BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Baja

Baja merupakan material yang memiliki peran krusial dalam sektor industri, khususnya dalam pembuatan komponen mesin dan konstruksi bangunan. Proses pembubutan pada baja harus mampu menghasilkan produk dengan kualitas tinggi yang memenuhi karakteristik geometris ideal, yaitu produk dengan dimensi yang akurat, bentuk yang presisi, serta permukaan yang halus *(Mendila & Paliling, 2022).* Baja adalah paduan logam yang terutama terdiri dari besi (Fe) dengan tambahan unsur karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Kandungan karbon dalam baja umumnya berkisar antara 0,02% hingga 2,1% berdasarkan berat, tergantung pada jenis dan penggunaannya. Jika kadar karbon melebihi batas tersebut, logam tersebut diklasifikasikan sebagai besi tuang *(cast iron) (Engineering Department, Ibra College of Technology Ibra, Sultanate of Oman & Jha, 2017).* Menurut jumlah karbon yang ada pada baja tersebut, setiap baja memiliki penggunaan yang berbeda. Baja karbon tinggi digunakan untuk perkakas potong seperti pisau, milling cutter, reamers, tap, dan bagian yang harus tahan gesekan. Baja karbon rendah digunakan untuk kawat, profil, sekrup, ulir, dan baut. Baja karbon sedang digunakan untuk rel kereta api, poros roda gigi, dan suku cadang yang berkekuatan tinggi atau dengan kekerasan sedang sampai tinggi.

Baja diklasifikasiakan menjadi 3 yakni sebagai berikut:

1. Baja karbon Rendah adalah Baja dengan kandungan karbon dalam sturktur kurang dari 0,3% C disebut baja karbon rendah. Ini memiliki

kekerasan dan ketahanan aus yang rendah, tetapi memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk membuat komponen struktur bangunan, pipa, jembatan, bodi mobil, dan lainnya.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel)*

   Baja karbon sedang merupakan jenis baja yang mengandung unsur karbon dalam rentang 0,30% hingga 0,59% dari total massa besi. Dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja ini memiliki keunggulan berupa kekuatan mekanis dan tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Kandungan karbon yang relatif lebih besar memungkinkan baja ini mengalami proses pengerasan melalui perlakuan panas (heat treatment) yang tepat. Secara umum, baja karbon sedang banyak dimanfaatkan dalam pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan dan ketahanan tinggi, seperti poros, roda gigi, rel kereta api, baut, pegas, serta berbagai bagian mesin lainnya.

3. Baja karbon tinggi *(High Carbon Steel)*

   Baja karbon tinggi merupakan jenis baja yang mengandung unsur karbon dalam kisaran 0,60% hingga 1,40% dari total massa besi. Material ini memiliki karakteristik utama berupa ketahanan terhadap panas, kekerasan, serta kekuatan tarik yang sangat tinggi. Namun, tingkat keuletannya relatif rendah, sehingga baja ini cenderung lebih getas. Proses perlakuan panas pada baja karbon tinggi cukup sulit martensit yang tinggi dapat menghambat efektivitas proses pengerasan

permukaan. Dalam penerapannya, baja karbon tinggi banyak digunakan untuk pembuatan alat perkakas yang memerlukan kekerasan dan ketahanan aus tinggi, seperti palu, kikir, gergaji, pisau cukur, serta berbagai peralatan pemotong lainnya *(E. Nugroho dkk., 2019).*

2.1.1. Baja S45C

Dalam industri otomotif, baja S45C adalah jenis material yang banyak digunakan untuk membuat berbagai komponen dan sparepart mesin yang memiliki kekuatan sedang, seperti gear, rantai, poros roda, kruk as, dan lainnya. Baja S45C termasuk dalam kategori baja karbon sedang. Di tempat-tempat di mana bagian mesin seperti poros roda, gear, dan rantai jarang dilapisi atau dipelumas, bagian-bagian ini rentan terhadap korosi. Baja S45C memiliki kandungan karbon antara 0,43% dan 0,5%, yang membuatnya cocok untuk berbagai mesin perkakas*.(E. Nugroho dkk., 2019).* Baja S45C memiliki keunggulan dalam hal ketahanan aus, kestabilan dimensi, serta kemampuan untuk menjalani berbagai perlakuan panas seperti pengerasan *(hardening)* dan tempering guna meningkatkan sifat mekaniknya sesuai kebutuhan aplikasi. Oleh karena itu, baja ini sangat cocok digunakan di berbagai bagian mesin yang memerlukan

kekuatan sedang dan daya tahan yang cukup dalam kondisi operasional yang menuntut.



Gambar 2. 1 Baja S45C
Sumber: (Rachman dkk., 2020)

2.2 Permesinan

Permesinan adalah proses memotong logam dengan memindahkan material untuk mendapatkan benda kerja dengan bentuk yang diinginkan.*(Palembang-Prabumulih & Ilir, t.t.)* Dalam proses ini, berbagai tindakan pemotongan dilakukan untuk menghasilkan serpihan (geram) logam dari bahan baku. Ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti pembubutan, frais, bor, dan lain-lain, tergantung padajenis gerakan antara alat potong dan benda kerja. Permesinan adalah tahap penting dalam produksi manufaktur dengan fokus utama pada pembentukan benda kerja melalui pemotongan material yang terkontrol. Proses ini juga mengatur kecepatan potong, kedalaman potong, dan suapan agar hasil yang diperoleh memenuhi standar presisi dan kualitas yang diinginkan untuk membuat komponen mesin dan produk logam lainnya.

Jenis-jenis Permesinan sebagai berikut:

2.2.1 Mesin bubut

Mesin bubut merupakan kategori mesin perkakas yang bekerja berdasarkan prinsip pemesinan dengan penghilangan material dari benda

kerja untuk membentuk profil tertentu. Proses pembubutan dilakukan dengan memutar benda kerja pada kecepatan yang telah ditentukan, dilakukan dengan gerakan translasi pahat pemotong sejajar sumbu putar benda kerja. Gerakan rotasi benda kerja disebut gerakan potong, sedangkan gerakan translasi pahat merupakan gerak makan, yang bersama-sama menghasilkan proses pemotongan berdasarkan hubungan relatif antara pahat dan benda kerja.*(Siregar & No, 2020)*.



Gambar 2. 2 Mesin Bubut
Sumber:(Saputra dkk., 2021)

2.2.2 Frais

Operasi frais adalah proses pemesinan di mana benda kerja atau tool berputar dan memotong material dengan gir multi-tepi (inserts atau end mills) secara kontinu. Proses ini memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, kecepatan pemotongan, dan kemampuan untuk menghasilkan permukaan dengan finishing yang lebih baik dibandingkan banyak proses pemotongan tradisional. Sebuah tinjauan oleh *(Silva dkk., 2023)* dalam pemesinan menyebut bahwa pengembangan dan optimasi proses frais sangat aktif

karena kontribusinya terhadap produktivitas, umur alat, serta keberlanjutan industri manufaktur.



Gambar 2. 3 Mesin Frais
Sumber: (Romiyadi, 2016)

Lebih spesifik, literatur tentang frais menyebut bahwa parameter seperti kedalaman potong *(depth of cut*), kecepatan pemotongan, dan feed per tooth sangat mempengaruhi gaya potong dan kekakuan sistem pengerjaan, sehingga memengaruhi kualitas permukaan dan getaran proses. Misalnya, sebuah studi eksperimental membandingkan plunge milling dan face milling menemukan bahwa perubahan kedalaman potong secara signifikan mempengaruhi gaya potong dan hasil permukaan *(Khattab dkk., 2025)*.

2.2.3 Sekrap

Operasi sekrap adalah proses pemesinan di mana pahat *(cutting tool)* melakukan gerakan bolak-balik linier *(reciprocating)* terhadap benda kerja yang relatif diam atau hanya bergerak feed sedikit, dengan hanya stroke maju yang melakukan pemotongan material, sedangkan stroke mundur umumnya tidak memotong. Cara ini membuat karakteristik pemotongan menjadi berbeda dari proses kontinu seperti frais atau bubut karena interval

non-potong yang cukup besar dan gaya pemotongan yang terputus-putus. Sebagai contoh, sebuah studi oleh *(Edo University, Uzairue, Edo-State, Nigeria dkk., 2025)* terhadap pemesinan dengan mesin sekrap pada baja lunak menunjukkan bahwa parameter seperti kecepatan ram (stroke per menit) dan kedalaman potong secara signifikan mempengaruhi kekasaran permukaan hasil pemotongan.



Gambar 2. 4 Mesin Sekrap
Sumber: : (Saleh, t.t.,2018)

Karena karakter geraknya yang reciprocating, mesin sekrap memiliki kekakuan dan dinamika yang berbeda—hubungan antara gaya potong, suara/ getaran, dan kualitas permukaan perlu diperhatikan secara spesifik. Meskipun literatur modern terkait sekrap relatif lebih sedikit dibanding frais/bubut (karena sekarang mesin sekrap sudah kurang umum di industri massa), penelitian seperti yang disebut di atas tetap relevan jika Anda melakukan pengujian kedalaman potong, keausan pahat, dan getaran dalam konteks sekrap.

2.3 Pahat

Pahat bubut HSS *(High Speed Steel)* adalah salah satu jenis alat potong yang umum digunakan dalam proses pembubutan karena memiliki kekerasan tinggi,

tahan terhadap panas, dan mudah diasah ulang. Pahat HSS mengandung elemen paduan seperti tungsten, kromium, dan molibdenum, yang memberikan sifat tahan aus dan kekerasan yang stabil pada suhu tinggi *(Arifian, 2017).* Menurut *(Sastal et al., 2018)*, sudut potong pahat adalah salah satu parameter geometris yang paling memengaruhi efisiensi pemotongan dan kualitas hasil pembubutan. Sudut potong yang lebih kecil cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar tetapi lebih tajam, sedangkan sudut yang lebih besar dapat memberikan hasil permukaan yang lebih halus dengan distribusi tekanan yang lebih merata *(Palembang-Prabumulih & Ilir, t.t.).* Pahat *High Speed Steel* (HSS) memiliki fungsi utama sebagai alat potong dalam proses pembubutan logam, khususnya untuk memotong dan membentuk material seperti baja dan baja karbon sedang. Pahat HSS dapat mempertahankan kekerasan dan ketajamannya meskipun bekerja pada suhutinggiselama proses pemotongan, yang memungkinkan penggunaan kecepatan potong lebih tinggi dengan mengurangi risiko keausan dan menghentikan alat. Keunggulan lainnya adalah kemampuan memanfaatkan HSS untuk diasah ulang sehingga meningkatkan umur pakai dan efisiensi biaya operasional. Dalam aplikasinya, pahat HSS berperan penting dalam menghasilkan permukaan benda kerja yang halus dengan tingkat kekasaran yang dapat diatur melalui parameter pemesinan seperti kecepatan potong, kedalaman potong, dan laju makan. Material HSS khususnya tipe M2 yang mengandung molibdenum, memberikan ketahanan aus dan stabilitas termal yang baik, sehingga cocok untuk proses pembubutan material keras dan tahan panas. Selain itu, pahat HSS juga tahan terhadap getaran

dan beban mekanis, menjaga kestabilan geometri alat dan mengukur dimensi produk akhir



Gambar 2. 5 Pahat HSS (High Speed Steel)
Sumber :(Saputra dkk., 2021)

2.3.1 Jenis – jenis Pahat bubut sangat bervariasi misalnya:

1. pahat HSS (*High Speed Steel)*

Pahat bubut HSS *(High Speed Steel)* adalah salah satu jenis alat potong yang umum digunakan dalam proses pembubutan karena memiliki kekerasan tinggi, tahan terhadap panas, dan mudah diasah ulang. Pahat HSS mengandung elemen paduan seperti tungsten, kromium, dan molibdenum, yang memberikan sifat tahan aus dan kekerasan yang stabil pada suhu tinggi *(Arifian, 2017)*. Menurut *(Sastal et al., 2018),* sudut potong pahat adalah salah satu parameter geometris yang paling memengaruhi efisiensi pemotongan dan kualitas hasil pembubutan. Sudut potong yang lebih kecil cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar tetapi lebih tajam, sedangkan sudut yang lebih besar dapat memberikan hasil permukaan yang lebih halus dengan distribusi tekanan yang lebih merata *(Palembang-Prabumulih & Ilir, t.t.)*



Gambar 2. 6 Pahat HSS (High Speed Steel)
Sumber: *(Saputra dkk., 2021)*

2. Pahat karbida

Pahat ini dibuat dari campuran antara karbida dan kobalt. Karbida mendapatkan kekerasan mereka dari biji-bijian tungsten dan ketangguhan mereka dari ikatan ketat yang dihasilkan oleh aksi penyemenan dari logam tersebut. Kekerasannya sekitar 90 HRC. Ketahanan aus dan ketangguhan *(resistensi shock)* dari karbida dapat diubah dengan menvariasikan jumlah kekerasan kobalt. Pahat jenis ini lebih unggul dibangdingkan dengan pahat HSS, karena pahat ini memiliki ketangguhan dan ketahanan terhadap abrasi serta keausan. Selain itu, resistensi terhadap deformasi termal/perubahan bentuk karena panas, juga cukup baik. Oleh itu relatif mahal *(Zhao dkk., 2022)*



Gambar 2. 7 Pahat karbida
Sumber: (Permana, t.t.,2022)

3. Pahat Baja karbon

Baja dangan kandungan karbon yang relatif tinggi (0,7% - 1.4%C) tanpa unsur lain dengan prosentasi unsur lain yang rendah (2% Mn,W,Cr) mampu mempunyai kekerasan permukaan yang cukup tinggi. Baja karbon ini bisa digunakan untuk kecepatan potong rendah (sekitar VC 10 m/min) karena sifat martensit yang melunak pada temperatur sekitar 250 pahat jenis ini hanya dapat digunakan untuk memotong logam yang lunak ataupun kayu. Karenakan harganya yang relatif murah maka sering digunakan untuk *tap* (untuk membuat ulir*) (Zamheri dkk., 2022)*

Keuntungan:

a. Digunakan untuk kecepatan potong yang rendah.
b. Dapat memotong material benda kerja yang lunak.
c. Harga yang maha.



Gambar 2. 8 Pahat Baja Karbon
Sumber: (Rabono dkk., 2022)

4. Pahat paduan *cor Nonfer*

Sifat-sifat paduan cor nonferro adalah HSS dan karbid *(cemented carbide)* dan digunakan dalam hal khusus diantara pilihan dimana karbida terlalu rapuh dan HSS mempunyai *hot hardness* dan wear resistance yang terlalu rendah. Jenis material ini dibentuk secara tuang. Menjadi bentuk-bentuk yang tidak terlampau sulit misalnya *tool hit* (sisipan) yang menjadi diasah menurut geometri yang dibutuhkan *(Findik, 2025).*

Paduan nonferro terdiri dari 4 macam elemem utama adalah sebagaiberikut:

a. Cobalt: sebagai pelarut bagi elemen elemen lai
b. Krom(Cr):(10% s.d 35% berat) yang membentuk karbid
c. Wolfrom (W) : (10% s.d 25% berat) sebagai pembentuk karbida
d. Karbon : 3% C menghasilkan jenis yang keras dan tahan aus



Gambar 2. 9 Paduan Cor Nonferro
Sumber: (Rabono dkk., 2022)

5. Pahat kerami

Keramik adalah meterial paduan metalik dan non metalik. Prose pembuatan melalui powder processing. Keramik secara luas mencakup karbida, nitrida, borida, oksida, silikon, dan karbon. Keramik mempunyai sifat yang relatif rapuh *(Gevorkyan dkk., 2020)*.

Beberapa contoh jenis keramik sebagai perkakas potong adalah

a. Keramik oksida atau oksida aluninium(AL2O3) murni atau ditambah 30% titanium (TiC) untuk menaikkan kekuatan nonadhesif. Disertai dengan serat halus *(whisker*) dari SiC dimaksudkan untuk mengurangi kegetasan disertai dengan penambahan zirkonia (ZrO2) untuk menaikkan jumlah retak mikro yang tidak terorientasi guna menghambat pertumbuhan retak yang cukup besar dan memiliki sifat yang sangat keras dan tahan panas.

b. Nutrida silicon (Si3N4) disebut kombinasi Si-AI-O-N

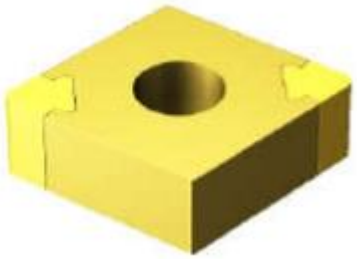


Gambar 2. 10 Pahat Keramik
Sumber:(Husni dkk., t.t.,2020)

6. Pahat CBN (*cubic boron nitride*

CBN termasuk jenis keramik dibuat dengan penekanan panas sehingga bentuk grafik nitrida boron dengan struktur atom heksagonal berubah menjadi struktur kubik. Pahat sisipan CBN dapat dibuat dengan menyinter serbuk nitrida boron tanpa atau dengan material pengikat AL2O3, TiN, atau Co.

CBN memiliki kekerasan yang sangat tinggi dibandingkan phat sebelumnya. Pahat ini bisa digunakan untuk permesinan berbagai jenis baja pada keadaan dikeraskan, besi tuang, HSS, atau karbida. CBN memiliki afinitas yang sangat kecil terhadap baja dan tahan terhadap perubahan reaksi kimia sampai dengan kecepatan potong yang sangat tinggi. Saat ini, pahat CBN sangat mahal sehingga pemakaiannya sangat terbatas *(Özdemir dkk., 2023).*

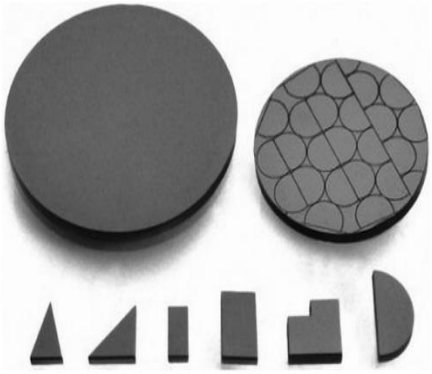


Gambar 2. 11 Pahat CBN *(cubic boron nitride)*
Sumber: (Fidan & Cakan, t.t.,. 2020).

7. Pahat intan

Pahat intan Merupakan pahat potong yang sangat keras yang merupakan hasil proses *sintering* serbuk intan tiruan dengan pengikat Co (5%-10%). Hot hardness tinggi dan tahan terhadap deformasi plastis.

Sifat ini ditentukan oleh besar butir intan serta prosentase dan komposisi material *(Jaworska, 2025).*

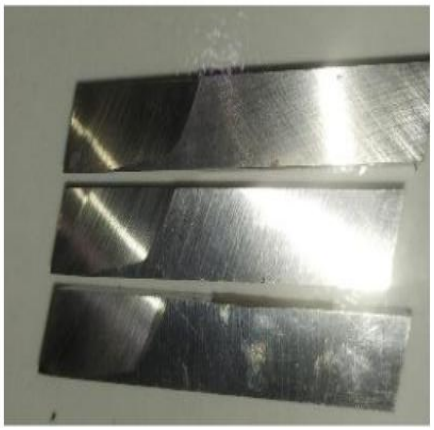


Gambar 2. 12 Pahat intan
Sumber: (Astakhov & Stanley, 2015).

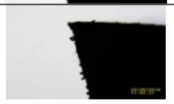
2.3.2 Pahat HSS M2

Pahat HSS M2 adalah jenis pahat yang terbuat dari baja kecepatan tinggi *(High Speed Steel)* tipe molibdenum (M2), yang merupakan salah satu material yang paling umum digunakan untuk alat pemotong seperti pahat bubut. Baja HSS M2 memiliki karakteristik ketangguhan, ketahanan aus, dan kekerasan merah yang seimbang, sehingga tahan terhadap suhu tinggi saat proses pemotongan dan pembubutan. Komposisinya mengandung sekitar 5% molibdenum (Mo) , serta tungsten (W), kromium (Cr), vanadium (V), dan karbon (C), yang membuatnya ideal untuk aplikasi pemesinan dengan kecepatan tinggi dan beban kerja berat. Keunggulan pahat HSS M2 termasuk kekerasan kerja yang tinggi, ketahanan aus yang baik, serta kemampuan mempertahankan kekerasan pada suhu tinggi (kekerasan merah). Hal ini menjadikan pahat HSS M2 efektif untuk memotong berbagai jenis material dengan ketahanan aus dan umur pakai yang relatif panjang dibandingkan alat baja lainnya. Namun, masih ada

varian HSS lain seperti M35 yang ditambahkan kobalt untuk memperbaiki ketahanan aus dan kekerasan pada suhu lebih tinggi, dengan harga lebih mahal. Sebuah studi karakterisasi pahat HSS M2 menunjukkan bahwa pahat ini memiliki umur pakai lebih panjang dibandingkan pahat bahan cold work tool steel pada kecepatan potong yang sama. Keausan pada pahat HSS M2 terjadi karena abrasi serta tegangan dan suhu tinggi pada bidang kontak pahat dengan bahan kerja. Penggunaan pahat ini dalam proses pembubutan baja menghasilkan permukaan kerja yang baik dengan efisiensi tinggi. Proses perawatan tambahan seperti perlakuan kriogenik juga dapat meningkatkan ketahanan aus dan kekerasan pahat HSS M2 secara signifikan melalui pembentukan partikel karbida halus di dalam struktur martensit baja ini *(S. Nugroho, t.t.)*.



Gambar 2. 13 Pahat HSS (High Speed Steel)
Sumber: *(Lukman dkk., t.t.,2024)*

Jenis Cairan Pendingin	Profil pahat sebelum pembubutan dengan pembesaran 4 kali	Profil pahat setelah pembubutan dengan pembesaran 4 kali
Dromus+air 1 : 10		
Minyak Jarak+air 1 : 10		
Minyak Kelapa+air 1 : 10		
Minyak Goreng curah+air		

Gambar Pengamatan Keausan Tepi pahat Akibat Pengaruh Variasi Jenis pendingin

Sumber: *(Nuri dkk., 2019)*

2.4 Media pendingin

Media pendingin dalam proses quenching memiliki peran penting dalam menentukan laju pendinginan material. Pendinginan yang berlangsung cepat, seperti menggunakan udara atau larutan garam, biasanya meningkatkan pembentukan fasa martensit dalam jumlah signifikan, namun berpotensi menimbulkan pembekuan dan retakan pada material. Sebaliknya, penggunaan oli sebagai media pendingin menghasilkan laju pendinginan yang lebih lambat, sehingga dapat menyeimbangkan pembentukan fasa martensit dan bainit sekaligus meminimalkan risiko cacat termal. Selain itu, variasi viskositas oli turut mempengaruhi efektivitas pendinginan, yang berimplikasi pada perubahan sifat kekerasan material setelah perlakuan *quenching*.

2.4.1 Penggunaan Media Pendingin Oli Sae 30

Penggunaan media pendingin berupa oli SAE 30 pada pahat HSS M2 memiliki fungsi utama untuk melakukan pendinginan sekaligus

pelumasan pada area pemotongan selama proses pemesinan. Oli SAE 30 memiliki tingkat viskositas yang sesuai sehingga efektif dalam mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja, serta mampu menangkal panas yang dihasilkan selama pemotongan sehingga mencegah kepanasan atau overheating pada pahat. Media pendingin ini juga berperan dalam menjaga kekerasan dan daya tahan pahat dengan menghambat penurunan kekerasan yang biasanya terjadi akibat suhu tinggi. Selain itu, oli SAE 10W-30 membantu meningkatkan kualitas permukaan hasil pemesinan dengan meminimalkan keausan pahat dan gesekan, yang pada akhirnya memperpanjang masa pakai pahat HSS M2. Dalam aplikasi praktis, penggunaan oli ini sangat dianjurkan untuk optimalisasi performa dan ketahanan pahat pada proses bubut maupun proses pemesinan lainnya. Studi juga menunjukkan bahwa meskipun oli dengan SAE 40 kadang digunakan, oli SAE 30 memberikan kombinasi yang lebih baik antara fungsi pelumasan dan pendinginan sehingga sangat ideal untuk menjaga kekerasan dan kinerja pahat HSS M2 secara optimal.



Gambar 2. 14 Oli SAE 30
Sumber:*(Saputra dkk., 2021)*

2.5 Kedalaman Pahat

Pahat HSS adalah jenis pahat yang terbuat dari *High Speed Steel* (HSS), yaitu baja paduan tinggi yang mengandung unsur seperti karbon (C), tungsten (W), vanadium (V), molibdenum (Mo), kromium (Cr), dan kadang kobalt (Co). Pahat ini terkenal karena kemampuannya menahan suhu tinggi saat proses pemotongan tanpa kehilangan kekerasannya, sehingga cocok untuk digunakan pada kecepatan mesin yang tinggi. kedalaman pahat HSS mengacu pada ukuran seberapa dalam mata pahat menyayat atau memotong material selama proses pemesinan, yang berpengaruh pada keausan pahat dan kualitas permukaan benda kerja. Kedalaman potong yang tepat akan membantu mengurangi keausan tepi pahat dan memaksimalkan pahat saat dipakai. Studi menunjukkan bahwa keausan pahat HSS meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman pemotongan, sehingga parameter kedalaman harus diatur sesuai jenis material dan kondisi pemesinan untuk hasil optimal. Secara fungsional, pahat HSS digunakan untuk proses pembubutan, pengasahan, atau pemotongan material logam seperti baja karbon, stainless steel, dan lainnya. Pahat ini memberikan hasil yang halus dan presisi serta memiliki daya tahan aus yang baik pada suhu tinggi dibandingkan pahat jenis lain seperti pahat karbida dalam beberapa kondisi. Singkatnya, kedal pahat HSS adalah ukuran kedalaman pemotongan yang harus diatur dengan tepat dalam proses pemesinan menggunakan pahat berbahan *High Speed Steel* untuk memastikan performa alat yang optimal dan maksimal *(Lukman dkk., t.t.; Paliling dkk., 2024)*.

a. Kedalaman Pahat

kedalaman pahat tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong. Kedalaman pemakanan dapat diartikan pula dengan dalamnya pahat menusuk benda kerja saat penyayatan atau tebalnya tatal bekas bubutan. Kedalaman potong dirumuskan sebagai berikut*: (Lasarus dkk., 2025)*

$$a = \frac{D_o - D_m}{2}$$

a = kedalaman potong (mm)

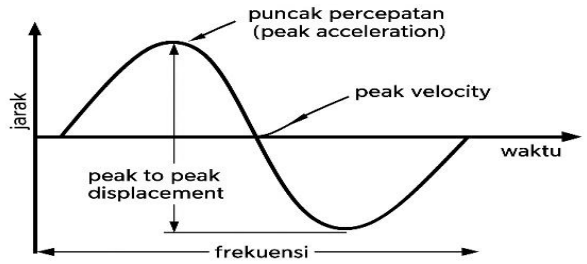
do = diameter awal (mm)

dm = diameter akhir (mm)

2.7 Getaran

Variasi kedalaman potong memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat getaran pada pahat *High Speed Steel (HSS)* selama proses pembubutan dan pemotongan. Peningkatan kedalaman potong menyebabkan nilai kenaikan getaran yang dihasilkan, hal ini disebabkan peningkatan gaya pemotongan dan interaksi antara pahat dengan benda kerja yang lebih intensif, sehingga memicu getaran yang lebih besar pada pahat. Penelitian menunjukkan bahwa kedalaman pada potong yang kecil (), nilai getaran pahat relatif rendah, sedangkan pada kedalaman potong yang lebih besar (), terjadi peningkatan signifikan pada nilai getaran. getaran tersebut juga berimplikasi pada kualitas permukaan benda kerja, di mana getaran yang lebih tinggi berkontribusi terhadap peningkatan kekasaran permukaan. Selain

itu, peningkatan kedalaman potong juga berkontribusi pada peningkatan frekuensi getaran mesin dan pahat, yang mengakibatkan kerusakan potensi pahat lebih cepat serta menurunnya stabilitas proses pemotongan. Oleh karena itu, pengaturan kedalaman perlu diperhatikan dengan seksama agar getaran pahat dapat dikendalikan, demi tercapainya proses pemotongan yang stabil serta kualitas permukaan yang optimal *(Malik dkk., t.t.)*



Gambar 2. 15 Karakteristik Getaran
Sumber: *(Arjun, t.t.,. 2024)*

2.6 Keauasan

Keausan *(wear)* adalah peristiwa terlepasnya material dari permukaan material akibat dari deformasi plastis dan gaya mekanik. Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat *(tools*) akan menderita tekanan dan temperatur yang tinggi. Gesekan antara geram dengan pahat atau benda kerja dengan pahat, menyebabkan keausan pada bidang-bidang utama pahat (bidang muka pahat dan bidang potong utama). Proses keausan ini berlangsung terus sehingga dapat mengubah bentuk dari mata potong. Karena perubahan bentuk ini maka gaya-gaya pemotongan akan menjadi besar, demikian pula permukaan benda kerja akan menjadi kasar. Oleh karena itu suatu pahat disebut sudah mencapai batas umurnya apabila batasan-batasan yang telah ditentukan terlampaui seperti,

kehalusan permukaan, toleransi dimensi dan gaya pemotongan. Kerusakan atau keausan pahat akan terjadi dan penyebabnya harus diketahui untuk menentukan tindakan koreksi sehingga dalam proses permesinan selanjutnya umur pahat menjadi lebih panjang. Dalam prakteknya umur pahat tidak hanya dipengaruhi oleh geometri pahat saja melainkan juga dipengaruhi oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses permesinan yaitu antara lain jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan), cairan pendingin dan jenis proses permesinan. Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal diakibatkan oleh beberapa hal berikut:

1. Keausan yang semakin besar pada bidang aktif pahat.
2. Keretakan yang menjalar dan menyebabkan patah pada mata potong pahat.
3. Deformasi plastik yang dapat merubah bentuk geometri pahat. Pada proses pemotongan logam, keausan pahat pada proses bubut dapat terjadi pada bidang utama pahat atau yang kemudian disebut keausan tepi *(flank wear)* dan keausan yang terjadi pada bidang geram atau yang kemudian disebut keausan kawah *(creater wear).*

a. Keausan tepi (*flank wear).* Salah satu kegagalan pahat adalah keausan tepi (flank wear) yang disimbolkan dengan VB. Flank merupakan sisi samping muka pahat potong dimana terletak pada tepi sisi potong utama. Keausan ini terjadi pada bagian pahat yang berkontak langsung dengan benda kerja dan menahan gaya pemotongan. Keausan ini bermula dari bagian tepi sisi potong dan akan terus melebar

Rumus keausan Tepi :

$$VB_{(rata-rata)} = \frac{VB_1 + VB_2 + VB_3}{3}$$

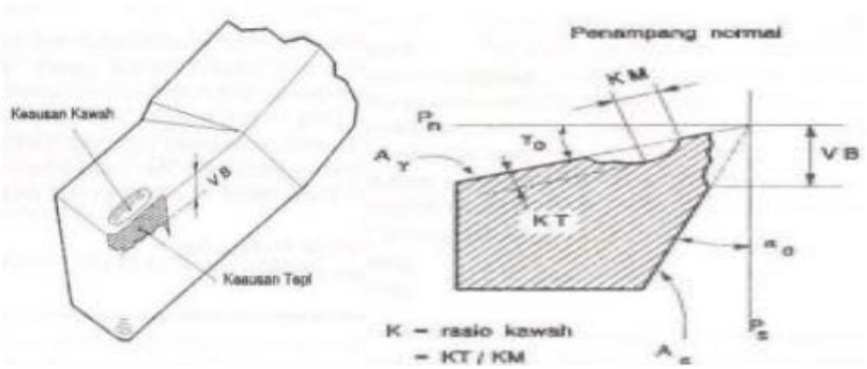
Keterangan :

VB = tingkat keausan pahat

VBsp1 = nilai keausan spesimen 1

VBsp2 = nilai keausan spesimen 2

VBsp3 = nilai keausan spesimen 3



Gambar 2. 16 Keausan *(Flank Wear)*
Sumber: (Nuri dkk., 2019)

2.8 Jurnal Rujukan

Kemajuan teknologi yang semakin pesat, khususnya dalam bidang industri seperti mesin perkakas, mesin pembangkit, dan metalurgi, memiliki peranan penting dalam perkembangan sektor manufaktur. Mesin perkakas digunakan dalam berbagai proses pemesinan, di antaranya mesin bubut, frais, bor, sekrap, dan gerinda. Proses pembubutan sendiri merupakan metode pembentukan material dengan cara menghilangkan sebagian permukaannya dalam bentuk geram akibat adanya pergerakan relatif antara pahat dan benda kerja, di mana benda kerja

berputar pada spindel sementara pahat bergerak secara translasi menuju benda kerja. Kualitas hasil pembubutan, terutama pada aspek kekasaran permukaan, sangat dipengaruhi oleh tiga parameter utama yaitu kecepatan putar spindel *(speed),* kecepatan pemakanan *(feed),* dan kedalaman potong *(depth of cut)*. Selain itu, faktor lain seperti jenis material benda kerja, tipe pahat yang digunakan, serta penggunaan media pendingin juga memberikan pengaruh yang signifikan. Dalam penelitian ini digunakan media pendingin berupa oli, dromus, dan minyak sayur, dengan pahat jenis HSS dan kedalaman potong masing-masing 0,1 mm serta 0,2 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaruh variasi media pendingin terhadap kekasaran permukaan baja SS-400 adalah: oli sebesar 75%, dromus 64%, dan minyak sayur 70%. Berdasarkan hasil tersebut, media pendingin oli memiliki pengaruh paling besar dan menghasilkan kualitas permukaan terbaik dibandingkan dengan dromus maupun minyak sayur *(Saputra dkk., 2021).*

Baja S45C termasuk dalam kategori baja karbon sedang yang banyak dimanfaatkan sebagai material utama pada komponen mesin, sehingga diperlukan sifat mekanis yang baik seperti kekerasan dan ketahanan aus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas terhadap laju keausan pada baja S45C. Metode penelitian dilakukan dengan memberikan perlakuan panas hardening pada baja S45C dengan variasi temperatur 800°C, 850°C, dan 900°C serta waktu tahan *(holding time)* selama 60 menit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan air. Setelah proses tersebut, spesimen diuji keausannya menggunakan metode *Pin on Disc* sesuai standar pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata keausan pada temperatur 800°C

sebesar 15,0762 mg/cm², pada 850°C sebesar 11,3933 mg/cm², dan pada 900°C sebesar 9,9488 mg/cm². Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur hardening berpengaruh signifikan terhadap tingkat keausan baja S45C, di mana perlakuan panas pada suhu 900°C menghasilkan nilai keausan paling rendah, yaitu 9,9488 mg/cm², menandakan peningkatan ketahanan aus yang optimal *(Rachman dkk., 2020).*

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh proses *heat treatment* dengan media pendingin oli terhadap kekerasan serta struktur mikro baja karbon menengah baja S45C. Pemilihan baja S45C didasarkan pada karakteristik mekaniknya yang baik serta kemampuannya mengalami perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas. Proses *heat treatment* yang diterapkan menggunakan metode *hardening*, yakni pemanasan hingga suhu austenisasi 870°C dengan waktu penahanan selama 20 menit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan tiga jenis oli yang berbeda, yaitu SAE 10 (Oil AW 68 HF ISO VG 68), SAE 40, dan SAE 20W-50. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rockwell* (HRC) sesuai dengan standar ASTM E18, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan melalui mikroskop optik setelah spesimen menjalani proses preparasi dan etsa menggunakan larutan nital. Hasil pengujian memperlihatkan adanya peningkatan kekerasan yang cukup signifikan setelah proses *hardening*, dengan nilai yang bervariasi bergantung pada jenis oli yang digunakan sebagai media pendingin. Analisis mikrostruktur menunjukkan terbentuknya fasa martensit dalam jumlah berbeda-beda, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan kekerasan material. Berdasarkan hasil tersebut,

dapat disimpulkan bahwa variasi media pendingin oli memberikan pengaruh nyata terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja S45c. Oli dengan viskositas lebih rendah menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi karena laju pendinginannya lebih cepat. Temuan ini memberikan acuan penting dalam pemilihan media *quenching* yang optimal untuk proses *heat treatment*, khususnya pada komponen mesin yang memerlukan kekerasan dan ketahanan aus tinggi *(Alfarisyi, 2025).*

Baja karbon merupakan salah satu logam yang paling banyak digunakan dalam industri serta memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan manusia. Di antara berbagai jenis baja S45C termasuk baja karbon sedang yang banyak diaplikasikan dalam pembuatan komponen, suku cadang, dan berbagai peralatan industri. Karena penggunaannya yang luas, dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan sifat mekanik serta ketahanan terhadap korosi dari material ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur dan jenis media pendingin pada proses heat treatment terhadap nilai kekerasan dan laju korosi baja AISI 1045. Proses pemanasan dilakukan menggunakan tungku dengan variasi temperatur 750°C, 850°C, dan 950°C serta waktu penahanan *(holding time)* selama 30 menit. Setelah itu, spesimen didinginkan secara cepat *(quenching)* menggunakan dua jenis media pendingin, yaitu air mineral dan oli SAE 10W-40. Selanjutnya, dilakukan pengujian kekerasan dan korosi pada setiap sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan panas menyebabkan perubahan signifikan pada nilai kekerasan dan laju korosi baja. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang didinginkan menggunakan air mineral dengan temperatur 850°C sebesar 58,2 HRC, sedangkan pendinginan menggunakan oli pada temperatur

950°C menghasilkan kekerasan maksimum sebesar 33,4 HRC. Adapun laju korosi tertinggi tercatat pada pendinginan dengan air mineral sebesar 3,998 ipy pada temperatur 950°C, dan pada pendinginan menggunakan oli sebesar 4,086 ipy pada temperatur yang sama *(E. Nugroho dkk., 2019).*

Baja S45C merupakan salah satu jenis baja karbon sedang yang banyak dimanfaatkan di berbagai sektor industri karena harganya relatif terjangkau serta memiliki kemampuan pengerasan *(hardenability)* yang tinggi melalui proses perlakuan panas. Sifat mekanik material setelah perlakuan panas sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan yang diterapkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari secara eksperimental pengaruh proses *hardening–quenching* dan tempering terhadap kekerasan serta struktur mikro baja AISI 1045. Proses hardening dilakukan dengan pemanasan hingga suhu 850°C selama 30 menit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat *(quenching)* menggunakan tiga media berbeda, yaitu air, oli Isorapid, dan oli SAE 20W-50. Tahap tempering dilakukan dengan memanaskan kembali sampel yang telah mengalami *quenching* air pada suhu 350°C dengan waktu penahanan masing-masing 30 dan 60 menit, kemudian didinginkan di udara bebas. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell, sedangkan pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendinginan menggunakan air menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 61,24 HRC dengan struktur mikro didominasi oleh martensit. Setelah proses tempering, struktur tersebut berubah menjadi martensit temper, dan peningkatan waktu

penahanan pada proses tempering menyebabkan penurunan nilai kekerasan *(Hariningsih dkk.,* 2022).

Kualitas permukaan hasil proses pembubutan memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap kinerja suatu komponen, terutama dalam hal gesekan, ketahanan aus, dan efektivitas sistem pelumasan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi sudut pahat HSS (*High Speed Steel*) sebesar 60°, 75°, dan 80° terhadap kekasaran serta kekerasan permukaan baja S45C (HQ 760) dengan penggunaan media pendingin Dromus. Proses pembubutan dilaksanakan pada kedalaman potong 1 mm dengan kecepatan putar konstan sebesar 460 rpm. Pengujian kekasaran dilakukan menggunakan alat *TR200 Portable Roughness Tester*, sedangkan pengujian kekerasan dilakukan dengan *Rockwell Hardness Tester*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sudut pahat 60° menghasilkan tingkat kekasaran permukaan tertinggi dengan nilai rata-rata 3,745 μm. Sementara itu, sudut pahat 75° dan 80° memberikan hasil permukaan yang lebih halus, masing-masing dengan nilai rata-rata 3,115 μm dan 3,129 μm. Pada pengujian kekerasan, sudut pahat 80° menunjukkan nilai tertinggi sebesar 37,50 HRC, yang disebabkan oleh distribusi tekanan pemotongan yang lebih merata dan peningkatan suhu lokal selama proses pembubutan, sehingga memengaruhi perubahan struktur mikro baja. Sebaliknya, penggunaan sudut pahat 60° menghasilkan kekerasan yang mendekati nilai material awal, yaitu 34,70 HRC *(Palembang-Prabumulih & Ilir, t.t.).*

Baja S45C merupakan baja karbon sedang dengan kadar karbon sekitar 0,45%. Jenis baja ini banyak diaplikasikan pada komponen kendaraan bermotor

seperti roda gigi, poros, dan bantalan. Dalam penggunaannya, baja sering mengalami keausan akibat adanya gesekan dan tekanan selama proses kerja. Untuk meningkatkan daya tahan terhadap gesekan serta memperpanjang umur pakainya, dilakukan perlakuan panas berupa quenching. Proses quenching ini memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat mekanik baja S45C, khususnya pada aspek kekerasan dan ketahanan aus. Dalam penelitian ini, proses quenching dilakukan pada suhu 800°C, 850°C, dan 900°C dengan waktu penahanan (*holding time)* selama 25 menit, menggunakan dua jenis media pendingin yaitu air dan oli SAE 20W-50. Data hasil pengujian kekerasan kemudian diolah dan dibandingkan untuk setiap variasi temperatur dan media pendingin. Hasil pengujian menggunakan metode Vickers (HV) menunjukkan variasi nilai kekerasan yang cukup signifikan. Baja AISI 1045 tanpa perlakuan (*raw material*) memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 202,78 HV. Setelah dilakukan perlakuan panas dengan media pendingin air, diperoleh nilai rata-rata kekerasan sebesar 398,48 HV pada temperatur 800°C, 457,02 HV pada 850°C, dan 496,42 HV pada 900°C. Sementara itu, pada media pendingin oli SAE 20W-50, nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh masing-masing sebesar 252,87 HV pada 800°C, 402,55 HV pada 850°C, dan 476,92 HV pada 900°C *(Haryadi dkk., t.t.)*.

Pahat HSS (*High Speed Steel*) hingga saat ini masih banyak digunakan dalam proses pemesinan karena memiliki sifat keuletan yang baik, mudah diasah, harganya relatif terjangkau, serta mudah diperoleh. Dalam proses pembuatan komponen mesin, langkah-langkah pengerjaan perlu direncanakan secara sistematis dan logis. Pemilihan bentuk dan geometrinya pahat, serta penentuan parameter

pemotongan seperti kecepatan potong (V), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a) harus disesuaikan untuk mencapai hasil komponen yang diinginkan. Dengan memasang alat ukur berupa amperemeter dan voltmeter pada mesin bubut, daya pemesinan dan daya potong dapat dihitung, sehingga umur pahat dapat diperkirakan berdasarkan peningkatan daya pemesinan yang signifikan. Waktu pemotongan dicatat menggunakan jam henti untuk memperoleh data yang akurat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konstanta empiris umur pahat HSS M2 berdasarkan persamaan umur pahat Taylor, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kondisi pemotongan yang optimum. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan variabel kecepatan potong (Vc) dan tingkat keausan pahat berdasarkan kriteria gaya pemotongan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pemotongan baja lunak menggunakan pahat HSS M2 menghasilkan kondisi optimum pada kecepatan potong (Vc) sebesar 29 m/menit dengan umur pahat mencapai 388 menit. Temuan ini memberikan manfaat penting bagi pelaku UMKM dalam menentukan parameter pemotongan yang efisien pada mesin bubut, sehingga umur pahat dapat dimaksimalkan dan proses pemesinan menjadi lebih produktif *(Haryanto & Ulum, t.t.)*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh getaran pahat terhadap aus pahat (VB) menggunakan pahat karbida DcGx 11 T3 04 Al H10 produksi sandvick coromount digunakan untuk pembubutan bahan baja 4140, permesinan dilakukan dengan pemotongan kering dengan variasi kecepatan potong (V), gerak makan (f), kedalaman potong (a), pada kondisi laju pemotongan maksimum dan minimum dapat diketahui dari hasil penelitian getaran pahat dan aus pahat. Getaran

pahat tertinggi pada perlakuan V = 250 m/ menit, f = 0,1 mm/putaran, a = 0,5 mm dimana getaran pahat 0,58 Hz, dan getaran pahat terendah V = 200 m/ menit, f = 0,1 mm/putaran, a = 0,5 mm dimana getaran pahat 0,32 Hz. Sedangkan aus pahat tertinggi pada perlakuan V = 250 m/ menit, f = 0,1 mm/putaran, a = 0,5 mm dimana aus pahat (VB) = 3,075 mm, dan aus pahat terendah V = 200 m/ menit, f = 0,05mm/putaran, a = 0,25 mm dimana aus pahat (VB) = 0,328 mm. Semakin tinggi Kecepatan potong (V), Gerak makan (f), dan kedalaman potong (a) maka getaran pahat akan semakin tinggi sehingga akan mempercepat keausan yang terjadi pada pahat *(Siregar & No, 2020).*

Pengujian keausan terhadap pahat jenis *Hight Speed Steel* (HSS) dengan menggunakan proses pemesinan sekrap telah dilakukan dengan intrumen Resfonse Surface Methodologi. Tetapi sebelum mengolah dengan instrument RSM maka perlu disampaikan secara detil pengolahan data tersebut dengan instrument yang berbeda. Instrument tersebut adalah menggunakan Factorial Desain dan Algoritma Yates. Uji keausan pahat jenis HSS dilakukan untuk menemukan variabel uji yang memberikan pengaruh terhadap keuasan terkecil pada pahat jenis HSS dengan menggunakan proses pemesinan sekrap dan memperoleh persamaan empiriknya. Eksperimen dilakukan terhadap sepuluh variabel : gerak makan *(feeding)*, jenis pahat, jenis bahan yang dikerjakan, sudut pahat, kondisi mesin, dimensi bahan, jarak bebas pahat terhadap benda kerja sebagai variabel bebas. Pendingin (SAE 10 dan SAE 20), kecepatan langkah, kedalaman pemakanan sebagai variabel tidak bebas. Alat eksperimen yang digunakan adalah mesin sekrap, pahat HSS (merk sama), bahan mill steel ST.37 dengan dimensi 145x63x45 mm, tempat air, vernier

caliper digital, kaca pembesar dan lampu duduk. Pengukuran dilakukan setiap satu kali proses pemakanan sampai selesai selebar 63 mm dengan menggunakan vernier caliper digital dan kaca pembesar yang menggunakan alat penerangan. Hasil eksperimen menunjukan bahwa kedalaman pemakanan adalah 0.18, pendinginan menunjukan nilai -0.11 serta kecepatan langkah menunjukan nilai 0,08 sehingga persamaan yang didapat dengan menggunakan instrument Algoritma Yates diperoleh persamaan y = B0.P + B1.KL *(Saleh, t.t.,. 2018).*