklah yang tetap berfungsi dengan baik pada kecepatan potong atau temperatur kerja yang tinggi. Meskipun demikian, bukan berarti hanya Karbida dan Keramik saja yang saat ini di pakai sebagai pahat potong tetapi jenis lain masih tetap dipilih yaitu pada saat di perlukan sifat keuletan yang dan nilai ekonomis yang tinggi. Namun pada saat ini material pahat yang banyak digunakan adalah HSS dan Karbida.

Berikut ini adalah material-material pahat secara berurutan dari yang paling lunak tetapi ulet sampai dengan yang paling keras tetapi getas, yaitu : (Azhar, 2014)

1. Baja Karbon Tinggi,
2. HSS (*High Speed Steels*),
3. Paduan *Cor Nonferro*,
4. Karbida,
5. CBN (*Cubic Baran Nitride*).

2.4.1 Geometri Pahat Bubut

Dalam pengerjaan mesin, geometri pahat merupakan aspek penting untuk dipertimbangkan karena pengaruhnya dalam memotong kekuatan dimensi dan pembentukan *chip*. Selain itu, faktor ini akan secara langsung mempengaruhi masalah lain seperti defleksi pahat, getaran, dll. Parameter geometris yang paling penting disertakan dalam gambar 2.20 Parameter ini adalah sisi *cutting edge angle*, *end cutting edge angle*, *cutting edge inclination* dan *nose radius*.



Gambar 2.8 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581

2.4.2 Pahat Karbida

Pahat dari karbida dibagi dalam dua kelompok tergantung penggunaannya. Bila digunakan untuk benda kerja besi tuang yang tidak liat dinamakan *cast iron cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf K dan kode warna merah. Apabila digunakan untuk menyayat baja yang liat dinamakan *steel cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf P dan kode warna biru. Selain kedua jenis tersebut ada pahat karbida yang diberi kode huruf M, dan kode warna kuning. Pahat karbida ini digunakan untuk menyayat berbagai jenis baja, besi tuang dan non ferro yang mempunyai sifat ketemesinan yang baik. (Rahdiyanta, 2010)

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 atmosfer 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 pemesinan 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 900oC- 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,R., 2006)

2.5 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 merupakan salah satu dari jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar (0,43 – 0,50 % C berat) yang sering digunakan

dipasaran karena banyak memiliki keunggulan dan harganya yang lumayan terjangkau. AISI sendiri merupakan kepanjangan dari (American Iron and Steel Institute) angka 10 merupakan kode yang menunjukkan plain carbon dan kode xxx setelahnya merupakan besar dari komposisi karbon.

Baja AISI 4140 juga memiliki beberapa karakteristik diantaranya sifat mampu mesin yang baik, Wear resistance-nya baik dan sifat mekaniknya menengah. (Widyatama &Suprpty, 2018)

2.5.1 Penggunaan baja AISI 4140

Baja AISI 4140 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 4140 secara umum dapat digunakan sebagai material pembuatan suku cadang mesin alat-alat perkakas. (Rahmat Dwi, 2021)



Gambar 2.9 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 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 4140 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 4140 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)

2.5.2 Unsur baja AISI 4140

Adapun kandungan unsur yang terdapat pada baja karbon AISI 4140 menurut standar ASTM A 827-85 dapat dilihat dari Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.3 Unsur Baja Karbon AISI 4140

Unsur	%	Sifat Mekanik Lainnya
Karbon	0,42-0,50	<i>Tensile strenght</i>
Mangan	0,60-0,90	<i>Yield strenght</i>
Sulfur	Maks. 0,035	<i>Elongation</i>
Fosfor	Maks. 0,040	<i>Reduktion in area</i>
Silican	0,15-0,40	<i>Hardness</i>

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

Material baja AISI 4140 memiliki sifat mekanik sebagai berikut:

Tabel 2.4 Sifat-Sifat Mekanik Baja AISI 4140

Kekuatan Tarik, σ_u	580 kg/mm ²
Kekuatan Luluh, σ_y	305 kg/mm ²
Perpanjangan (<i>elongation</i>)	16%

Sumber: (Erick Wiratama, 2021)

2.5.3 Struktur baja AISI 4140

Baja yang mempunyai kandungan karbon sebesar 0,43 – 0,50 % dan termasuk dari golongan dari baja karbon menengah ini sering digunakan dalam dunia industri seperti pada pembuatan baut, kapak, roda gigi pada kendaraan bermotor atau komponen automotif dan lainnya, ini mempunyai komposisi kimia yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini.:

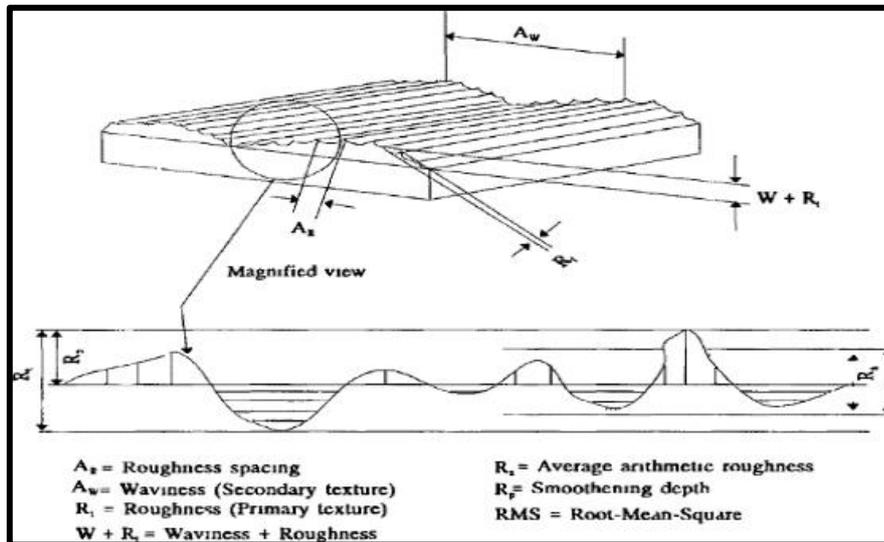
Komposisi kimia baja AISI 4140						
Kode	C%	Si	Mn%	Mo%	P%	S%

AISI	0,4	0,1	0,06	0,025	0,004	0,005
4140	0,43	0,3	0,9	-	MAX	MAX

Tabel 2.5 Struktur baja AISI 4140

2.6 Surface Roughness (Kekasaran Permukaan)

Di permukaan permesinan apa pun, istilah yang digunakan untuk menggambarkan kualitas geometrisnya diketahui sebagai kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan mengacu pada properti permukaan mesin. Kekasaran permukaan adalah bagian dari permukaan akhir (tekstur permukaan) yang bisa didefinisikan sebagai tanda yang ditinggalkan oleh tindakan dari proses produksi yang digunakan, seperti operasi balik. Kekasaran permukaan terdiri dari penyimpangan permukaan yang relatif tertutup atau berjarak halus biasanya dalam bentuk tanda pemakanan yang ditinggalkan oleh alat pemotong pada permukaan mesin. Diukur dengan ketinggian penyimpangan sehubungan dengan garis referensi. Tekstur permukaan permukaan mesin terdiri dari tekstur primer (kekasaran) dan tekstur sekunder. Tekstur primer dapat diukur dengan berbagai indeks seperti rata-rata tinggi kekasaran aritmatika R_a , kedalaman *smoothenng* R_p , maksimal kekasaran R_z , dan tinggi RMS *root-mean-square*.



Gambar 2.10 Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan permesinan.

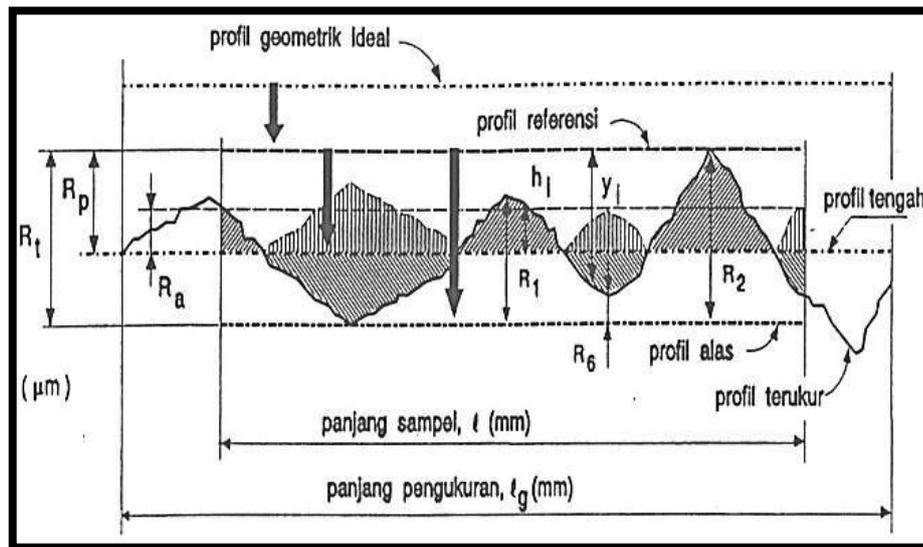
Sumber : (Choudhury, 1995)

Dengan pengecualian RMS, berbagai indeks ini (R_a , R_p , R_t) biasa digunakan. Indeks yang paling umum digunakan adalah tinggi kekasaran aritmatika R_a

tekstur sekunder adalah bagian dari tekstur permukaan yang mendasari kekasaran. Semua jenis getaran mesin, terjadinya *built-up-edge*, ketidakakuratan dalam pergerakan alat mesin dapat berkontribusi pada tekstur sekunder. Gambar 2.10 diatas menunjukkan berbagai komponen dan parameter permukaan mesin. Kekasaran aritmatika rata-rata Ra juga dikenal sebagai CLA rata-rata garis tengah (Inggris) dan rata-rata aritmatika AA (Amerika) Ra dikutip dalam mikron mewakili nilai rata-rata kekasaran CLA atau kekasaran AA Ra diperoleh dengan mengukur penyimpangan rata-rata puncak dari garis tengah jejak, garis tengah ditetapkan sebagai garis di atas dan di bawah, area yang sama antara garis tengah dan jejak permukaan.

Menurut Taufiq Rochim, kekasaran akhir permukaan benda bisa ditetapkan dari banyak parameter. Parameter yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata (Ra). Parameter ini adalah juga dikenal sebagai perhitungan nilai kekasaran AA (*arithmetic average*) atau CLA (*center line average*). Ra bersifat universal dan merupakan parameter internasional kekasaran yang paling sering digunakan.

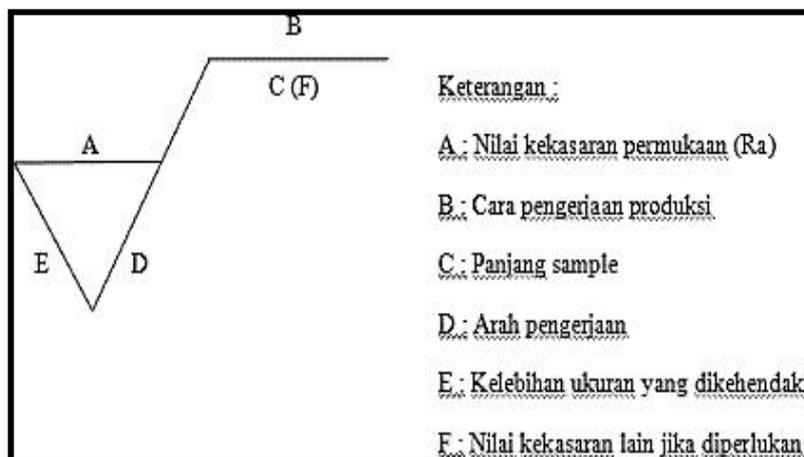
Kedalaman kehalusan Rp adalah jarak antara titik tertinggi dan rata-rata garis Rp biasanya hasil dari kondisi alat pemotong puncak maksimum ke ketinggian lembah dalam jejak jejak profil permukaan dikenal sebagai Rt RMS adalah kekasaran geometris rata-rata dan merupakan standar Amerika numerik nilainya sekitar 11% lebih tinggi dari Ra dapat dilihat pada gambar 2.11.(Choudhury, 1995)



Gambar 2.11. Tekstur permukaan benda kerja

Sumber : (Rochim, 1993)

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan symbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Lambang kekasaran permukaan

Sumber : Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong (Azhar, 2014)

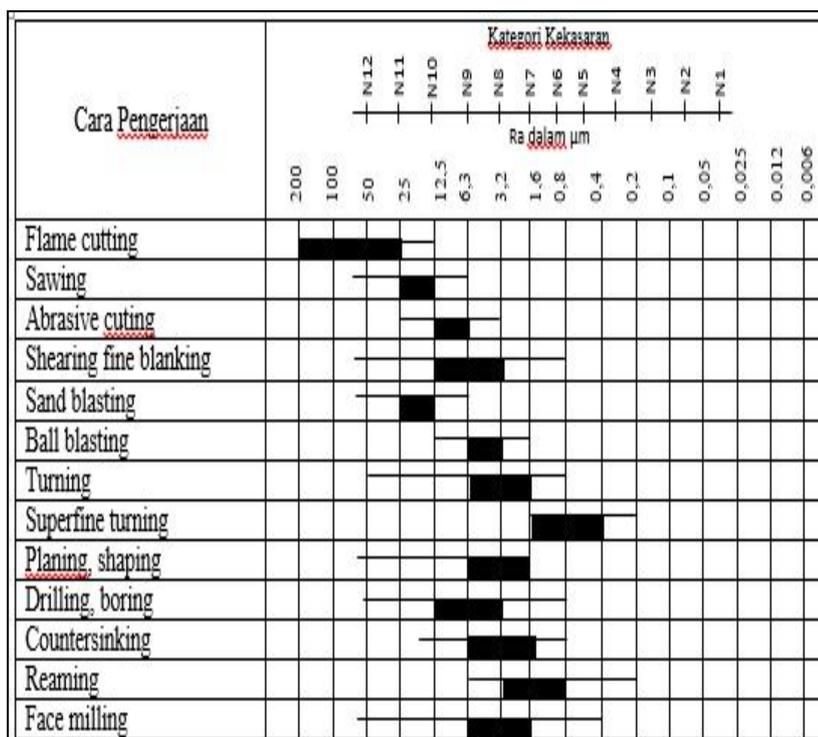
Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (R_a). Nilai R_a telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.6 dibawah ini. (Azhar, 2014)

Tabel 2.6 Angka Kekasaran permukaan (Azhar,

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	0,25
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	
N6	0,8	0,6 – 1,2	0,8
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	
N10	12,5	9,6 – 18,75	2,5
N11	25	18,5 – 37,5	
N12	50	37,5 – 75,0	8

2017

Berikut ini adalah acuan kelas kekasaran rata-rata untuk beberapa proses pengerjaan permesinan



Tabel 2.7 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan (Adzkari, 2017)

2.7 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:

2.7.1 Tahap Perencanaan

Tahap ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut.

- a. Perumusan Masalah harus dirumuskan secara spesifik. Perumusan masalah harus jelas secara teknis sehingga dapat dituangkan ke dalam eksperimen yang akan dilakukan.
- b. Penentuan Tujuan Eksperimen yang ditentukan harus dapat menjawab masalah yang telah dirumuskan.
- c. Penentuan Respon memiliki nilai yang tergantung pada faktor-faktor lain yang disebut variabel bebas.
- d. Pengidentifikasian 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.
- e. 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.
- f. 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.
- g. 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 (v_{mo}) dapat ditentukan dengan menjumlahkan derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}).

Derajat kebebasan dari faktor dan level (v_{fl}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_{fl} = \text{Jumlah level factor} - 1 \quad (2.2)$$

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

$$\text{Jumlah eksperimen (n)} = v_{mo} + 1 \quad (2.3)$$

Jenis matriks ortogonal yang tersedia secara standar dapat dilihat pada Tabel 2.8. Matriks ortogonal L4 (2^3) berarti jumlah eksperimen yang dilakukan adalah empat, jumlah derajat kebebasan dari matriks ortogonal (v_{mo}) maksimal adalah tiga, serta matriks tersebut dapat digunakan untuk jumlah faktor maksimal 3 dengan masing-masing memiliki 2 level.

Tabel 2.8 Matriks Ortogonal

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
$L_4 (2^3)$	$L_9 (3^4)$	$L_{16} (4^3)$	$L_{25} (5^6)$	$L_{18} (2^1 \times 3^7)$
$L_8 (2^7)$	$L_{27} (3^{13})$	$L_{64} (4^{21})$		$L_{32} (2^1 \times 4^9)$
$L_{12} (2^{11})$	$L_{81} (3^{40})$			$L_{36} (2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16} (2^{13})$				$L_{36} (2^3 \times 3^{13})$
$L_{32} (2^{31})$				$L_{54} (2^1 \times 3^{25})$
$L_{54} (2^{63})$				$L_{50} (2^1 \times 5^{11})$

Sumber: (Soejanto, 2009)

2.7.2 Tahap Pelaksanaan

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

- a. 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.
- b. 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.

2.7.3 Tahap Analisis

Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan. Selain itu, juga dilakukan perhitungan dan pengujian data statistik pada data hasil eksperimen. Analisis Variasi (ANAVA) digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik. Analisis ini dilakukan dengan menguraikan seluruh variasi atas bagian-bagian yang diteliti. ANAVA 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 ANAVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (db), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS) dan kuadrat tengah (*mean of square*, MS) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Tabel Analisis Variansi (ANAVA)

Sumber Variansi	db	SS	MS
Faktor A	v_A	SSA	MSA
Faktor B	v_B	SSB	MSB
Faktor C	v_C	SSC	MSC
Faktor D	v_D	SSD	MSD
Faktor E	v_E	SSE	MSE
Faktor F	v_F	SSF	MSF
Error	v_{error}	S _{error}	MS _{error}
Total	v_T	SST	

Sumber : (Soejanto, 2009)

Dimana:

$$\begin{aligned} v_T &= \text{derajat bebas total} \\ &= N - 1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} v_A &= \text{derajat bebas faktor A} \\ &= k_A - 1 \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} v_B &= \text{derajat bebas faktor B} \\ &= k_B - 1 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} v_C &= \text{derajat bebas faktor C} \\ &= k_C - 1 \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$v_{error} = \text{derajat bebas error}$$

$$(2.8) \quad = v_T - v_A - v_B - v_C - v_D - v_E - v_F$$

$$T = \text{jumlah keseluruhan} \\ = \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.9)$$

$$CF = \text{faktor koreksi} \\ = \frac{T^2}{N}$$

$$(2.10) \quad SS_T = \text{jumlah kuadrat total} \\ = \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF \quad (2.11)$$

$$= \sum_{i=1}^n (y_i - T)^2 \quad (2.12)$$

$$SS_A = \text{jumlah kuadrat faktor A} \\ = \left[\sum_{i=0}^{kA} \binom{A_1^2}{nA_1} \right] - CF \quad (2.13)$$

$$SS_B = \text{jumlah kuadrat faktor B} \\ = \left[\sum_{i=0}^{kB} \binom{B_1^2}{nB_1} \right] - CF \quad (2.14)$$

$$SS_C = \text{jumlah kuadrat faktor C} \\ = \left[\sum_{i=0}^{kC} \binom{C_1^2}{nC_1} \right] - CF \quad (2.15)$$

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

$$MS_A = \text{kuadrat tengah faktor A} \\ = SS_A - v_A \quad (2.16)$$

$$MS_B = \text{kuadrat tengah faktor B} \\ = SS_B - v_B \quad (2.17)$$

$$MS_C = \text{kuadrat tengah faktor C} \\ = SS_C - v_C \quad (2.18)$$

$$MS_E = \text{kuadrat tengah faktor error} \\ = SS_E - v_E \quad (2.19)$$

2.7.4 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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (2.20)$$

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i^2 - \bar{y})^2}{n} \right] \quad (2.21)$$

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:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{1/y_i^2}{n} \right] \quad (2.22)$$

2.8 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 signal, *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.