

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penulisan tugas akhir dibutuhkan beberapa studi literatur terlebih dahulu, yang diharapkan dapat menghasilkan teori ataupun rumus sehingga tujuan dan manfaat dapat dicapai. Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini, yaitu:

Gusri Akhyar Ibrahim, Yanuar Burhanudin, dan Didiek Embrijakto. (2019). Melakukan penelitian dengan judul Analisis Kepresisian Lubang Bor pada Pemesinan Magnesium AZ31 menggunakan Metode Taguchi. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan dipengaruhi beberapa faktor dengan kontribusi dari sudut pahat 18,9% dan jenis pelumasan 14,5%. Sudut mata pahat yang digunakan adalah 650 dengan jenis pelumasan minyak sintesis, selanjutnya adanya kecenderungan jari-jari hujung mata pahat mengakibatkan naiknya tingkat kekasaran permukaan. Geometri bebulatan lobang bor sangat dipengaruhi oleh sudut pahat (450) pada saat proses pengeboran. Hal ini semakin tampak pada interaksi faktor kadar pemakanan (0,2 mm/rev) dan jenis pelumasan sintesis. Keakuratan sisi potong/*cutting edge* berakibat pada gaya tangensial sehingga berpengaruh pada kestabilan putaran dan kebulatan hasil pengeboran.

Bambang, S. dan Sunyoto. (2018). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Kecepatan dan Kedalaman Potong Pada Proses Pembubutan Konvensional Terhadap Kekasaran Permukaan Lubang. Dari penelitian ini menunjukkan ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter kecepatan potong dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan pada pembubutan lubang blok silinder mesin pemotong rumput. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan variabel bebas kecepatan potong dan kedalaman potong, dan variabel terikat kekasaran permukaan lubang. Penelitian dilakukan dengan pembuatan spesimen

dengan proses pengecoran aluminium kemudian spesimen dibubut lubang dengan diberi variasi kecepatan potong dan variasi kedalaman potong. Hasil pembubutan dilakukan uji kekasaran menggunakan *Surfcorder SE 300*. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan analisis deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pengaruh kecepatan potong terhadap hasil kekasaran permukaan blok silinder mesin pemotong rumput, hasil paling baik dengan nilai kekasaran paling kecil diperoleh dari kecepatan potong 125 m/menit. Ada pengaruh kedalaman potong terhadap hasil kekasaran permukaan blok silinder mesin pemotong rumput, hasil paling baik dengan nilai kekasaran paling kecil diperoleh dari kedalaman potong 0,2 mm.

Nanda Hadi Pranata, Edy Suryono, Burhanuddin, Bambang Margono. (2020). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Modifikasi *Splitting Nicks Tool Drills* Terhadap *Spindle Loads* dan Waktu Proses *Drilling* Material S45C. Penelitian ini membandingkan antara tool *drill* standar dan tool *drill* modifikasi pada proses *drilling* terhadap waktu proses dan *spindle load*. Parameter utama berupa kecepatan putaran *spindel* sebesar 530 RPM dan *feeding* sebesar 199,2 mm/min. Variasi yang digunakan adalah *depth of cut* pada 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *tool drill* modifikasi memiliki waktu proses yang *relative* lebih singkat dibanding *tool drill standart*. Waktu proses *drill* terlama terjadi pada parameter *depth of cut* 1 mm untuk mata bor standar, yaitu sebesar 130.51 detik. Sedangkan waktu proses tercepat terjadi pada *depth of cut* 3 mm untuk mata bor termodifikasi, yaitu sebesar 70.27 detik. Parameter *depth of cut* yang digunakan memberikan hasil yang berbanding terbalik terhadap waktu prosesnya, semakin besar *depth of cut* yang digunakan maka waktu prosesnya akan semakin cepat. *Tool drill* dengan *splitting nicks* memiliki waktu proses yang lebih cepat sebesar 2.6% dibandingkan menggunakan mata bor yang standar. *Spindle loads* terbesar terjadi pada *depth of cut* 3 mm untuk mata bor standar, yaitu sebesar 85%. Sedangkan *spindle loads* terendah terjadi pada *depth of cut* 1 mm untuk mata bor modifikasi, yaitu sebesar 58%. Selain itu modifikasi *tool drill* dengan *splitting nicks* berhasil menurunkan *spindle loads* sebesar 14.03% dibanding *spindle load* pada *tool standart*.

Waluyo Joko. (2010). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Putaran *Spindel* Utama Mesin Bor terhadap Keausan Pahat Bor dan Parameter Pengeboran pada Proses Pengeboran dengan Bahan Baja. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan putaran *spindel* mesinnya yaitu 430 putaran per menit, 545 putaran per menit dan 700 putaran per menit. dan bahan pahat dari HSS dan benda kerja yang dibor dari bahan baja karbon Metode keausan yang digunakan adalah analisis berat pahat, perubahan sudut mata pahat dan visualisasi keausan. Hasil penelitian diperoleh data berat keausan pahat pada kecepatan 430 rpm, 545 rpm dan 700 rpm masing-masing sebesar 0,11 gram, 0,13 gram dan 0,15 gram serta perubahan sudut mata pahat masing-masing 0,10, 0,20 dan 0,30 serta parameter pemotongan untuk kecepatan 430 rpm, 545 rpm dan 700 rpm besarnya daya, waktu pengeboran dan *energy* listrik dan volume total yang dihasilkan pada putaran 430 rpm, 540 rpm dan 700 rpm masing-masing 220 watt, 276 watt, 374 watt, 0,13 menit, 0,10 menit, 0,01 menit, 44×10^{-5} kWh, 45×10^{-5} kWh, 63×10^{-5} kWh dan volume total tiap menitnya masing-masing adalah 12.152 mm³ per menit, 15.402 mm³ per menit dan 19.782 mm³ per menit.

Ansyori, Anang., Rudi Saputra. (2019). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh diameter Mata Bor Terhadap Tingkat Kehalusan Permukaan Lubang Bor Pada Proses Permesinan Bor Magnesium AZ3. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa Pengaruh diameter pahat bor pada masing-masing pengujian cenderung mempengaruhi nilai kehalusan permukaan lubang bor, dimana nilai kehalusan yang didapatkan yaitu 0,49 μ m, 0,55 μ m, 0,61 μ m, 0,73 μ m, 0,87 μ m, 0,91 μ m, 1,01 μ m, 1,03 μ m dan 1,24 μ m. Pada pengujian diameter pahat bor terbaik yakni diameter pahat bor 14 mm dengan variasi gerak makan 0,10 mm/rev, 0,18 mm/rev, 0,24 mm/rev dimana nilai kekasaran yang didapat masing-masing 0,49 μ m, 0,61 μ m, 0,73 μ m. Dimana nilai kekasaran lebih kecil dibanding pada diameter pahat bor 10 mm dan 12 mm. Nilai kekasaran permukaan maksimum terjadi pada diameter pahat bor 12 mm dengan gerak makan $f = 0,24$ mm/rev didapatkan nilai kekasaran yakni 1,24 μ m. Dan nilai kekasaran minimum terjadi pada diameter pahat bor 14 mm dengan variasi gerak makan $f = 0,49 \mu$ m.

Akhmad, Amin Nur., Ratih Wulandari, Adi Mustofa. (2021). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Variasi Putaran Mesin Terhadap Waktu Pengeboran Dengan Material Alumunium AL 6063 Pada Mesin Bor Duduk. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menggunakan mesin bor tipe *Orange Heavy Duty* MD – 16, jenis mata bor HSS diameter 10 mm dan benda kerja plat Aluminium Al 6063. Benda kerja yang digunakan adalah golongan Aluminium tempa. Penelitian ini menggunakan variasi rpm pengeboran. Hasil pengujian pada 432 rpm menghasilkan waktu 126 detik, pada 497 rpm menghasilkan waktu 93 detik, pada 1250 rpm menghasilkan waktu 33 detik, pada 1398 rpm menghasilkan waktu 34 detik dan pada 1484 rpm menghasilkan waktu 25 detik.

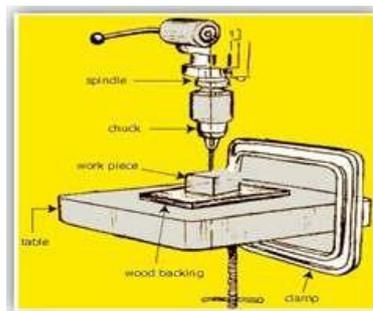
Sobron, Y. dan dkk. (2019). Melakukan penelitian dengan judul Pengaruh *Cutting Speed* Terhadap Kekasaran Permukaan *Alumunium Alloy* 6061 Pada Proses Pembubutan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan pada pembubutan benda kerja aluminium alloy 6061, Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan lima kecepatan pemotongan yaitu 200, 300, 400, 500 dan 600 m/min. Setiap kali selesai proses pemesinan dengan menggunakan masing-masing kecepatan pemotongan tersebut, benda kerja hasil pembubutan dilakukan pengukuran kekasaran permukaannya dengan menggunakan alat ukur *surface test Mitotoyo* tipe 211 dengan pengambilan panjang spesimen sebesar 0,25 mm. hasil penelitian diperoleh bahwa pada setiap kenaikan kecepatan potong dengan kelipatan 100 m/min maka angka penurunan kekasaran permukaan dengan $TNR=0.4$ adalah sebesar 9.98%, $TNR=0.8$ adalah sebesar 6.21% , dan $TNR 1.2$ adalah 3.23%. Selanjutnya, setiap pembesaran tool nose radius dengan kelipatan 0.4 mm dihasilkan rata-rata penurunan harga kekasaran permukaan pada $V_c =200\text{m/min}$ adalah sebesar 26.3 % , pada $V_c=300\text{m/min}$ adalah 22.66% , $V_c= 400 \text{ m/min}$ adalah 14.53% , $V_c 500\text{m/min}$ adalah 12.24%, dan $V_c=600\text{m/min}$ adalah 13.73%.

Syahbuddin, dan Tataq Budi Santoso. (2018). Melakukan penelitian dengan judul Optimasi Parameter Pemotongan Proses *Drilling* Terhadap Kekasaran Permukaan dan Laju Pelepasan Material Menggunakan Metode Taghuci. Penelitian

ini menggunakan material baja *mild steel* ASTM A36 yang diproses menggunakan sebuah mesin *CNC Vertical Milling* dan jenis mata bor (*twist drill*) karbida dengan fitur *internal coolant*. Metode ini menggunakan kecepatan potong (*cutting speed*) dan besar pemakanan (*feed*) sebagai faktor terikat yang mempengaruhi kekasaran dan mempunyai variasi (*level*); 80, 100, dan 120 m/menit untuk *cutting speed* dan 0.14, 0.15, 0.16 mm/putaran untuk *feed*. Penentuan S/N rasio untuk masing-masing variasi parameter untuk menampilkan grafik parameter optimum yang dapat dicapai. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa parameter kecepatan potong yang optimum berada ada level 1 yaitu 80 m/menit dan besar pemakanan pada level 2 yaitu 0.15 mm/putaran dapat dicapai untuk kekasaran permukaan yang optimal. Sedangkan untuk laju pelepasan material kecepatan optimum berada pada level 3 yaitu 120 m/menit dan besar pemakanan 0.16 mm/putaran.

2.2 Pemesinan Gurdi (*Drilling*)

Proses gurdi adalah proses pemesinan yang paling sederhana diantara proses pemesinan yang lain. Biasanya di bengkel atau *workshop* proses ini dinamakan proses bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Sedangkan proses bor (*boring*) adalah proses meluaskan/memperbesar lubang yang bisa dilakukan dengan batang bor (*boring bar*) yang tidak hanya dilakukan pada Mesin Gurdi, tetapi bisa dengan Mesin Bubut (Ansyori dan Saputra, 2019). Seperti terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1. Mesin Gurdi (*Drilling*) (Ansyori dan Saputra, 2019)

Proses gurdi digunakan untuk pembuatan lubang silindris. Pembuatan lubang dengan bor spiral di dalam benda kerja yang pejal merupakan suatu proses pengikisan dengan daya penyerpihan yang besar. Jika terhadap benda kerja itu dituntut kepresisian yang tinggi (ketepatan ukuran atau mutu permukaan) pada dinding lubang, maka diperlukan pengerjaan lanjutan dengan pembenam atau penggerek. Pada proses gurdi, beram (*chips*) harus keluar melalui alur *helix* pahat gurdi ke luar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong, sehingga proses pendinginan menjadi relatif sulit. Proses pendinginan biasanya dilakukan dengan menyiram benda kerja yang dilubangi dengan cairan pendingin, disemprot dengan cairan pendingin, atau cairan pendingin dimasukkan melalui lubang di tengah mata bor. Perkakas sebagai kelengkapan mesin gurdi di antaranya:

a. Mata bor

Mata bor merupakan alat potong pada mesin gurdi, yang terdiri dari bor spiral, mata bor pemotong lurus, mata bor untuk lubang yang dalam (*deep hole drill*), mata bor skop (*spade drill*), dan mata bor *stelite*.

b. Bor spiral

Digunakan untuk pembuatan lubang yang diameternya sama dengan diameter mata bor.

c. Mata bor pemotong lurus

Digunakan untuk material yang lunak seperti kuningan, tembaga, perunggu dan plastik.

d. Mata bor untuk lubang yang dalam (*deep hole drill*)

Digunakan untuk membuat lubang yang relatif dalam.

e. Mata bor skop (*spade drill*)

Digunakan untuk material yang keras tetapi rapuh. Mata potong dapat diganti-ganti.

f. Mata bor *stelite*

Digunakan untuk membuat lubang pada material yang telah dikeraskan. Mata bornya mempunyai bentuk segitiga dan terbuat dari baja campuran yang tahan panas.

2.3 Mesin Bor (*Drilling Machine*)

Mesin bor adalah suatu jenis mesin gerakannya memutar alat pemotong yang arah pemakanan mata bor hanya pada sumbu mesin tersebut (pengerjaan pelubangan). Sedangkan pengeboran adalah operasi menghasilkan lubang berbentuk bulat dalam lembaran kerja dengan menggunakan pemotong berputar yang disebut mata bor dan memiliki fungsi untuk membuat lubang, membuat lobang bertingkat, membesarkan lobang dan *Chamfer*. Pada umumnya mesin bor digunakan untuk pembuatan lubang pada benda kerja, oleh karena itu mesin bor sangat penting untuk proses pengetappan atau proses pembuatan ulir dalam. Sedangkan proses pengeboran merupakan proses permesinan yang paling digunakan setelah proses bubut, karena hampir semua komponen dan produk permesinan mempunyai lubang. Gerak makan dan gerak potong pada proses pengeboran dilakukan oleh pahat bor. Pahat bor mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar oleh *spindle* mesin bor. Putaran *spindle* dan gerak makan dapat dipilih dari beberapa tingkat putaran dan gerak makan yang tersedia pada mesin (Akhmad dkk, 2021).

2.3.1 Bagian-Bagian Utama Mesin Bor

Setiap jenis mesin bor (*Drill Machine*) memiliki komponennya masing – masing. Pada penelitian ini akan di bahas jenis mesin bor duduk tipe *Orange Heavy Duty MD-16*. Berikut komponennya:

a. Dudukan (*Base*)

Base ini merupakan penopang dari semua komponen mesin bor. *Base* terletak paling bawah menempel pada lantai, biasanya dibaut. Dalam pengeboran akan terjadi getaran, jika pemasangan dudukan atau *base* ini tidak kuat, maka getaran tersebut akan membuat keakurasian dalam pengeboran berkurang, maka pemasangannya harus kuat karena akan mempengaruhi keakuratan pengeboran akibat dari getaran yang terjadi. Seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Dudukan (*Base*) (Akhmad dkk, 2021)

b. Tiang (*Coloumn*)

Bagian dari mesin bor yang digunakan untuk menyangga bagian-bagian yang digunakan untuk proses pengeboran. *Column* berbentuk silinder yang mempunyai alur atau rel untuk jalur gerak vertikal dari meja kerja. Seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tiang (*Coloumn*) (Akhmad dkk, 2021)

c. Meja (*Table*)

Bagian yang digunakan untuk meletakkan benda kerja yang akan di bor. Meja kerja dapat disesuaikan secara vertikal untuk mengakomodasi ketinggian pekerjaan yang berbeda atau bisa berputar ke kiri dan ke kanan dengan sumbu poros pada ujung yang melekat pada tiang (*column*). Untuk meja yang berbentuk lingkaran bisa diputar 360° dengan poros ditengah-tengah meja. Kesemuanya itu dilengkapi pengunci (*table clamp*) untuk menjaga agar posisi meja sesuai dengan yang dibutuhkan. Untuk menjepit benda kerja agar diam menggunakan ragum yang diletakkan di atas meja. Seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Meja (*Table*) (Akhmad dkk, 2021)

d. Mata Bor (*Drill Chuck*)

Adalah suatu alat pembuat lubang atau alur yang efisien. Mata bor yang paling sering digunakan adalah bor spiral, karena daya hantarnya yang baik, penyaluran serpih (geram) yang baik karena alur-alurnya yang berbentuk sekrup, sudut-sudut sayat yang menguntungkan dan bidang potong dapat diasah tanpa mengubah diameter bor. Bidang–bidang potong bor spiral tidak radial tetapi digeser sehingga membentuk garis-garis singgung pada lingkaran kecil yang merupakan hati bor. Seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Mata Bor (*Drill Chuck*) (Akhmad dkk, 2021)

e. *Spindle*

Bagian yang menggerakkan *chuck* atau pencekam, yang memegang atau mencekam mata bor. Seperti terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Spindle* (Akhmad dkk, 2021)

f. *Spindle Head*

Merupakan rumah dari konstruksi *spindle* yang digerakkan oleh motor dengan sambungan berupa *belt* dan diatur oleh *drill feed handle* untuk proses pengeborannya. Seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Spindle Head* (Akhmad dkk, 2021)

g. *Drill Feed Handle*

Handle untuk menurunkan atau menekan *spindle* dan mata bor ke benda kerja (memakan). Seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Drill feed Handle* (Akhmad dkk, 2021)

h. Kelistrikan

Mesin bor menggunakan motor listrik sebagai penggerak utamanya. Motor listrik harus dilengkapi dengan kabel penghubung, kabel *power*, saklar on/off, lampu indikator serta saklar pengatur kecepatan. Seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kelistrikan (Akhmad dkk, 2021)

2.3.2 Fungsi Mesin Bor

1. Pembuatan lubang

Yaitu mengumpan mata bor pada suatu benda kerja untuk membuat lubang.

2. Pembesaran lubang

Yaitu mengumpan mata bor pada benda kerja yang telah memiliki lubang sebelumnya guna untuk memperbesar diameter lubang pada benda kerja.

3. *Chamfer*

Chamfer adalah suatu proses untuk menghilangkan sisi tajam dari sebuah bentuk *silindris*. *Chamfer* pada proses *counter sink* yang dimaksudkan ada beberapa macam penggunaan, antara lain:

- a. *Chamfer* untuk membersihkan *chip/ bram*.
- b. *Chamfer* untuk pembuatan ulir.
- c. *Chamfer* untuk dudukan kepala baut konus.
- d. *Chamfer* untuk dudukan paku keling.

2.3.3 Pengerjaan Pengobaran

Jenis *cutting tool* (mata bor) yang digunakan dalam proses pengeboran antara lain:

1. *Drilling*

Proses yang digunakan untuk membuat suatu lubang pada benda kerja yang solid.

2. *Step drill*

Proses yang digunakan untuk pembuatan lubang dengan diameter bertingkat.

3. *Reaming*

Reaming adalah cara akurat pengepasan dan finishing lubang yang sudah ada sebelumnya.

4. *Boring*

Proses memperluas sebuah lubang yang sudah ada dengan satu titik pahat. *Boring* lebih disukai karena kita dapat memperbaiki ukuran lubang, atau keselarasan dan dapat menghasilkan lubang yang halus.

5. *Counter Bore*

Operasi ini menggunakan pilot untuk membimbing tindakan pemotongan. Digunakan untuk proses pembesaran ujung lubang yang telah dibuat dengan kedalaman tertentu, untuk mengakomodasi kepala baut.

6. *Countersink* (bor benam)

Khusus pembesaran miring berbentuk kerucut pada akhir lubang untuk mengakomodasi sekrup versink. Kerucut sudut 60° , 82° , 90° , 100° , 110° , 120° .

7. *Tapping*

Tapping adalah proses dimana membentuk ulir dalam. Hal ini dilakukan baik oleh tangan atau oleh mesin.

2.3.4 Prosedur Pengoperasian Mesin Bor

1. Pengecekan

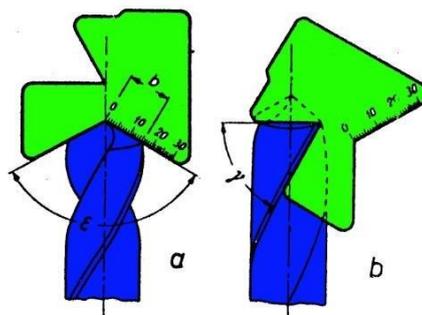
Dalam proses pengerjaan dengan mesin bor, pengecekan kondisi mesin sangat diperlukan agar mesin dapat bekerja dengan baik. Pada mesin ini hal-hal yang perlu diperiksa sebelum mesin digunakan adalah kondisi dari *belt*, pengecekan kondisi mata bor dan pemasangannya, serta pengecekan pada ragam penjepit benda kerja (Sutopo, 2004).



Gambar 2.10. Pengecekan kekencangan *belt*

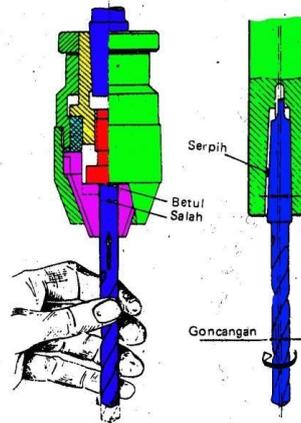
(Sutopo, 2004)

Kekencangan dari *belt* atau sabuk berpengaruh terhadap perpindahan putaran dari motor ke *spindel*. Untuk mengecek kekencangan *belt* dilakukan dengan menekan sabuk menggunakan jari atau alat lainnya pada kondisi mesin mati (Gambar 2.10.) Sabuk yang kendur dapat disetel ulang tetapi jika sudah rusak, misalnya retak, terkelupas dan aus maka harus diganti (Sutopo, 2004).



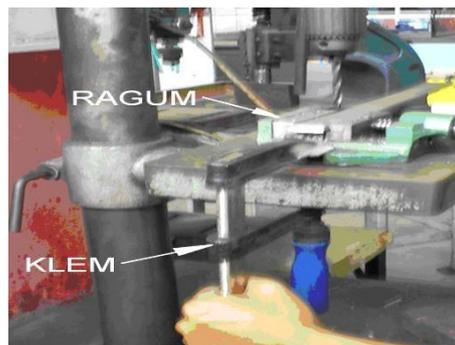
Gambar 2.11. Pengecekan sudut ujung mata bor (Sutopo, 2004)

Pengecekan pada mata bor dilakukan dengan melihat dari sudut pada ujung mata bor (Gambar 2.11.). Sudut mata bor yang salah akan mengakibatkan mata bor tidak tajam, pemakanan yang kasar dan timbul bunyi akibat gesekan dengan benda kerja (Sutopo, 2004).



Gambar 2.12. Pemasangan mata bor pada *chuck*
(Sutopo, 2004)

Setelah diperiksa kondisi ujung dari mata bor, maka langkah selanjutnya adalah memeriksa pemasangan mata bor. Pemasangan mata bor yang oleng atau miring, mengakibatkan pemakanan yang sulit, diameter pengeboran tidak sesuai ukuran mata bor dan timbul suara dan getaran sehingga pemasangan mata bor harus lurus dan arbor bersih dari kotoran. Kemudian kedalaman pemasangan mata bor juga diperhatikan karena bor yang terpasang terlalu dangkal akan mudah patah Gambar 2.12 (Sutopo, 2004).

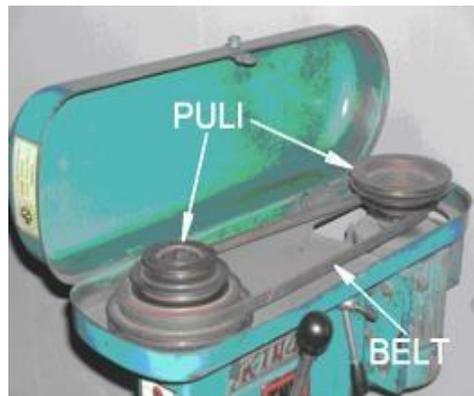


Gambar 2.13. Pemeriksaan kondisi ragum mesin bor (Sutopo, 2004)

Pemeriksaan kondisi ragum penjepit mesin bor perlu dilakukan agar benda kerja dapat terpasang dengan baik. Kekencangan baut atau klem pengikat ragum pada meja mesin juga perlu diperiksa agar benda kerja tidak bergeser pada saat pengeboran dilakukan Gambar 2.13 (Sutopo, 2004).

2. Penyetelan

Setelah dilakukan pengecekan kondisi mesin, langkah selanjutnya adalah melakukan penyetelan mesin sesuai dengan profil dan jenis benda kerja yang akan dikerjakan. Besarnya diameter pengeboran dan bahan dari benda kerja berpengaruh pada kecepatan putar dari spindel bor. Semakin besar diameter bor maka kecepatan yang digunakan semakin lambat, demikian pula sebaliknya. Untuk mengatur kecepatan ini, pada konstruksi mesin bor dilakukan dengan memindahkan posisi *belt* dan puli pada kecepatan yang sesuai (Sutopo, 2004).



Gambar 2.14. Posisi *belt* dan puli pada mesin bor meja (Sutopo, 2004)

Untuk mesin bor meja, posisi belt dan puli dapat dilihat pada Gambar 2.14. posisi puli pada mesin bor ini seperti pada Gambar, diameter puli pada *spindel* semakin keatas semakin kecil. Ini dapat menunjukkan posisi *belt* yang diatas kecepatan putarnya lebih tinggi. Puli mesin bor ini terdiri dari empat kecepatan putar yang berbeda (Sutopo, 2004).



Gambar 2.15. Mengendorkan pengunci puli motor
(Sutopo, 2004)

Untuk mengendorkan kekencangan *belt* langkah awal yang dilakukan adalah mengendorkan baut pengunci yang menahan puli yang terpasang pada motor tidak bergeser (Gambar 2.15). Pada mesin bor tertentu ada yang langsung dengan menarik tuas penggeser kedudukan dari puli yang terdapat pada motor (Sutopo, 2004).



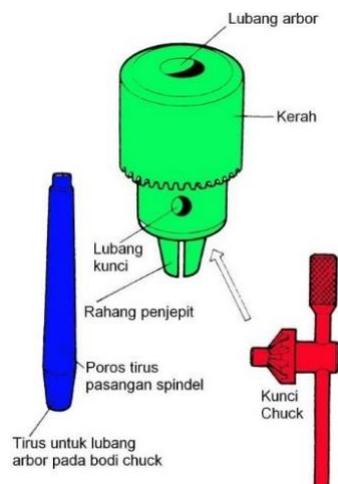
Gambar 2.16. menarik tuas penggeser pulimotor
(Sutopo, 2004)

Setelah pengunci dikendurkan, langkah selanjutnya adalah menarik tuas yang berfungsi menggeser puli yang terpasang pada motor sehingga memperpendek jarak antar puli, dan *belt* akan mengendur (Sutopo, 2004). Langkah ini dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.17. Memindahkan posisi *belt* pada puli
(Sutopo, 2004)

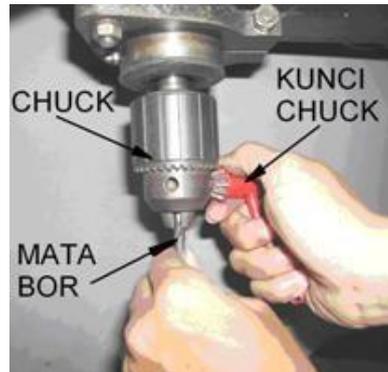
Sabuk yang kendur dipindahkan posisinya ke pasangan puli yang disesuaikan dengan kecepatan yang dibutuhkan (Gambar 2.17). Setelah belt terpasang dengan baik kemudian dikencangkan kembali seperti semula dan ditutup kembali (Sutopo, 2004).



Gambar 2.18. *Chuck* dan Peralatannya
(Sutopo, 2004)

Peralatan peralatan yang dibutuhkan untuk mema-sang bor diantaranya adalah *chuck* dan perlengkapannya (Gambar 2.18). Pemasangan mata bor pada chuck menggunakan kunci khusus *chuck*. Penyetelan yang perlu dilakukan adalah pemasangan taper pada *chuck* tidak boleh oleng karena akan mengakibatkan bor mudah patah (Sutopo, 2004).

3. Pengoperasian



Gambar 2.19. Memasang mata bor pada *chuck*
(Sutopo, 2004)

Gambar 2.19 menunjukkan cara untuk memasang mata bor, yaitu dengan membuka *chuck* dengan kunci *chuck* yang dipasangkan pada lubang dan gigi yang terdapat pada *chuck*. Sedang untuk mengendurkannya kunci *chuck* diputar hingga rahang penjepit mata bor membuka, dan demikian sebaliknya (Sutopo, 2004).



Gambar 2.20. Mata bor yang sudah terpasang pada *chuck*
(Sutopo, 2004)

Mata bor yang dipasang harus benar-benar kuat dan kencang, agar dalam pengoperasian mata bor tidak selip. Posisi mata bor tidak boleh terlalu panjang ataupun terlalu pendek keluar dari *chuck*. Selain itu posisi mata bor harus benar-benar senter dan tidak oleng (Sutopo, 2004). Dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.21. Melakukan pengeboran (Sutopo, 2004)

Gambar 2.21 diatas menunjukkan pengoperasian mesin bor untuk mengebor benda kerja. *Handle* penurun bor di pegang dengan tangan satu sedangkan tangan lain memegang ragum yang dijepit klem agar ragum tidak bergeser akibat putaran dari mesin bor (Sutopo, 2004).

2.3.5 Cara Menggunakan Mesin Bor Duduk

1. Periksa mesin bor dan pastikan mesin dalam keadaan tidak rusak.
2. Periksa daya listrik dan pastikan mampu menghidupkan mesin bor dengan baik.
3. Gunakan APD (Alat Pelindung Diri) dengan lengkap.
4. Pasang mata bor sesuai dengan jenis dan ukuran yang diinginkan pada *spindel* atau *chuck* bor. Gunakan kunci *chuck* untuk membuka dan mengencangkan mata bor.
5. Tempatkan benda kerja yang telah diberi tanda titik pengeboran pada meja geser. Kemudian kunci benda kerja agar tidak terlepas ketika proses pengeboran.
6. Atur ketinggian *table* (meja geser) agar mata bor dapat menjangkau kedalaman benda kerja dengan cara mengendurkan tuas pengaturannya ketinggian. Setelah meja geser berada di posisi yang tepat, kencangkan kembali tuasnya.
7. Arahkan mata bor ke tanda titik pada benda kerja dengan cara menurunkan *drill feed handle*. Pastikan ujung mata bor tepat berada pada titik benda kerja.
8. Atur kecepatan putaran mesin dengan cara mengubah posisi *vanbelt*.

9. Setelah persiapan siap, hubungkan kabel *power* mesin bor duduk ke sumber listrik.
10. Tutup kaca pelindung pada mesin bor dan hidupkan mesin bor duduk dengan menekan saklar mesin ke posisi on.
11. Setelah mesin berputar, turunkan *drill feed handle* secara perlahan-lahan sampai mengenai benda kerja. Setelah itu, tekan lagi tanpa menggunakan tenaga dan biarkan mata bor melakukan pengeboran dengan sendirinya sampai selesai. Jika melakukan pengeboran pada lubang yang dalam, angkatlah sesekali *drill feed handle* agar runtuhannya sisa bor dapat keluar. Sedangkan untuk pengeboran benda keras, teteskan air *coolant* (air pendingin) secara bertahap agar mata bor tidak cepat panas yang dapat mengakibatkan mata bor tumpul atau patah.
12. Setelah proses pengeboran selesai, tekan tombol off untuk menghentikan mesin.
13. Kemudian lepaskan mata bor dari *spindle*, serta bersihkan mesin dan tempat sekitarnya.

2.3.6 Cairan Pendingin (*Coolant*)

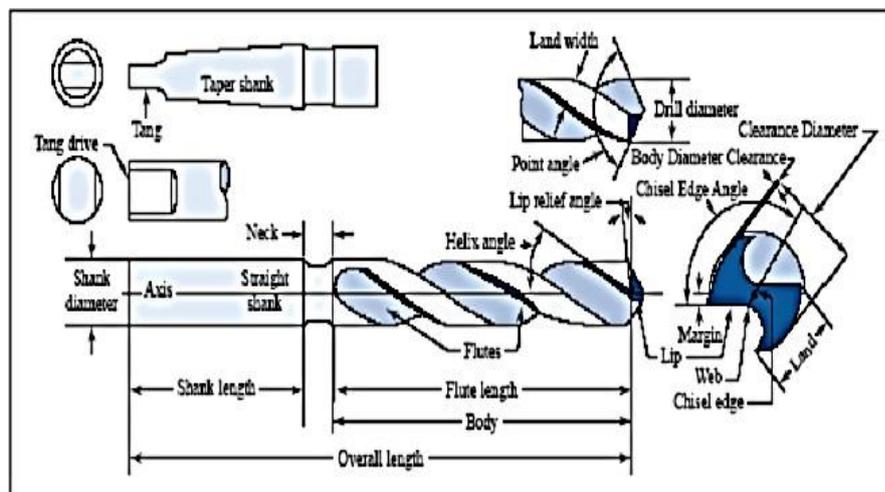
Secara umum *coolant* adalah media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan benda kerja dan alat potong pada saat proses permesinan. Digunakan pula untuk melumasi alat potong sehingga memiliki umur pakai yang lebih lama. Pelumas bertujuan untuk mengurangi seminimal mungkin terjadinya pergesekan dan penyerapan panas yang ditimbulkan oleh pergesekan antara bagian-bagian mesin yang saling bergesek (Akhmad dkk, 2021).

Dromus oil adalah minyak mineral hasil penyulingan dan aditif. Dalam pengerjaan pemesinan *dromus oil* berperan melindungi logam dari karat. *Dromus oil* mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air:dromus oil biasanya 20:1 sampai 40:1 dengan demikian memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada pengerasan baja (Akhmad dkk, 2021).

2.4 Proses *Drilling*

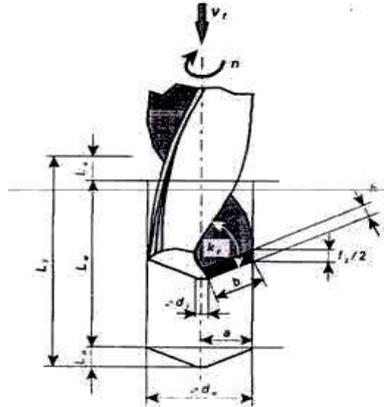
Proses *drilling* adalah merupakan proses pembuatan lubang pada sebuah objek dengan menekan sebuah mata bor berputar kepadanya (B. H. Amstead, Philip F. Ostwald, Myron L. Begemen). Pahat bor mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong berupa putaran poros utama mesin bor. Putaran tersebut dapat dipilih dari beberapa tingkatan putaran yang tersedia pada mesin bor, atau ditetapkan sekehendak bila sistim transmisi putaran mesin bor merupakan sistim berkesinambungan (*stepless spindle drive*) (Daniawan, 2015).

Pahat bor adalah sebuah pahat potong yang ujungnya berputar dan memiliki satu atau beberapa tepi potong dan galur (*flute*) yang berhubungan kontinyu disepanjang badan pahat. Galur ini dapat lurus atau *heliks*, yang fungsinya adalah sebagai jalan lewatnya geram dan *fluida* pemotong (cairan pendingin). Meskipun pahat bor pada umumnya memiliki dua galur, tetapi mungkin juga digunakan tiga atau empat galur. Galur yang jumlahnya tiga atau empat tidak digunakan untuk membuat lubang melainkan digunakan untuk memperbesar lubang (Daniawan, 2015). Untuk lebih jelasnya *twist drill* dapat dilihat pada Gambar 2.22:



Gambar 2.22. *Twist Drill* (Daniawan, 2015)

Berkenaan dengan proses pengeboran (*drilling*) dapat dilihat pada Gambar 2.23 berikut.



Gambar 2.23. Proses *Drilling* (Daniawan, 2015)

Benda kerja:

l_w = Panjang pemotongan benda kerja

Pahat mata bor:

D = Diameter mata bor

K_r = Sudut potong utama
= $\frac{1}{2}$ Sudut ujung (*point angle*)

Mesin bor:

n = putaran poros utama

V_f = kecepatan makan

2.4.1 Elemen Dasar Proses *Drilling*

Elemen dasar proses drilling dapat dihitung dengan rumus berikut:

a. Kecepatan potong:

Kecepatan potong (*cutting speed*) adalah ukuran dari besarnya kecepatan keliling pengeboran. Kecepatan potong biasanya dinyatakan dalam meter tiap menit (m/min), inch per detik (in/s) ataupun milimeter per menit (mm/min).

$$\text{Rumus: } V_c = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000 \text{ (m/min)} \quad (2.1)$$

Dimana:

V_c = kecepatan potong, (m/min)

d = diameter rata-rata, yaitu:

$$d = (d_0 + d_m) / 2 \approx d_0 \text{ (mm)}$$

n = putaran spindle/poros utama (put/min)

π = kecepatan putar poros utama, (rpm)

b. Gerak makan permata potong:

Pemakanan adalah jarak perpindahan mata potong drill ke dalam lobang/benda kerja dalam satu kali putaran mata drill. Berikut ini adalah rumus untuk menentukan besar nilai pemakanan mata drill.

$$\text{Rumus: } f = v_f / (z \cdot n) \text{ (mm/r)} \quad (2.2)$$

Keterangan: $z = 2$

Dimana:

f = gerak makan (mm/put)

V_f = kecepatan pemakanan

n = putaran spindle/poros utama (put/min)

c. Kedalaman potong:

Kedalaman potong merupakan nilai rata-rata selisih dari diameter benda kerja sebelum dilakukan pengeboran.

$$\text{Rumus: } a = (d_0 - d_m) / 2 \text{ (mm)} \quad (2.3)$$

Dimana:

a = kedalaman potong (mm)

d_0 = diameter awal benda kerja (mm)

d_m = diameter akhir benda kerja (mm)

d. Waktu pemotongan:

Waktu pemotongan ialah lamanya proses pemotongan tiap kecepatan gerak pemakanan. Panjang permesinan sendiri adalah Panjang pemotongan pada benda kerja baik dari awal sampai akhir pengerjaan.

$$\text{Rumus: } t_c = l_t / V_f \text{ (min)} \quad (2.4)$$

Dimana:

$l_t = l_v + l_w + l_n \text{ (mm)}$

$l_n = (d/2) \tan \kappa_r \text{ (mm)}$

l_c = waktu pemotongan (mm)

l_t = panjang permesinan (mm)

V_f = kecepatan makan (mm/min)

e. Kecepatan penghasilan geram:

Kecepatan penghasilan geram adalah besarnya geram yang dihasilkan tiap satu satuan waktu. Kecepatan penghasilan geram biasanya dinyatakan dalam centimeter kubik tiap menit (cm³/min).

$$\text{Rumus: } Z = \pi \cdot a^2 \cdot v_f / 4.1000 \text{ (cm}^3\text{/min)} \quad (2.5)$$

Dimana:

Z = kecepatan penghasilan geram

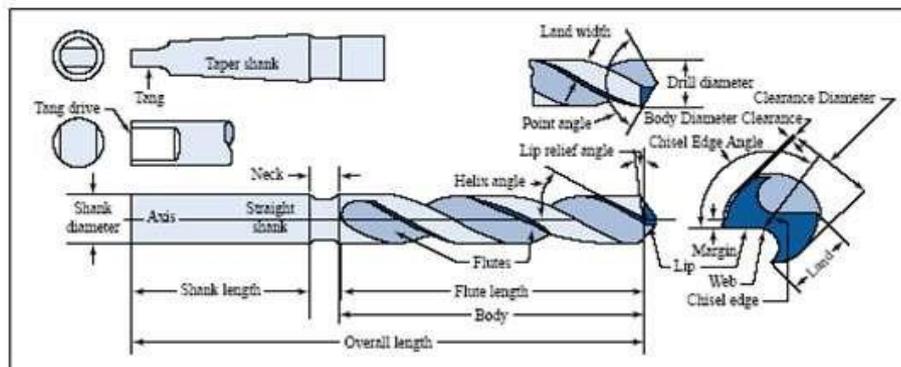
Π = kecepatan putar poros utama, (rpm)

a^2 = kedalaman potong (mm)

V_f = kecepatan makan (mm/min)

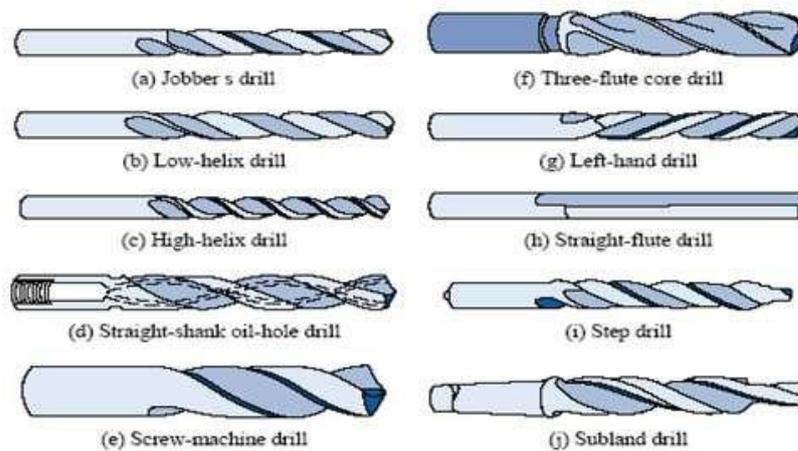
2.5 Geometri Mata Bor (*Twist Drill*)

Nama-nama bagian mata bor ditunjukkan pada Gambar 2.24. Diantara bagian-bagian mata bor tersebut yang paling utama adalah sudut *helix* (*helix angle*), sudut ujung (*point angle/lip angle*, 2α), dan sudut bebas (*clearance angle*, α).



Gambar 2.24. Nama-nama bagian mata bor dengan sarung tirusnya (Ansyori dan Saputra, 2019)

Ada beberapa jenis mata bor untuk jenis pekerjaan yang berbeda. Bahan benda kerja dapat juga mempengaruhi jenis dari mata bor yang digunakan. Bentuk beberapa mata bor khusus untuk pengerjaan tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Mata bor khusus untuk pengerjaan tertentu

(Ansyori dan Saputra, 2019)

Penggunaan dari masing-masing mata bor tersebut adalah:

- a. Mata bor *helix* besar (*high helix drills*): mata bor ini memiliki sudut *helix* yang besar, sehingga meningkatkan efisiensi pemotongan, tetapi batangnya lemah. Mata bor ini digunakan untuk memotong logam lunak atau bahan yang memiliki kekuatan rendah.
- b. Mata bor *helix* kecil (*low helix drills*): mata bor dengan sudut *helix* lebih kecil dari ukuran normal berguna untuk mencegah pahat bor terangkat ke atas atau terpegang benda kerja ketika membuat lubang pada material kuningan dan material yang sejenis.
- c. Mata bor kerja berat (*heavy-duty drills*): mata bor yang digunakan untuk menahan tegangan yang tinggi dengan cara menebalkan bagian web.
- d. Mata bor tangan kiri (*left hand drills*) : mata bor standar dapat dibuat juga untuk mata bor kiri. Digunakan pada pembuatan lubang jamak yang mana bagian kepala mesin bor didesain dengan sederhana yang memungkinkan berputar berlawanan arah.
- e. Mata bor dengan sisi sayat lurus (*straight flute drills*) adalah bentuk ekstrim dari mata bor *helix* kecil, digunakan untuk membuat lubang pada kuningan dan plat.
- f. Mata bor poros engkol (*crankshaft drills*): mata bor yang didesain khusus untuk mengerjakan poros engkol, sangat menguntungkan untuk membuat

lubang dalam pada material yang ulet. Memiliki web yang tebal dan sudut *helix* yang kadang-kadang lebih besar dari ukuran normal. Mata bor ini adalah mata bor khusus yang banyak digunakan secara luas dan menjadi mata bor standar.

- g. Mata bor panjang (*extension drills*): mata bor ini memiliki batang/*shank* yang panjang yang telah ditemper, digunakan untuk membuat lubang pada permukaan yang secara normal tidak akan dapat dijangkau.
- h. Mata bor ekstra panjang (*extra-length drills*): mata bor dengan badan pahat yang panjang, untuk membuat lubang yang dalam.
- i. Mata bor bertingkat (*step drills*): satu atau dua buah diameter mata bor dibuat pada satu batang untuk membuat lubang dengan diameter bertingkat.
- j. Mata bor ganda (*subland drills*): fungsinya sama dengan mata bor bertingkat. Mata bor ini terlihat seperti dua buah mata bor pada satu batang.
- k. Mata bor *solid carbide*: untuk membuat lubang kecil pada material paduan ringan, dan material bukan logam, bentuknya bisa sama dengan mata bor standar. Proses pembuatan lubang dengan mata bor ini tidak boleh ada beban kejut, karena bahan *carbide* mudah pecah.
- l. Mata bor dengan sisipan karbida (*carbide tipped drills*): sisipan karbida digunakan untuk mencegah terjadinya keausan karena kecepatan potong yang tinggi. Sudut *helix* yang lebih kecil dan web yang tipis diterapkan untuk meningkatkan kekakuan mata bor ini, yang menjaga keawetan karbida. Mata bor ini digunakan untuk material yang keras, atau material non logam yang abrasif.
- m. Mata bor dengan lubang minyak (*oil hole drills*): lubang kecil di dalam bilah pahat bor dapat digunakan untuk mengalirkan minyak pelumas/pendingin bertekanan ke ujung mata bor. Mata bor ini digunakan untuk membuat lubang dalam pada material yang liat.
- n. Mata bor rata (*flat drills*): batang lurus dan rata dapat digerinda ujungnya membentuk ujung mata bor. Hal tersebut akan memberikan ruang yang besar bagi beram tanpa bagian *helix*. Mata bor ini digunakan untuk membuat lubang pada jalan kereta api.

- o. Mata bor dengan tiga atau empat sisi potong: mata bor ini digunakan untuk memperbesar lubang yang telah dibuat sebelumnya (dengan mata bor atau *di-punch*). Mata bor ini digunakan karena memiliki produktivitas, akurasi, dan kualitas permukaan yang lebih bagus daripada mata bor standar pada pengerjaan yang sama.
- p. Bor senter (*center drill*): merupakan kombinasi mata bor *dacountersink* yang sangat baik digunakan untuk membuat lubang senter. Dapat dilihat pada gambar 2.26.



Gambar 2.26. Center Drill (Ansyori dan Saputra, 2019)

2.6 HSS (*High Speed Steel*)

Pada tahun 1898 ditemukan jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan *Krom* (Cr) dan *Tungsten/Wolfram* (W). Melalui proses penuangan pada cetakan dan kemudian diikuti dengan proses pengerolan atau pun penempaan, baja ini dibentuk menjadi bentuk batang atau silinder. Pada kondisi lunak (*annealed*) bahan tersebut dapat diproses secara pemesinan menjadi berbagai macam bentuk pahat potong. Setelah proses perlakuan panas dilakukan pada material paduan tersebut, maka kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi (sampai 3 kali kecepatan potong dari baja karbon tinggi), sehingga dinamakan Baja Kecepatan Tinggi (HSS), apabila telah aus HSS dapat diasah sehingga mata potongnya tajam kembali. Karena sifat keuletannya yang cukup baik sampai saat ini HSS tetap digunakan sebagai pahat potong. Pada perkembangannya berbagai jenis HSS banyak ditemukan dengan berbagai jenis unsur paduan seperti, W, Cr, V, Mo, dan Co (Ansyori dan Saputra, 2019). Pengaruh unsur- unsur tersebut

terhadap unsur dasar besi (Fe) dan karbon (C) adalah sebagai berikut:

- a. *Tungsten/Wolfram (W)*, *Tungsten/Wolfram* dapat membentuk karbida (paduan yang sangat keras) yang menyebabkan kenaikan *temperature* untuk proses *hardening* dan *tempering*.
- b. *Chromlum (Cr)*, Chrom merupakan elemen pembentuk karbida, akan tetapi Cr menaikkan sensitifitas terhadap *Overheating*.
- c. *Vanadium (V)*, menurunkan sensitifitas terhadap *overheating*, *vanadium* juga merupakan elemen pembentuk karbida.
- d. *Molybdenum (Mo)*, mempunyai efek yang sama seperti W, (2 % W dapat digantikan dengan 1 % Mo). Dengan penambahan 0,4 % sampai 0,9 % Mo dalam HSS dengan paduan utama W dapat dihasilkan HSS yang lebih liat sehingga mampu menahan bebah kejut. Kelemahannya adalah lebih sensitif terhadap *overheating* (hangusnya ujung-ujung yang runcing) sewaktu dilakukan proses perlakuan panas.
- e. *Cobalt (Co)*, bukanlah elemen pembentuk karbida ditambahkan pada HSS untuk menaikkan tahan keausan.

2.7 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah (Glyn, 2001). Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi, poros, dan bantalan. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (Pramono, 2011)

Kode	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (Krauss, G. 1986). Pada angka 10 pertama

merupakan kode yang menunjukkan plain carbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon (Glyn, 2001). Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau plain carbon steel yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (Avner, H, S. 1974). Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

2.8 Kekasaran Permukaan

Permukaan benda adalah batas yang memisahkan antara benda padat tersebut dengan sekelilingnya. Permukaan merupakan suatu karakteristik geometri golongan mikrogeometri, yang termasuk golongan makrogeometri adalah permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik, misalnya permukaan lubang, permukaan poros, permukaan sisi dan lain yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk dan posisi (Setiawan. 2021).

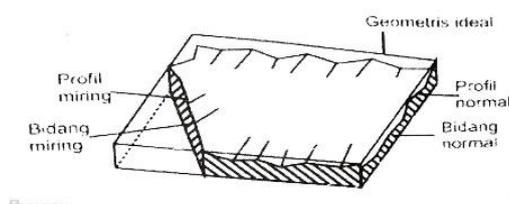
Kekasaran permukaan dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. *Ideal surface roughness*

Yaitu kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.

b. *Natural surface roughness*

Yaitu kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa factor yang mempengaruhi proses permesinan.



Gambar 2.27. Bidang dan Profil pada Penampang Permukaan
(Setiawan. 2021)

Berdasarkan profil kurva kekasaran di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, diantaranya adalah:

Profil kekasaran permukaan, terdiri dari:

- a. Profil geometric ideal merupakan permukaan yang sempurna dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- b. Profil terukur (*measured profil*) profil terukur merupakan profil permukaan terukur.
- c. Profil referensi merupakan profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakteraturan konfigurasi permukaan.
- d. Profil akar / alas yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- e. Profil tengah adalah profil yang digeserkan kebawah sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah-daerah di bawah profil tengah sampai ke profil terukur.

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (R_a). Harga R_a lebih sensitive terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Toleransi harga R_a , seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Harga toleransi kekasaran R_a ditunjukkan pada tabel 2.3. Toleransi harga kekasaran rata-rata, R_a dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel 2.2 berikut ini merupakan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.2. Toleransi nilai kekasaran rata-rata R_a permukaan

(Setiawan. 2021)

No.	Kelas Kekasaran	Harga R_a (μm)	Panjang Sampel (mm)
1.	N1	0,0025	0,08
2.	N2	0,05	

3.	N3	0,0	0,25
4.	N4	0,2	
5.	N5	0,4	
6.	N6	0,8	
7.	N7	1,6	
8.	N8	3,2	0,8
9.	N9	6,3	
10.	N10	12,5	2,5
11.	N11	25,0	
12.	N12	50,0	8

Tabel 2.3. Tingkat kekasaran permukaan rata-rata menurut pengerjaan (ISO-1302, 2001) (Setiawan. 2021)

Proses Pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra (um)
<i>Flat and cylindrical lapping</i>	N1-N4	0,0025-0,2
<i>Superfinishing diamond turning</i>	N1-N6	0,0025-0,8
<i>Flat and cylindrical grinding</i>	N1-N8	0,0025-3,2
<i>Face and cylindrical turning milling and reaming</i>	N5-N12	0,0025-5,0
<i>Drilling</i>	N10-N11	12,5-25,0
<i>Shaping, Planning, horizontal milling</i>	N6-N12	0,8-50,0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10-N11	12,5-25,0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6-N8	0,8-3,2
<i>Die casting</i>	N8-N7	0,8-1,6

2.9 Pengujian Kekasaran

Kekasaran merupakan ukuran dari tekstur permukaan. Tingkat kekasaran yang dimiliki oleh suatu material tidak cukup menggunakan indra praba, apalagi hanya dilihat secara kasat mata. Harus ada acuan dan parameter-parameter yang digunakan peneliti untuk mengetahui seberapa kasar material tersebut. Adapun

penyebabnya beberapa macam factor diantaranya yaitu parameter pemotongan, geometri, dan dimensi pahat. Kualitas hasil suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja (Salbiah, 2021).

Parameter pengukuran kekasaran permukaan umumnya menggunakan tiga buah parameter, yaitu Ra, Rz, dan Rmaks. Ra adalah nilai rata-rata kekasaran, Rz adalah nilai rata-rata maksimum kekasaran dan Rmaks adalah nilai maksimum kekasaran permukaan. Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui nilai Ra dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$Ra = (a + b + c \dots + n)/n \quad (2.6)$$

Keterangan:

Ra = Kekasaran rata-rata (μm)

a = Nilai Hasil uji Kekasaran 1 (μm)

b = Nilai Hasil uji Kekasaran 2 (μm)

c = Nilai Hasil uji Kekasaran 3 (μm)

n = Jumlah banyaknya data

Pada nilai kekasaran permukaan terdapat beberapa kriteria nilai kualitas (N) yang berbeda, dimana nilai kualitas kekasaran permukaan terkecil dimulai dari N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) $0,025 \mu\text{m}$ dan nilai yang paling tinggi adalah N12 dengan nilai kekasarannya $50 \mu\text{m}$.

Tabel 2.4. Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra (Salbiah, 2021)

Nama Kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi		Panjang Sampel (mm)
			+ 50%	- 20%	
N1	1	0,025	0,02 – 0,04		0,08
N2	2	0,05	0,04 – 0,08		
N3	4	0,0	0,08 – 0,15		0,25
N4	8	0,2	0,15 – 0,3		
N5	16	0,4	0,3 – 0,6		
N6	32	0,8	0,6 – 1,2		
N7	63	1,6	1,2 – 2,4		
N8	125	3,2	2,4 – 4,8		0,8

N9	250	6,3	4,8 – 9,6	
N10	500	12,5	9,6 – 18,75	2,5
N11	1000	25,0	18,75 – 37,5	
N12	2000	50,0	37,5 – 75,0	8

(Sumber: Munadi, 1988)

Tingkat kekasaran rata-rata permukaan hasil pengerjaan masing-masing mesin perkakas tidak sama tergantung proses pengerjaannya, harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil antara 50% keatas dan 20% kebawah. Tabel 2.5 menunjukkan toleransi harga kekasaran rata-rata.

Tabel 2.5. Nilai Kekasaran Permukaan Dihasilkan Berbagai Proses Manufaktur
(Karmin, Dkk. 2013)

<i>Process</i>	<i>Typical Surface Finish</i>	<i>Range of Roughness, (μm)</i>	<i>Process</i>	<i>Typical Surface Finish</i>	<i>Range of Roughness, (μm)</i>
<i>Die Casting</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 2</i>	<i>Turning</i>	<i>Good</i>	<i>0.5 - 6</i>
<i>Investment casting</i>	<i>Good</i>	<i>1.5 – 3</i>	<i>Grinding</i>	<i>Very Good</i>	<i>0.1 – 2</i>
<i>Sand Casting</i>	<i>Poor</i>	<i>12 - 25</i>	<i>Honing</i>	<i>Very Good</i>	<i>0.1 – 1</i>
<i>Cold rolling</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 3</i>	<i>Lapping</i>	<i>Excellent</i>	<i>0.05 – 0.5</i>
<i>Sheet Metal draw</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 3</i>	<i>Polishing</i>	<i>Excellent</i>	<i>0.1 – 0.5</i>
<i>Cold Extrusion</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 3</i>	<i>Superfinishing</i>	<i>Excellent</i>	<i>0.02 – 0.3</i>
<i>Hot rolling</i>	<i>Poor</i>	<i>12 - 25</i>	<i>Chemical Milling</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 5</i>
<i>Boring</i>	<i>Good</i>	<i>0.5 – 6</i>	<i>Electrochemical</i>	<i>Good</i>	<i>0.2 - 2</i>
<i>Drilling</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 6</i>	<i>Electric Discharge</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 15</i>
<i>Milling</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 6</i>	<i>Electron Beam</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 15</i>
<i>Planing</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 12</i>	<i>Laser Beam</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 15</i>
<i>Reaming</i>	<i>Good</i>	<i>1 – 3</i>	<i>Arc Welding</i>	<i>Poor</i>	<i>5 - 25</i>
<i>Shaping</i>	<i>Medium</i>	<i>1.5 – 12</i>	<i>Flame Cutting</i>	<i>Poor</i>	<i>12 -25</i>
<i>Sawing</i>	<i>Poor</i>	<i>3 - 25</i>	<i>Flasma Arc Cutting</i>	<i>Poor</i>	<i>12 – 25</i>

2.9.1 Alat Uji Kekasaran

Ada banyak sekali jenis-jenis pengukuran kekasaran permukaan, salah satunya yang terdapat pada Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya yaitu tipe *Surface Roughness TR200*. Adapun spesifikasi alat *surface roughness TR200* antara lain:



Gambar 2.28 Surface Roughness Tester type TR 200

Tabel 2.6. Spesifikasi *surface roughness TR200* (Setiawan, 2021)

Model	TR200
<i>Roughness Parameters</i>	Ra, Rz, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rv, R3z, RS, RSm, RSk, Rmr
<i>Assessed Profiles</i>	Primary Profile (P)
<i>Model</i>	TR200
<i>Unit</i>	mm, inch
<i>Display Resolution</i>	0,01 μm
<i>Measuring Range</i>	Ra: 0,025-12,5 μm
<i>Cut Off Length</i>	0,25 mm/ 0,8 mm/ 2,5 mm/ Auto
<i>Max. Driving Length</i>	17,5 mm/ 0,7 inch
<i>Min. Driving Length</i>	1,3 mm/ 0,051 inch
<i>Accuracy</i>	$\leq + 10\%$
<i>Power</i>	Li-ion Battery Rechargeable

<i>Dimension (L x W x H)</i>	141 x 56 x 48 mm
<i>Weight</i>	480 gram

(Sumber: ISO 9001)

2.10 Uji ANOVA

Analysis of variance (ANOVA) adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis perbedaan lebih dari 2 populasi kelompok yang *independent*. Anova pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli statistika yang bernama Ronald Fisher. Metode ini banyak digunakan untuk penelitian terutama pada rancangan penelitian yang memiliki implikasi pengambilan keputusan untuk menggunakan teknologi baru, ataupun kebijakan baru. Tujuan analisis varian adalah untuk menempatkan variabel-variabel bebas penting didalam studi dan untuk menentukan bagaimana mereka berinteraksi dan saling mempengaruhi. Peneliti sering menggunakan *analysis of variance* (ANOVA), ketika peneliti ingin mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata lebih dari dua kelompok. Dalam variasi dan di antara masing-masing kelompok dianalisis secara statistik, menghasilkan apa yang dikenal sebagai nilai F. Seperti dalam t-test, nilai F kemudian diperiksa dalam tabel statistik untuk melihat apakah signifikan secara statistik (Rahmawati, 2020). Anova satu jalur hanya ada satu variabel independen, sedangkan pada anova dua jalur ada dua atau lebih variabel independen. Anova dua arah merupakan sebuah uji statistik yang digunakan untuk menentukan pengaruh dua variabel prediktor nominal pada variabel hasil yang berkelanjutan. Uji anova dua arah menunjukkan hasil dua variabel bebas untuk satu variabel terikat. Tujuan dari uji anova dua arah ini adalah untuk melihat apakah berhasil dan berbagai kriteria yang diuji untuk mendapatkan hasil yang diinginkan (Ismail, 2018). Adapun langkah-langkah menghitung ANOVA, yaitu: (Sudjana, 1994 dan Philip J. Ross, 1989)

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.
- b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.
- c) Menentukan hipotesis:

- $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a$ (tidak ada efek terhadap perlakuan)
- $H_1 : b_1 \neq b_j$ (terdapat efek terhadap perlakuan)

d) Menentukan jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.7)$$

e) Menentukan jumlah kuadrat factor A dengan rumus:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.8)$$

f) Menentukan jumlah kuadrat factor B dengan rumus:

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.9)$$

g) Menentukan jumlah kuadrat interaksi factor A, dan B:

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^b \left(\frac{(AxB)_i^2}{n_{AxB_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (2.10)$$

h) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*):

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad (2.11)$$

i) Menentukan derajat kebebasan total:

$$v_T = N - 1 \quad (2.12)$$

j) Menentukan derajat kebebasan faktor (*Main Effect*) A:

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.13)$$

k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*Main Effect*) B:

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.14)$$

l) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B:

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.15)$$

m) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*Pure Error*):

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AxB} \quad (2.16)$$

n) Melengkapi tabel hasil uji kekasaran untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

o) Menentukan taraf signifikansi (α)

p) Menentukan nilai distribusi F_{TABEL}

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.17)$$

q) Jika $F_{HITUNG} (F_0) < F_{TABEL}$, maka hipotesis (H_0) dapat diterima.

r) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.18)$$

Tabel 2.7. ANOVA Table For Select Fatorial Model

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
Overall model	SS_{model}	$(K_A K_B) - 1$	$SS_{model} / (K_A K_B) - 1$	MS_{model} / MS_E
Main Effect of A	SS_A	V_A	SS_A / V_A	MS_A / MS_E
Main Effect of B	SS_B	V_B	SS_B / V_B	MS_B / MS_E
A x B interaction	SS_{AB}	V_{AxB}	SS_{AB} / V_{AxB}	MS_{AB} / MS_E
Error	SS_E	V_e	SS_E / v_e	
Total	SS_{Total}	V_T		