

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan teknologi di dunia industri telah membuat manusia lebih mudah melakukan pekerjaannya. Produk yang dihasilkan menjadi lebih baik dan efisien karena mesin-mesin tersebut telah disempurnakan. Dalam industri manufaktur, proses permesinan adalah bagian penting dari pembuatan produk atau jasa. Mesin bubut adalah salah satu jenis mesin perkakas yang memungkinkan pemakanan benda kerja. Proses sayatan dilakukan dengan memutar benda kerja kemudian dipasang pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar benda kerja (Daryanto 2012).

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. Lebih kurang 80% dari keseluruhan kegiatan yang ada pada operasi proses pemotongan logam menggunakan proses bubut (Azib Fahim Barok 2017).

Parameter yang paling menentukan kekasaran permukaan adalah kedalaman pemotongan (*depth of cut*), laju pemakanan (*feed rate*), dan kecepatan potong. Sudut potong pahat, kecepatan makan (*feeding*), kecepatan potong (*cutting speed*), dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) adalah beberapa faktor yang sangat mempengaruhi hasil komponen proses pembubutan, terutama kekasaran permukaan (Taufiq Rochim 2007)(Steven, S.R., Kalpakjian 2002).

Baja AISI 4140 termasuk pada golongan baja karbon sedang (0.38 – 0.43 C), pengaplikasiannya sendiri biasa digunakan pada pembuatan *shaft*, *gear* dan banyak lainnya. Komposisi kimia yang terdapat pada baja ini menurut yang dikemukakan oleh AISI (*American Iron And Steel Institute*) 0.80% - 1.1% Cr, 0.75% - 1.0% Mn, <0.040% S, 0.15% - 0.3% Si, <0,035% P dan 0.15% - 0.25% Mo. Karena penggunaannya pada pembuatan shaft dan gear memungkinkan baja AISI 4140

untuk diberi perlakuan panas dengan metode quenching kondisi ini ialah salah satu cara yang dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik pada baja AISI 4140. Material ini sifat ketahanan korosinya sangat baik namun nilai kekerasan rendah dibandingkan baja tahan karat jenis martensitik lainnya. Paduan dengan nitrogen sebenarnya menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan elemen paduan lainnya dalam hal sifat korosi dan mekanis (Supriyanto 2018).

Mengingat begitu pentingnya arti kekasaran suatu komponen terutama pada as roda, maka harus dapat dibuat produk yang mempunyai tingkat kekasaran yang sesuai dengan kriteria. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada pengerjaan logam dengan menggunakan mesin bubut, antara lain kondisi mesin bubut, kecepatan potong, kedalaman pemakanan, kondisi mesin, bahan benda kerja, jenis pahat, ketajaman mata pahat, geometri atau sudut-sudut pemotongan, pendinginan dan operator (Lesmono 2013).

Permesinan kering (*dry machining*) adalah suatu proses permesinan dimana cairan pendingin tidak digunakan pada proses permesinan tersebut. Pemesinan kering dianggap sebagai proses yang lebih berkelanjutan dari pada pemesinan dengan cairan pemotongan karena tidak adanya pelumas dan pendingin, yang dapat meminimalkan biaya produksi. Ada banyak keuntungan dari pengerjaan mesin kering, seperti peningkatan fleksibilitas, penurunan waktu siklus, pengurangan biaya alat mesin, dan penghapusan cairan pemotongan yang berbahaya bagi lingkungan (Lesmono 2013).

Variabel permesinan pada proses pembubutan adalah variabel yang diatur pada mesin bubut yang berguna untuk mengatur kualitas hasil permesinan bubut. Pada proses pemesinan, penentuan penyetelan parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting dilakukan secara efektif. Hal ini bertujuan untuk mengurangi proses coba-coba sehingga waktu dan biaya proses pemesinan dapat di minimalkan (Widarto 2008).

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan benda kerja untuk dijadikan komponen-komponen pada mesin dan industri, antara lain pertimbangan fungsi, pembebanan, kemampuan bentuk dan kemudahan pencarian di pasaran. Mempertimbangkan hal tersebut, maka bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian adalah material baja karbon sedang (AISI 4140), karena bahan tersebut

sering dipakai dalam komponen pemesinan, terkhusus pada dunia otomotif yaitu as roda (Nieman, 1981:85).

Berdasarkan beberapa referensi penelitian sebelumnya, setiap permukaan dari sebuah benda memiliki beberapa bentuk yang beraneka ragam menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Roughness atau kekasaran didefinisikan sebagai ketidak halusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Nilai kekasaran hasil proses pembutuan menggunakan jenis pemotongan kering memiliki nilai berbeda-beda. Oleh karena itu dilakukan penelitian lebih dalam mengenai variasi jenis kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan.

1.2 Identifikasi masalah

Dari latar belakang diatas, permasalahan yg timbul pada proses permesinan dapat dirumuskan, Bagaimana hasil studi eksperimen pengaruh kecepatan pemakanan terhadap kekasaran hasil perautan poros baja AISI 4140 pada pemesinan kering.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberi kejelasan dari penelitian ini, perlu adanya batasan-batasan masalah agar tidak menyimpang dari tujuan. Batasan-batasan masalah tersebut meliputi :

1. Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin bubut konvensional.
2. Pahat insert yang digunakan adalah type DNMG 150404.
3. Jenis benda kerja yang digunakan adalah poros baja 4140.
4. Panjang benda kerja 50 mm / spesimen , diameter benda kerja 25 mm, panjang pemesinan 30 mm.
5. Kedalaman makan 0,5 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembahasan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan terhadap nilai kekasaran hasil perautan poros baja AISI 4140 pada pemesinan kering.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat digunakan untuk referensi penelitian dalam mengembangkan pengetahuan mengenai kekasaran permukaan pemotongan pada pahat karbida dalam pembubutan baja 4140.
2. Kontribusi pada pengetahuan ilmiah: Penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan ilmiah tentang proses manufaktur yang dapat bermanfaat bagi komunitas akademis dan industri dalam pengembangan teknologi manufaktur yang lebih maju di masa depan.

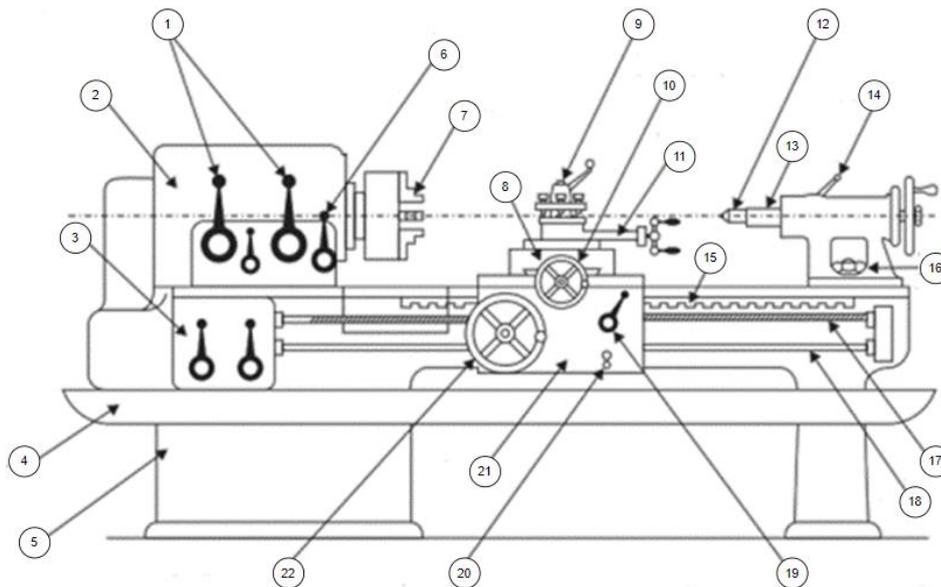
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Bubut

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. Mesin Bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Mesin bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja.

Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan. Dengan mengatur perbandingan kecepatan rotasi benda kerja dan kecepatan translasi pahat maka akan diperoleh berbagai macam ulir dengan ukuran kisar yang berbeda. Hal ini dapat dilakukan dengan jalan menukar roda gigi translasi yang menghubungkan poros spindel dengan poros ulir. Mesin bubut merupakan salah satu mesin perkakas yang paling banyak digunakan didunia industri saat ini, banyak jenis benda yang dapat diproduksi menggunakan mesin bubut. Mesin bubut pada umumnya terdiri dari empat bagian utama yaitu kepala tetap (*head stock*), kepala lepas (*tail stock*), eretan pembawa (*carriage*), dan landasan atau alas mesin.



Gambar 2. 1 Komponen Mesin Bubut

Sumber : *Manufacturing Processes* (Gupta dkk, 2015)

Keterangan :

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1. Pengubah Kecepatan | 9. Pemegang Pahat | 17. Ulir Pengarah |
| 2. <i>Headstock</i> | 10. Roda Eretan Melintang | 18. Batang Hantaran |
| 3. Pengubah Ulir Hantaran | 11. Perletakan Majemuk | 19. Kendali Spindel |
| 4. Talam Serpihan | 12. Senter Putar | 20. Kontrol Kecepatan |
| 5. Meja | 13. Pemegang Senter | 21. Apron |
| 6. Kotak Roda Gigi | 14. Pengunci Kepala Lepas | 22. Roda Eretan Vertikal |
| 7. Kepala Tetap | 15. Ulir Lintasan | |
| 8. Eretan Melintang | 16. Pengikat Kepala Lepas | |

2.1.1 Kepala Tetap (*Head Stock*)

Kepala tetap atau head stock adalah bagian utama dari mesin bubut yang digunakan untuk menyangga poros utama, yaitu poros yang digunakan untuk menggerakkan *spindle*. Poros utama yang terdapat pada *head stock* tersebut juga digunakan sebagai dudukan roda gigi untuk mengatur kecepatan putaran yang diinginkan dan sebagai pengatur otomatis dalam pembuatan ulir. Selain itu pada kepala tetap ini juga terdapat cekam yang berfungsi sebagai tempat mengikat atau tempat dudukan benda kerja yang akan kita bubut dan tuas-tuas yang berguna untuk mengatur kecepatan putaran.

2.1.2 Kepala Lepas (*Tail Stock*)

Kepala lepas atau tail stock adalah bagian dari mesin bubut yang letaknya disebelah kanan dan dipasang diatas alas atau meja mesin. Kepala lepas ini berfungsi sebagai tempat pemasangan senter yang digunakan sebagai penumpu ujung benda kerja dan sebagai dudukan penjepit mata bor pada saat kita melakukan pengeboran. Kepala lepas ini dapat digerakkan atau digeser sepanjang meja kerja dari mesin bubut tersebut. Pada kepala lepas tersebut juga terdapat tuas-tuas yang berfungsi sebagai pengunci dari kepala lepas tersebut.

2.1.3 Eretan Pembawa (*Carriage*)

Eretan pembawa adalah bagian dari mesin bubut yang berfungsi sebagai penghantar atau pembawa pahat bubut yang dapat bergerak sepanjang landasan mesin bubut. Ada 3 jenis eretan pada mesin bubut, yaitu:

1. Eretan bawah, eretan ini dapat digerakkan sepanjang landasan mesin bubut diantara kepala tetap dan kepala lepas.
2. Eretan melintang, eretan ini bisa digerakkan tegak lurus terhadap landasan mesin bubut. Ini biasa digunakan pada saat pembubutan permukaan melintang.
3. Eretan atas, eretan ini terletak diatas eretan melintang. Eretan atas ini arah gerakannya sama dengan eretan bawah, namun eretan atas ini dapat diputar mendatar sebesar 36° . Eretan ini biasa digunakan pada saat pembubutan tirus atau konis.

2.2 Parameter Mesin Bubut

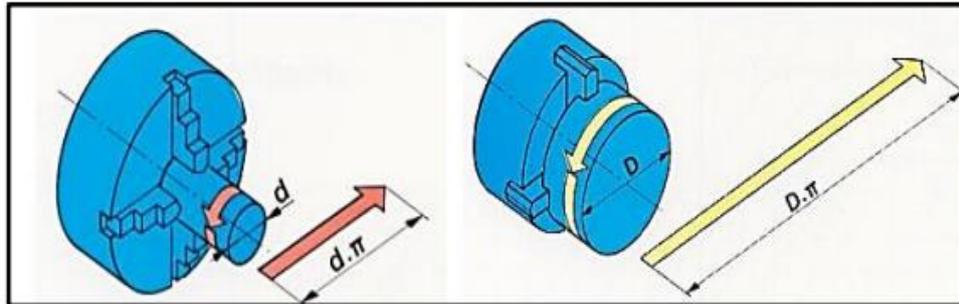
Proses pembubutan dikenal dengan berbagai macam parameter pemotongan yang memiliki pengaruh terhadap hasil pembubutan seperti proses *cutting speed*, *spindle speed* dan *depth of cut*.

a. Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Kecepatan potong (*cutting speed*) juga berpengaruh terhadap terjadinya suatu getaran, dimana semakin cepat maka semakin tinggi amplitudo getaran yang terjadi begitu juga sebaliknya. Kenaikan *cutting speed* pada

kondisi *chatter* akan menghasilkan amplitudo getaran yang semakin tinggi sehingga mengakibatkan permukaan benda kerja akan semakin kasar.

Cutting speed dan *depth of cut* berpengaruh secara signifikan terhadap amplitudo getaran yang terjadi saat proses pembubutan, akan berdampak pada kualitas hasil akhir dari permukaan benda kerja (Lesmono 2013).

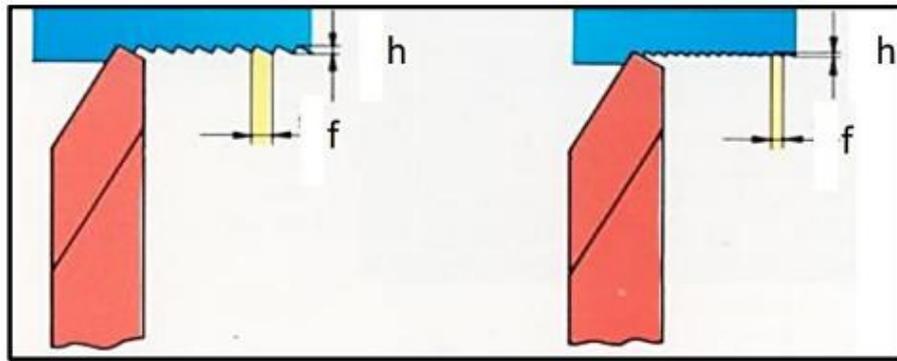


Gambar 2. 2 Panjang Permukaan Benda Kerja

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 V) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (gambar 2.3).

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.



Gambar 2. 3 Gerak Makan (f) dan kedalaman pemakanan (h)

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

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. 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 (gambar 2.4). 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.

Menentukan kecepatan potong pada penelitian ini dengan menggunakan rumus :

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/min} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

V_c : Kecepatan potong (m/menit)

n : Putaran benda kerja (putaran / menit)

d : Diameter benda kerja (mm)

Kecepatan makan :

$$V_f = f \cdot n \text{ (mm/min)} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

f = Gerak makan (mm/put)

n = putaran spindel (put/min)

Kecepatan potong adalah panjang ukuran lilitan pahat terhadap benda kerja atau dapat juga disamakan dengan panjang tatal yang terpotong dalam ukuran meter yang diperkirakan apabila benda kerja berputar selama satu menit. Sebagai contoh, baja lunak dapat dipotong sepanjang 30 meter 12 tiap menit, hal ini berarti spindel mesin perlu berputar supaya ukuran mata lilitan pahat terhadap benda kerja (panjang tatal) sepanjang 30 meter dalam waktu putaran satu menit, karena ukuran benda kerja berbeda-beda.

Tabel 2. 1 Perbandingan Sifat Pahat

Bahan Pahat	Kecepatan Potong (m/min)	Temperatur Kekasaran Panas (°C)	Kekasaran (HRA)
Baja Karbon	10	300	60
HSS	25 – 65	650	83 – 86
Paduan Kobalt Cor	50 – 200	925	82 – 84
Karbida	÷ 650	1200	90 – 95
Karbida	330-650	<2000	91 – 95

CNB	500-800	1300	4000 – 5000 HK
Intan	300-1500	>650	7000 – 8000 HK

Tabel di atas menunjukkan dengan menggunakan pahat karbida standar nilai kecepatan potong sebesar ± 650 m/menit, sehingga pada penelitian dengan menggunakan pahat karbida untuk menentukan nilai kecepatan potong mengacu pada standar table di atas.

b. Putaran Spindel (*Spindle Speed*)

Putaran spindel (*spindle speed*) merupakan komponen untuk menentukan seberapa besar putaran spindel yang dihasilkan dari mesin bubut tersebut, karena besar kecilnya putaran spindel sangat mempengaruhi tingkat getaran yang terjadi saat proses pembubutan atau mesin bubut beroperasi. Sebelum menjalankan mesin ada baiknya menentukan terlebih dahulu jumlah putaran per menit dari spindel utama. Besarnya angka putaran yang sesuai akan menjadi hasil pembubutan penggunaan mesin yang optimal. Putaran 300 rpm menghasilkan amplitudo getaran lebih tinggi dari pada putaran tinggi 750 rpm (Lesmono 2013).

Sedangkan perhitungannya sebagai berikut:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots 2.3$$

n : Angka putaran (putaran / menit)

V : Cutting Speed (m/menit)

d : Diameter benda kerja (mm)

Rumus di atas untuk mencari suatu angka putaran dengan cutting speed dikalikan dengan 1000 kemudian dibagi dengan hasil dari diameter sehingga nanti akan dapat diketahui berapa angka putaran yang didapatkan.

c. Kedalaman Potong (*Depth of Cut*)

Depth of cut merupakan besarnya kedalaman pemakanan yang diberikan pada proses pembubutan, dalam dunia industri, mesin bubut merupakan mesin yang paling tua dan banyak digunakan untuk membuat komponen kerja. Benda kerja baja karbon VCL 140 yang pada prosesnya *disetting* kedalaman pemakanan mulai 0,2 mm, 0,5 mm, 0,8 mm, 1 mm, dan

1,5 mm pada putaran 190 rpm, 320 rpm, 540 rpm, 900 rpm, dan 1500 rpm. Kedalaman pemotongan 0,5 mm getaran yang ditimbulkan paling kecil dan dapat disimpulkan getaran akan semakin besar jika gaya tangensial yang dibutuhkan untuk pemotongan semakin besar (Sugondo A. 2008: 5).

$$a = \frac{D+d}{2} \dots\dots\dots 2.4$$

dimana :

a = kedalaman pemotongan (mm)

D = diameter awal benda (mm)

d = diameter akhir benda kerja (mm)

2.3 Pahat bubut

Kualitas benda kerja dan efisiensi kerjanya akan tergantung dari pahat yang digunakan. Pahat memiliki arti proses memotong (*cutting process*), yaitu memotong logam untuk mendapatkan bentuk dan ukuran, serta kualitas permukaan potong yang direncanakan. Setiap pekerjaan diperlukan pahat yang tepat, misalnya untuk pekerjaan kasar (*roughing*), halus (*finishing*), permukaan (*facing*), bor, ulir dan lain – lain, diperlukan pahat yang khusus untuk tujuan masing – masing (Upara, 2009).

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 :

- i) Baja Karbon Tinggi,
- ii) HSS (*High Speed Steels*),
- iii) Paduan Cor Nonferro,
- iv) Karbida,
- v) CBN (*Cubic Baron Nitride*) (Azhar, 2014).

2.3.1 Pahat Karbida

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 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).

2.4 Material Baja

Baja adalah paduan besi dengan karbon dan beberapa elemen lainnya seperti Cr, Mn, S, Cu, dan Si dalam jumlah tertentu. Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia kandungan karbon dan elemen paduan lainnya:

2.4.1 Jenis – Jenis Baja

2.4.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara karbon dan besi yang mengandung sedikit unsur tambahan seperti Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat-sifat baja karbon bergantung pada kadar karbonnya, sehingga baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya adalah sebagai berikut:

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0.3 wt.%. Baja karbon rendah biasanya disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Baja tersebut memiliki sifat dapat dimesin yang sangat baik, sehingga mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Sifat ini merupakan kelebihan baja karbon rendah dibandingkan baja karbon jenis lainnya. Kelebihan lainnya baja ini mudah didapat dipasar material logam dan harganya cukup murah.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0.30-0.60 (wt.%). Baja ini banyak digunakan untuk pembuatan poros, pengerjaan rel kereta api, roda gigi, pembuatan pegas, serta baut, dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Baja karbon sedang ini memiliki kekuatan lebih tinggi daripada dengan baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas tinggi, akan tetapi tidak mudah dibentuk oleh mesin, dan lebih sulit digunakan untuk pengelasan, dan dapat (*quenching*) dengan baik.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja ini memiliki unsur karbon paling tinggi dibandingkan dengan baja karbon yang lain yaitu 0.60-1.7 (wt.%) dan memiliki ketahanan panas yang lebih tinggi, kekerasan yang tinggi, akan tetapi tingkat keuletannya lebih rendah dibandingkan baja yang lainnya. Baja karbon tinggi ini memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi dari baja yang lain. Biasanya baja karbon ini digunakan untuk pembuatan alat- alat konstruksi yang berhubungan dengan panas tinggi, pembuatan mata gergaji, pembuatan mata bor, mata pahat, dan salah satu pengaplikasian baja ini adalah untuk pembuatan kawat baja, kabel.

2.4.1.2 Baja Paduan

Baja paduan (*alloy steel*) adalah baja yang memiliki sedikit kandungan dari satu atau lebih elemen paduan (selain karbon) seperti silicon, nikel, chromium, manganese, titanium, copper, serta alumunium. Pencampuran tersebut menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh baja karbon regular. Baja paduan sering kali digunakan di industri karena biayanya yang ekonomis, mudah ditemukan, mudah diproses dan memiliki sifat mekanik yang baik. Baja paduan lebih responsif terhadap perlakuan panas dan perlakuan mekanik dibandingkan dengan baja karbon. Dalam penelitian ini penyusun menggunakan baja paduan yang akan dapat memudahkan pengambilan data sesuai teori yang telah diambil. Baja dapat dikatakan baja paduan jika memiliki kandungan unsur paduannya khusus, paduan yang terkandung sesuai dengan kebutuhan dari konsumen. Paduan yang banyak digunakan yakni Cr, Mn, Si, Ni, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr. Menurut jumlah paduannya baja paduan digolongkan menjadi:

a. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah (*low alloy steel*) adalah baja dengan unsur paduan (misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain) dengan presentase rendah. Baja jenis ini biasanya memiliki paduan kurang dari 2.5% (Rudnev et al, 2003). Material baja ini sering digunakan sebagai material pada mesin perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji. Contoh *low alloy steel* dengan persentase karbon 0,4%-0,55% yaitu AISI 4140, 4150, 1552 dan 5150. Beberapa jenis baja ini sering digunakan untuk bahan pembuatan roda

gigi dan dilanjutkan dengan proses pengerasan seperti induction surface hardening (Rudnev et al, 2003). Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang memiliki unsur paduan kurang dari 2.5%. unsur paduan yang dipakai seperti Cr, Mn, Ni, S, Si, P dll. Baja paduan jenis ini biasanya dipakai untuk membuat perkakas potong, gergaji, pahat, mata pisau dan lain-lain.

b. Baja Paduan Sedang

Baja paduan ini memiliki unsur paduan sekitar 2.5 sampai 10%. Baja paduan ini biasanya digunakan sebagai pembuat alat ukur, cetakan penarikan dan lain-lain.

c. Baja Paduan Tinggi

Baja paduan ini memiliki unsur paduan lebih dari 10%, baja paduan ini sering dipakai sebagai cetakan penarikan kawat, rol derat dan lain-lain.

2.5 Baja AISI 4140

Menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) baja paduan rendah AISI 4140 didesain dengan menggunakan empat digit angka. Hal ini berguna untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu chromium-molibdenum, angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$). Baja AISI 4140 termasuk pada bagian baja paduan rendah yang di dalam nya terdapat kromium dan juga molibdenum sebagai bahan untuk penguat. Hal ini dapat diketahui dari kandungan unsur yang ditunjukkan dengan kode penamaanya berdasarkan standar AISI yang merupakan salah satu standarisasi baja *American Iron and Steel Institute* dengan kode 4140 dimana dua angka didepan menunjukkan paduan krom, mangan, dan molibdenum sedangkan dua angka di belakang menunjukkan kandungan karbon dalam persen (%). Berikut adalah tabel komposisi kimia dari baja AISI 4140.

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja AISI 4140 (ASTM Hanbook)

Unsur	%. Wt
C	0,38-0,40
Mn	0,75-1,00

P	0,035
Mo	0,15-0,25
S	0,040
Si	0,20-0,35
Cr	0,80-1,10

Baja AISI 4140 memiliki cakupan aplikasi yang luas diantaranya digunakan untuk mesin kekuatan tinggi seperti: poros engkol, as roda, batang piston, dan kunci roda. Berikut adalah tabel sifat mekanik dari baja AISI 4140.

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja AISI 4140

Mechanical Properties	Steel
Yield Strength (N/mm ²)	≥ 739
Tensile Strength (N/mm ²)	≥ 892
Extention Ratio (%)	≥ 18,2
Area reduction (%)	≥ 63
Impact (V)	87-88

(Sumber : Mill Certificate by SeAH besteel Corp)

2.6 Kekasaran Permukaan

Menurut ISO 1302 - 1978 yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan. Dalam dunia industri, kebutuhan yang diinginkan masing-masing perusahaan berbeda, sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Nilai kekasaran permukaan sendiri memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda.

Dimana menurut ISO, nilai kualitas kekasaran permukaan dapat diklasifikasikan dari yang paling kecil adalah N1 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025 μm hingga nilai tertinggi adalah N12 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) 50 μm . Tabel 2.4 merupakan tabel nilai kualitas kekasaran permukaan (Ra) dan Tabel 2.4 merupakan nilai kekasaran permukaan mesin non konvensional.

Tabel 2. 4 Nilai Kualitas Kekasaran Permukaan (Ra)

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (+50% & -25%)	Panjang Sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,8
N2	0,05	0,04 – 0,08	
N3	0,1	0,08 – 0,15	0,25
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	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

(Sumber : (Sudji 1980))

2.6.1 Parameter Kekasaran Pemukaan

Untuk mereproduksi profil suatu permukaan, sensor peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut panjang pengukuran (*traversing length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba.

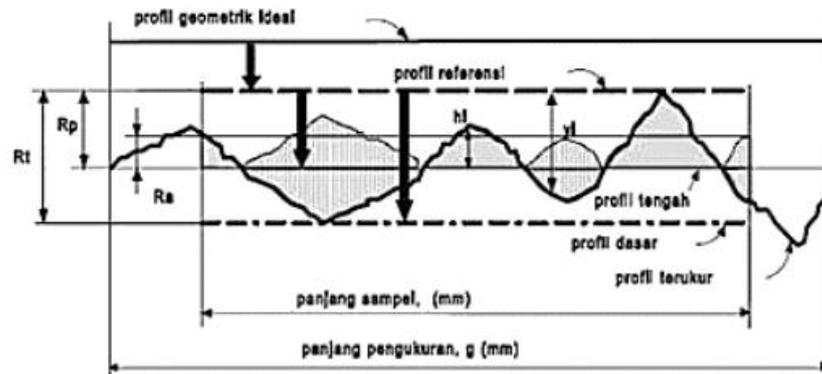
Bagian panjang pengukuran dimana dilakukan analisis profil permukaan disebut dengan panjang sampel (*sampling length*). Reproduksi profil sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan Gambar 2.15 dengan penambahan keterangan mengenai beberapa istilah profil yang penting yaitu:

- Profil geometrik ideal (*geometrically ideal profile*), merupakan profil permukaan sempurna (dapat berupa garis lurus, lengkung, atau busur).
- Profil terukur (*measured profile*), merupakan profil permukaan terukur.

- c. Profil referensi/ acuan/ puncak (*reference profile*), adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometrik ideal, serta menyinggung puncak tertinggi profil terukur dalam suatu panjang sampel.
- d. Profil akar/alas (*root profile*), yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- e. Profil tengah (*center profile*), adalah nama yang diberikan kepada profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah dibawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan diatas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang/mendatar. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter yaitu:

1. Ra merupakan penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil kekasaran rata-rata Aritmetis (*Mean Roughness Index / Center Line Average, CLA*), ialah harga rata-rata yang dihitung aritmetis, dari nilai absolut antara nilai profil terukur dengan profil tengah yang terukur seperti Tabel 2.2



Gambar 2. 4 posisi bentuk profil

Sumber: (Rochim 2001)

Ada beberapa cara untuk menentukan kekasaran rata-rata (Ra) dapat pula dilakukan secara grafis. Adapun caranya adalah sebagai berikut :

- Pertama, gambar sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.
- Kedua, ambillah beberapa sampel panjang pengukuran sepanjang L yang dapat memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

$$H_m = \frac{\text{daerah A}}{L} \dots\dots\dots 2.5$$

Sumber : Munadi (1980)

- Keempat, sekarang diperoleh garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas (P1+ P2+P3+ ... dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah (Q1+ Q2 +Q3+ ... + dan seterusnya). Dengan demikian maka Ra dapat ditentukan besarnya yaitu :

$$Ra = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} (\mu m) \dots\dots\dots 2.5$$

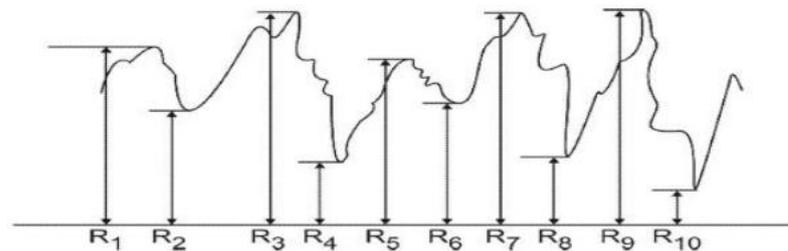
Sumber : Munadi (1980)

Keterangan:

V_v = Perbesaran vertikal Luas P dan Q dalam milimeter

L = Panjang sampel pengukuran dalam milimeter

2. Rz adalah ketidak rataan ketinggian pada sepuluh titik Pada gambar 2.18 menerangkan cara menentukan harga Rz. Dimana sampel diambil dari sejumlah profil yang dapat memuat banyak daerah, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah. Selanjutnya membuat garis yang lurus horizontal di bawah profil permukaan. Tarik garis tegak lurus dari tiap - tiap ujung puncak dan lembah ke garis horizontal. Dengan menggunakan cara ini maka diperoleh harga Rz yang besarnya sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Kekasaran Permukaan Rz

Sumber : Munadi (1980:229)

- a. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/ peak to mean line*) Rp (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- b. Rt, kedalaman total (*peak to valley*) adalah besar jarak dari profil referensi hingga profil dasar dengan satuan μm .

2.7 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Surface roughness tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran suatu permukaan benda. Setiap komponen atau benda mempunyai permukaan kekasaran yang berbeda dan bervariasi menurut strukturnya maupun hasil proses pemesinannya. Nilai kekasaran permukaan yang dinyatakan dalam *roughness average* (Ra), merupakan parameter kekasaran yang paling banyak digunakan. Ra merupakan rata-rata aritmatika dan suatu penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata.

Surface roughness tester mengubah sinyal sensor yang dihasilkan oleh stilus yang bergesekan dengan permukaan benda diubah menjadi sensor analog. Pengolahan secara elektronik dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal

digital dan mengaitkannya dengan gesekan sensor stilus sepanjang harga sampel kekasaran permukaan. Menurut Rochim (2001: 120) berkas cahaya diarahkan pada sepasang fotosel melalui celah. Akibat goyangan celah, kedua fotosel akan menerima cahaya dengan bergantian intensitasnya. Saat celah bergerak ke atas fotosel yang diatas akan menerima cahaya dengan intensitas yang lebih besar daripada yang diterima foto sel yang di bawah. Hal sebaliknya akan belaku saat celah bergerak ke bawah.



Gambar 2. 6 *Surface Roughness Tester*