BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesium

Magnesium adalah unsur kedelapan yang paling berlimpah yaitu sekitar 2% dari berat kerak bumi dan merupakan unsur yang paling banyak ketiga terlarut dalam air laut. Magnesium sangat melimpah di alam dan ditemukan dalam bentuk mineral penting didalam bebatuan, seperti *dolomit, magnetit*, dan *olivin*. Magnesium juga ditemukan dalam air laut, air asin bawah tanah dan lapisan asin. Magnesium adalah logam struktural ketiga yang paling melimpah di kerak bumi, hanya dilampaui oleh aluminium dan besi (Mahrudi, 2013).

Aplikasi senyawa Magnesium digunakan sebagai bahan tahan api dalam lapisan dapur api untuk menghasilkan logam (besi dan baja, logam *nonferrous*), kaca, dan semen. Dengan kepadatan hanya dua pertiga dari aluminium, magnesium memiliki banyak aplikasi dalam kasus di mana berat yang ringan sangat penting, yaitu dalam konstruksi pesawat terbang dan rudal. Ia juga memiliki banyak kegunaan kimia dan sifat metalurgi yang baik, sehingga membuatnya sesuai untuk berbagai aplikasi non-struktural lainnya. Magnesium banyak digunakan dalam industri dan pertanian. Kegunaan lain meliputi: penghapusan bentuk belerang besi dan baja, pelat *photoengraved* dalam industri percetakan, mengurangi agen untuk produksi uranium

murni dan logam lainnya dari garamnya, fotografi senter, *flare*, dan kembang api (Andriyansyah, (2013).



Gambar 2.1 Magnesium dan rumus kimianya (Sumber: Wikipedia, 2014)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (alloy) untuk membuat campuran alumunium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium". Magnesium merupakan salah satu jenis logam ringan dengan karakteritik sama dengan aluminium tetapi magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah dari pada aluminium (Anonim, 2014).

Seperti pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oksigen). Perbedaannya dengan aluminium ialah dimana magnesium memiliki permukaan yang keropos yang disebabkan oleh serangan kelembaban udara karena *oxid film* yang terbentuk pada permukaan magnesium ini hanya mampu melindunginya dari udara yang kering. Unsur air dan garam pada kelembaban udara sangat mempengaruhi ketahanan lapisan oxid pada magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi. Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan seperti cat atau meni.

Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*), angka kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan. Magnesium bersifat lembut dengan modulus elastis yang sangat rendah. Magnesium memiliki perbedaan dengan logam-logam lain termasuk dengan aluminium, besi tembaga dan nikel dalam sifat pengerjaannya dimana magnesium memiliki struktur yang berada di dalam kisi *hexagonal* sehingga tidak mudah terjadi slip. Disamping itu, presentase perpanjangannya hanya mencapai 5 % dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas (Andriyansyah, 2013).

2.1.1 Sifat Kimia Magnesium

Adapun sifat magnesium diataranya:

- 1. Magnesium oksida merupakan oksida basa sederhana.
- 2. Reaksi dengan air: $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)^2$
- 3. Reaksi dengan udara: menghasilkan MO dan M₃N₂ jika dipanaskan.

4. Reaksi dengan Hidrogen: tidak bereaksi

5. Reaksi dengan Klor: Mg + $X_2 \rightarrow$ (dipanaskan) \rightarrow Mg X_2 (garam)

2.1.2 Sifat Fisik Magnesium

Daftar keterangan sifat fisik magnesium ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Magnesium

Sifat Fisik	Magnesium Paduan	
Titik cair, K	922 K	
Titik didih, K	1380 K	
Energi ionisasi 1	738 kJ/mol	
Energi ionisasi 11	1450 kJ/mol	
Kerapatan massa (ρ)	1,74 g/cm ³	
Jari-jari atom	1,60 A	
Kapasitas panas	1,02 J/gK	
Potensial ionisasi	7,646 Volt	
Konduktivitas kalor	156 W/mK	
Entalpi penguapan	127,6 kJ/mol	
Entalpi pembentukan	8,95 kJ/mol	

(Sumber: Andriyansyah, 2013)

2.1.3 Sifat Mekanik Magnesium

Rapat massa magnesium adalah 1,738 gram/cm³. Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*). (Yunus, 2012).

2.1.4 Proses Pembuatan Magnesium

Magnesium adalah elemen logam terbanyak ketiga (2%) di kerak bumi setelah besi dan aluminium. Kebanyakan magnesium berasal dari air laut yang mengandung 0,13% magnesium dalam bentuk magnesium klorida. Pertama kali diproduksi pada tahun 1808, logam magnesium bisa didapat dengan cara *electrolitik* atau reduksi termal. Pada metode elektrolisis, air laut dicampur dengan kapur (kalsium hidroksida) dalam tangki pengendapan. Magnesium hidroksida presipitat mengendap, disaring dan dicampur dengan asam klorida. Larutan ini mengalami elektrolisis (seperti yang dilakukan pada aluminium); agar eksploitasi menghasilkan logam magnesium, yang kemudian dituang/dicor menjadi batang logam untuk diproses lebih lanjut ke dalam berbagai bentuk.

Dalam metode reduksi thermal, batuan mineral yang mengandung magnesium (dolomit, magnesit, dan batuan lainnya) dibagi dengan reduktor (seperti ferrosilicon serbuk, sebuah paduan besi dan silikon), dengan memanaskan campuran di dalam ruang vakum. Sebagai hasil reaksi ini, wujud uap dari magnesium, dan uap tersebut mengembun menjadi kristal magnesium. Kristal ini kemudian meleleh, halus, dan

dituang menjadi batang logam untuk diproses lebih lanjut ke dalam berbagai bentuk (Andriyansyah, 2013).

2.1.5 Magnesium Dan Aplikasinya

Magnesium (Mg) adalah logam teknik ringan yang ada, dan memiliki karakteristik meredam getaran yang baik. Paduan ini digunakan dalam aplikasi struktural dan nonstruktural dimana berat sangat diutamakan. Magnesium juga merupakan unsur paduan dalam berbagai jenis logam nonferro. Paduan magnesium khusus digunakan di dalam pesawat terbang dan komponen rudal, peralatan penanganan material, perkakas listrik portabel, tangga, koper, sepeda, barang olahraga, dan komponen ringan umum. Paduan ini tersedia sebagai produk cor/tuang (seperti bingkai kamera) atau sebagai produk tempa (seperti kontruksi dan bentuk balok/batangan, benda tempa, dan gulungan dan lembar plat). Paduan magnesium juga digunakan dalam percetakan dan mesin tekstil untuk meminimalkan gaya inersia dalam komponen berkecepatan tinggi.

Karena tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, magnesium dipaduankan dengan berbagai elemen untuk mendapatkan sifat khusus tertentu, terutama kekuatan untuk rasio berat yang tinggi. Berbagai paduan magnesium memiliki pengecoran, pembentukan, dan karakteristik permesinan yang baik. Karena magnesium mengoksidasi dengan cepat (*pyrophpric*), ada resiko/bahaya kebakaran, dan tindakan pencegahan yang harus diambil ketika proses permesinan, grindling, atau pengecoran

pasir magnesium. Meskipun demikian produk yang terbuat dari magnesium dan paduannnya tidak menimbulkan bahaya kebakaran selama penggunaannya normal.

Sifat-sifat mekanik magnesium terutama memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah. Oleh karena itu magnesium murni tidak dibuat dalam teknik. Paduan magnesium memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik serta banyak digunakan Unsur-unsur paduan dasar magnesium adalah aluminium, seng dan mangan (Lukman, 2008).

Penambahan Al diatas 11%, meningkatkan kekerasan, kuat tarik dan *fluidity* (keenceran) Penambahan seng meningkatkan *ductility* (perpanjangan *relative*) dan *castability* (mampu tuang). Penambahan 0,1 – 0,5 % meningkatkan ketahanan korosi. Penambahan sedikit cerium, zirconium dan baryllium dapat membuat struktur butir yang halus dan meningkatkan *ductility* dan tahan oksidasi pada peningkatan suhu. Berdasarkan hasil analisis terhadap diagram keseimbangan paduan antara magnesium-aluminium dan magnesium-zincum, mengindikasikan bahwa larutan padat dari magnesium-aluminium maupun magnesium zincum dapat meningkat sesuai dengan peningkatan temperaturnya dimana masing-masing berada pada kadar yang sesuai sehingga dapat "*strengthening-heat treatment*" melalui metoda pengendapan. Hanya sedikit kadar "*rare metal*" (logam langka) dapat memberikan pengaruh yang sama kecuali pada silver yang sedikit membantu termasuk pada berbagai jenis logam paduan lain melalui "*ageing*" (Lukman, 2008).

2.1.6 Magnesium paduan tempa (Wrought Alloys)

Magnesium paduan tempa dikelompokkan menurut kadar serta jenis unsur paduannya yaitu :

- a. Magnesium dengan 1,5 % Manganese
- b. Paduan dengan aluminium, Seng serta manganese
- c. Paduan dengan zirconium (paduan jenis ini mengandung kadar seng yang tinggi sehingga dapat dilakukan proses perlakuan panas.
- d. Paduan dengan Seng, zirconium dan thorium (*creep resisting-alloys*)

2.1.7 Penandaan paduan magnesium

Paduan Magnesium ditetapkan sebagai berikut:

- a. Satu atau dua huruf awalan, menunjukkan elemen paduan utama.
- b. Dua atau tiga angka, menunjukkan persentase unsur paduan utama dan dibulatkan ke desimal terdekat.
- c. Huruf abjad (kecuali huruf I dan O) menunjukkan standar paduan dengan variasi kecil dalam komposisi.
- d. Simbol untuk sifat material, mengikuti sistem yang digunakan untuk paduan aluminium.
- e. Sebagai contoh, ambil paduan AZ91C-T6:
 - Unsur-unsur paduan utama adalah aluminium (A sebesar 9%, dibulatkan) dan seng (Z sebesar 1%).

- 2. Huruf C, huruf ketiga dari alfabet, menunjukkan bahwa paduan ini adalah yang ketiga dari satu standar (kemudian dari A dan B, yang merupakan paduan pertama dan kedua yang standar, berturut-turut).
- 3. T6 paduan menunjukkan bahwa larutan ini telah direaksikan dan masa artifiasial.

2.1.8 Magnesium paduan Cor (Cast Alloys)

Paduan ini dapat dikelompokan kedalam:

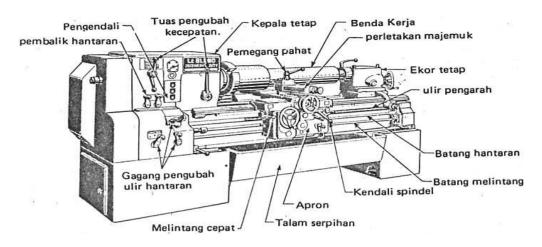
- a. Paduan dengan aluminium, zincum dan manganese. Paduan cor ini merupakan paduan yang yang bersifat "heat treatable alloys".
- b. Paduan dengan zirconium, zicum dan thorium, paduan dengan unsure zirconium dan thorium paduan cor yang bersifat *heat treatable* dan *creep resisting*.
- c. Paduan dengan zirconium dengan *rare earth metal* serta *Silver* merupakan paduan cor yang dapat di-*heat treatment*.
- d. Paduan dengan zirconium, beberapa dari paduan cor ini dapat di-*heat treatment*. (digilib.its.ac.id)

2.2 Proses Bubut (turning)

Mesin bubut dapat digunakan untuk memproduksi material berbentuk konis maupun silindrik. Jenis mesin bubut yang paling umum adalah mesin bubut (*lathe*) yang melepas bahan dengan memutar benda kerja terhadap pemotong mata tunggal.

Pada proses bubut benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang di ujung poros utama spindel. Dengan mengatur lengan pengatur yang terdapat pada kepala diam, putaran poros utama (n) dapat dipilih sesuai dengan spesifikasi pahat yang dipilih. Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya: 83, 155, 275, 550, 1020 dan 1800 rpm. Pada mesin bubut gerak potong dilakukan oleh benda kerja yang melakukan gerak rotasi sedangkan gerak makan dilakukan oleh pahat yang melakukan gerak translasi. Pahat dipasangkan pada dudukan pahat dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter) dengan demikian kedalaman gerak translasi dan gerak makannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan.

Mesin bubut beserta bagian bagiannya dapat kita lihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Komponen utama mesin bubut (Yusman, 2011)

Keterangan gambar:

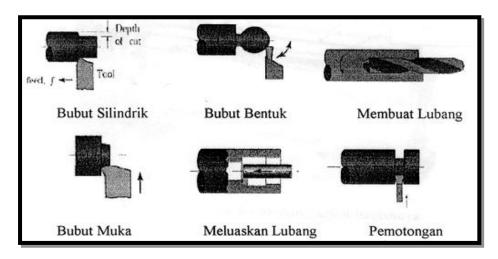
- 1. Kepala tetap (*headstock*), terdiri atas unit penggerak, digunakan untuk memutar spindel yang memutar bendakerja.
- 2. Ekor tetap (*tailstock*), terletak bersebrangan dengan kepala tetap, yang digunakan untuk menopang bendakerja pada ujung yang lain.
- 3. Pemegang pahat (*tool post*), ditempatkan di atas peluncur lintang (*cross slide*) yang dirakit dengan pembawa (*carriage*).
- 4. Peluncur lintang, berfungsi untuk menghantarkan pahat dalam arah yang tegak lurus dengan gerakan pembawa.
- 5. Pembawa, dapat meluncur sepanjang batang hantaran (*ways*) untuk menghantarkan perkakas dalam arah yang sejajar dengan sumbu putar.
- 6. Batang hantaran, merupakan rel tempat meluncurnya pembawa, dibuat dengan akurasi kesejajaran yang relatif tinggi dengan sumbu spindel.
- 7. Ulir pengarah (*leadscrew*), berfungsi untuk menggerakkan pembawa. Ulir berputar dengan kecepatan tertentu sehingga dihasilkan hantaran dengan kecepatan sesuai dengan yang diinginkan.
- 8. Bangku (bed), berfungsi untuk menyangga komponen-komponen yang lainnya.

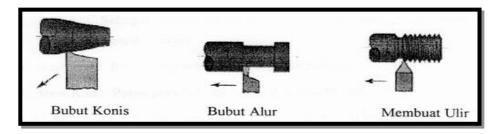
Mesin bubut konvensional dan kebanyakan mesin-mesin lainnya yang dijelaskan pada bagian ini adalah mesin bubut horisontal yang memiliki sumbu spindel horisontal, dimana panjang bendakerja lebih besar dari pada diameternya. Untuk

pekerjaan dengan diameter bendakerja lebih besar daripada panjangnya, lebih sesuai digunakan mesin dengan sumbu putar vertical (Helmy and El-hoffy, 2008).

2.2.1 Jenis Operasi Bubut

Berdasarkan posisi benda kerja yang ingin dibuat pada mesin bubut, ada beberapa proses bubut yaitu: Pembubutan silindris (*turning*), Pengerjaan tepi / bubut muka (*facing*), Bubut Alur (*grooving*), Bubut Ulir (*threading*), Pemotongan (*Cut-off*), Meluaskan lubang (*boring*), Bubut bentuk (*Forming*), Bubut inti (*trepanning*), Bubut konis.





Gambar 2.3 Proses pada mesin bubut

(sumber : degeshouse.blogspot.com)

2.2.2 Elemen Dasar Proses Bubut

Elemen dasar pada mesin bubut terbagi atas :

a) Kecepatan potong (Cutting speed)

Kecepatan potong adalah proses yang didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik lingkaran pada pahat potong dalam satu menit. Kecepatan putar (speed), selalu dihubungkan dengan su,bu utama (spindle) dan benda kerja. Secara sederhana kecepatan potong diasumsikan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar. Kecepatan potong biasanya dinyatakan dalam unit satuan m/menit (Widarto, 2008). Kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja dan putaran poros utama. Dinyatakan dengan rumus:

$$V_c = \frac{\pi . d.n}{1000}$$
 m/min(2.1)

b) Waktu pemotongan (depth of cut)

Gerak makan (feeding) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali sehingga satuan f adalah mm/rev. Gerak makan pula ditentukan oleh kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bntuk pahat, dan terutama kehalusan yang diinginkan. Sehingga kecepatan makan didefinisikan sebagai jarak dari pergerakan pahat potong sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari spindle (Widarto,2008). Dinyatakan dengan rumus:

$$t_c = l_t / V_f; min \qquad (2.2)$$

c) Waktu pmotonga (deph of cut)

Waktu pemotongan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk (Rochim,1993). Dinyatakan dengan rumus :

d) Kedalaman potong (cutting time)

Kedalaman potong didefinisikan sebagai kedalaman gram yang dihasilkan oleh pahat potong. Dalam pembubutan dasar, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi mesin, tipe pahat yang digunakan, dan ketermesinan dari benda kerja (Rochim,2008). Dinyatakan dalam rumus:

$$a = (d_m - d_o) / 2$$
; mm(2.4)

e) Kecepatan penghasilan geram (rate of metal removal)

Geram adalah potongan dari material yang terlpas dari benda kerja oleh pahat potong.

Sudut potong utama (K_r , *Principal cutting edge angle*) merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan V_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b, width of cut) dan tebal geram sebelum terpotong (h, undeformed chip thickness) sebagai berikut:

- a. Lebar periotongan: $b = a / \sin K_r$; mm
- b. Tebal geram sebelum terpotong: $h = f \sin K_r$; mm

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = f.a = b.h; mm^2$$
(2.6)

Tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram setelah terpotong (h_c, *chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_0), kecepatan potong dan material benda kerja.

2.3 Pemesinan Magnesium

Ada dua perhatian utama dalam pemesinan magnesium yaitu resiko kebakaran dan pembentukan *Built-up Edge* (BUE). Magnesium terbakar jika dipanaskan sampai suhu lelehnya. Dalam pemesinan magnesium, api sangat mungkin terjadi jika geram tipis atau halus dengan perbandingan luas permukaan terhadap volume yang tinggi dihasilkan dan dibiarkan menumpuk. Sumber penyalaan mungkin juga pemanasan gesekan disebabkan

pahat tumpul, rusak, diasah secara salah atau dibiarkan berhenti sebentar pada akhir pemotongan. Untuk meminimumkan resiko kebakaran, praktek-praktek berikut harus diperhatikan:

- a. Pahat yang tajam dengan sudut relief sebesar mungkin.
- b. Kecepatan makan yang besar harus digunakan.
- c. Secepatnya pahat dijauhkan dari benda kerja jika pemotongan berakhir
- d. Geram-geram harus sering dikumpulkan dan dibuang.
- Menggunakan pendingin yang tepat pada pemesinan kecepatan makan dan kedalaman potong sangat kecil.

Karena geram magnesium bereaksi dengan air dan membentuk magnesium hidroksida dan gas hidrogen bebas, pendingin berbasis air harus dihindarkan. Praktek yang diterima adalah pemotongan kering bila mungkin dan menggunakan pendingin minyak mineral bila perlu. Pemesinan kering komponen magnesium dalam volume besar menimbulkan masalah pemeliharaan kebersihan terutama untuk proses gurdi dan pengetapan yang menghasilkan geram halus.

Sekarang ini pendingin berbasis air yang menghasilkan sedikit hidrogen ketika bereaksi dengan magnesium telah digunakan dalam produksi. Dilaporkan juga pendingin ini dapat meningkatkan umur pahat dan mengurangi resiko kebakaran dibandingkan pemesinan kering. Namun masalah pembuangan limbah cairan pendingin tetap menjadi masalah. Bila dibuang begitu saja jelas dapat mencemari lingkungan. Sebaliknya bila limbah diolah sebelum dibuang jelas akan memerlukan biaya yang cukup besar (Chemical, 1982).

Pembentukan BUE diamati ketika pemesinan kering paduan magnesium-aluminium cor dengan pahat Baja Kecepatan Tinggi (HSS) atau Karbida. Pembentukan BUE dapat dikurangi atau dihilangkan dengan pemakaian pendingin minyak mineral atau penggantian dengan pahat intan. Jelas pemakaian pendingin minyak mineral akan mencemari lingkungan sedangkan pemakaian pahat intan akan menaikkan biaya produksi (Videm dkk, 1994; Tomac dan Tonnessen, 1991).

2.3.1 Penyalaan Paduan Magnesium

Telah diketahui bahwa penyalaan (*ignition*) dimulai dengan pembentukan "bunga kol" oksida dan terjadinya api pada permukaan paduan (Hongjin dkk, 2008). Berbagai prosedur telah dikembangkan pada masa lalu untuk menyelidiki perilaku penyalaan paduan magnesium. Prosedur-prosedur ini berbeda terutama mengenai metoda pemanasan dan definisi suhu penyalaan, *T* (Blandin, 2004).

Dua definisi penyalaan diusulkan, bersesuaian dengan suhu terendah ketika nyala terlihat atau pada suhu dimana reaksi oksida eksotermik berkelanjutan pada kelajuan yang menyebabkan peningkatan suhu signifikan. Karena kaitan kuat antara penyalaan dan oksidasi, usaha-usaha telah dibuat pada masa lalu untuk mempelajari oksidasi magnesium pada suhu tinggi (Blandin, 2004).

Suhu penyalaan magnesium pada tekanan atmosfir sedikit dibawah titik cairnya yaitu 623°C. Pada tekanan 500 Psi, suhu penyalaan mendekati titik cairnya yaitu 650°C. Titik nyala sejumlah paduan magnesium dengan logam lain telah diselidiki, suhu penyalaan berkisar antara 500°C sampai 600°C. Semata-mata bersentuhan dengan

beberapa logam lain juga mengubah suhu penyalaan magnesium. Bersentuhan dengan nikel, kuningan dan alumunium memperendah suhu penyalaan, sedangkan bersentuhan dengan baja dan perak tidak mempengaruhinya (White & Ward, 1966).

Magnesium masih menunjukkan akan menyala di udara pada suhu yang sama sebagaimana nyala dalam oksigen. Serbuk magnesium di udara menyala pada suhu 620°C. Penyelidikan lain menunjukkan bahwa kepadatan partikel-partikel mempengaruhi suhu penyalaan. Partikel-partikel yang kurang padat memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk menyala berkisar antara 700°C sampai 800°C jauh diatas titik cair. Suhu nyala serbuk dalam oksigen adalah sama kisaran sebagaimana udara. Namun kajian impak menunjukkan magnesium sensitif terhadap perubahan beban atau tumbukkan massa (White & Ward, 1966).

2.4 Kekasaran Permukaan

Hasil proses produksi yang terkait dengan proses permesinan ditentukan oleh kondisi penyayatan/pemotongan. Untuk itu *F.W.Taylor* seorang peneliti dibidang operasi mesin perkakas pada awal abad 19 telah melakukan eksperimen selama 26 tahun yang menghasilkan lebih dari 30.000 eksperimen dan menghasilkan 400 ton geram (Jerard, dkk, 2001). Tujuan utamanya adalah menghasilkan solusi sederhana tentang permasalahan dalam menentukan kondisi pemotongan yang aman dan efesien. Yang dan Chen (2001), menggunakan metode *Taguchi* untuk merancang prosedur sistematis agar diperoleh parameter yang menghasilkan performa pemesinan optimal serta proses kendali mutu operasi mesin frais. Mesin yang digunakan Fadal VMC-14

Vertical Milling dengan pahat HSS empat flute dan bahan ujinya jenis Alumunium 6061. Parameter optimum yang dihasilkan berupa depth of cut 0,2 inch, spindle speed 5000 rpm, feed rate 10 inch/menit dan tool diameter 0,75 inch dengan interval keyakinan 95 % serta rata-rata kekasaran permukaan 23 μinch. Lebih efisien pada topik operasi surface finish.

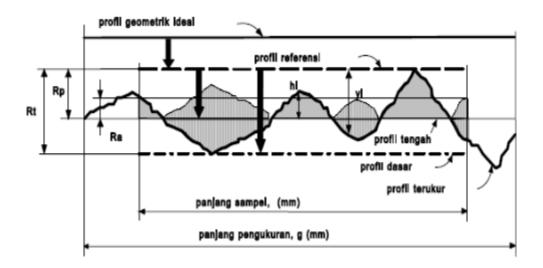
Lou, dkk (1998) membuat prediksi atas kekasaran permukaan alumunium 6061. Mesin yang digunakan Fadal *CNC End Milling*, hasil prediksinya benda pada akurasi 90,29% untuk *training data* dan 90,03 % untuk *testing data*. Ditinjau dari parameter pemesinan, diketahui lewat uji statistik bahwa *feed rate* memegang peranan penting dalam menghasilkan kekasaran permukaan pada operasi *endmilling* yang diteliti. *Taylor* percaya bahwa solusi tersebut secara empiris dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari setengah menit oleh mekanik/operator yang handal lewat pengalaman mereka. Permasalahannya adalah para mekanik/operator yang handal tersebut mengalami kesulitan dalam penularan pengetahuannya secara sistematis kepada mekanik/operator yang lain.

Hingga saat ini kebanyakan mekanik/operator ketika mengoperasikan mesinmesin perkakas seringkali hanya menggunakan *trial and error* dalam memilih
besaran *cutting speed, feed rate* dan *depth of cut*, padahal besaran-besaran tersebut
sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pemesinan serta produktifitas. Dengan
demikian perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa parameter kekasaran
permukaan dalam pemesinan alumunium, magnesium, dan bahan-bahan lainnya.

Permukaan adalah batas yang memisahkan antara benda padat dengan sekelilingnya. Jika ditinjau skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan merupakan suatu karakteristik geometri golongan mikrogeometri, yang termasuk golongan makrogeometri adalah merupakan permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik, misalnya permukaan lubang, permukaan poros, permukaan sisi dan lain-lain yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk dan posisi (*Chang- Xue* , 2002).

Kekasaran permukaan dibedakan menjadi dua bentuk, diantaranya:

- 1. *Ideal Surface Roughness*, yaitu : kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.
- 2. *Natural Surface Roughness*, yaitu : kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi proses permesinan diantaranya :
 - a. Keahlian operator,
 - b. Getaran yang terjadi pada mesin,
 - c. Ketidakteraturan feed mechanisme,
 - d. Adanya cacat pada material,



Gambar 2.4 Profil kekasaran permukaan (Saputro, dkk. 2014)

Profil kekasaran permukaan terdiri dari:

- a. Profil geometrik 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 Profil tengah adalah profil yang digeserkan ke bawah 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.

Berdasarkan profil-profil di gambar 2.12 di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

- Kekasaran total (peak to valley height/total height), Rt(μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- 2. Kekasaran perataan (depth of surface smoothness/peak to mean line), Rp (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
- Kekasaran rata-rata aritmetik (mean roughness index/center line average, CLA),
 Ra(μm) adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = 1 \ l \int hi \ 2 \ x \ dx \ 1 \ 0 \ (\mu m)$$
(2.7)

4. Kekasaran rata-rata kuadratik (root mean square height), Rq(μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Rq = \sqrt{1} \, l \int hi \, 2 \, dx \, l \, 0$$
(2.8)

5. Kekasaran total rata-rata, Rz(μm) merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$Rz = \sum [R1 + R2 + \dots + R5 - R6 \dots R105]$$
(2.9)

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (Ra). Harga Ra lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Toleransi harga Ra, seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Harga toleransi kekasaran Ra ditunjukkan pada tabel 2.2.

Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra 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 2.3 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.2 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra (Saputro,dkk. 2014)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi N+20%	Panjang sampel (mm)
N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7	1 2 4 8 16 32 63 125	0.0025 0.05 0.0 0.2 0.4 0.8 1.6 3.2	0.02 - 0.04 0.04 - 0.08 0.08 - 0.15 0.15 - 0.3 0.3 - 0.6 0.6 - 1.2 1.2 - 2.4 2.4 - 4.8	0.08 0.25
N9	250	6.3	2.4 - 4.8 4.8 - 9.6	0.8
N10 N11	500 1000	12.5 25.0	9.6 – 18.75 18.75 – 37.5	2.5
N12	2000	50.0	37.5 - 75.0	8

Tabel 2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut pross pengerjaannya (Saputro,dkk.2014)

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga R _a
Flat and cylindrical lapping,	$N_1 - N_4$	0.025 - 0.2
Superfinishing Diamond turning	$N_1 - N_6$	0.025 - 0.8
Flat cylindrical grinding	$N_1 - N_8$	0.025 - 3.2
Finishing	$N_4 - N_8$	0.1 – 3.2
Face and cylindrical turning, milling and	$N_5 - N_{12}$	0.4 - 50.0
reaming		
Drilling	$N_7 - N_{10}$	1.6 - 12.5
Shapping, planning, horizontal milling	$N_6 - N_{12}$	0.8 - 50.0
Sandcasting and forging	$N_{10} - N_{11}$	12.5 – 25.0
Extruding, cold rolling, drawing	$N_6 - N_8$	0.8 - 3.2
Die casting	$N_6 - N_7$	0.8- 1.6

2.5 Pemesinan Kering

Pada umumnya pemesinan untuk memfabrikasi komponen-komponen mesin dilakukan dengan metode pemesinan basah (wet machining) (Sreejith & Ngoi, 2000). Pada metode ini sejumlah cairan pemotongan dialirkan ke kawasan pemotongan selama proses pemesinan dengan tujuan menurunkan suhu pemotongan dan melumasi bagian-bagian pemesinan sehingga diharapkan permukaan pemesinan memiliki suatu keutuhan permukaan (surface integrity) yang baik.

Fenomena kegagalan pahat dan penggunaan cairan pemotongan merupakan salah satu masalah yang telah banyak dikaji dan mendapat perhatian dalam kaitannya yang sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pengerjaan, ketelitian geometri produk dan mekanisme keausan pahat serta umur pahat (Ginting, 2003).

Sreejith & Ngoi (2000) melaporkan bahwa umumnya cairan pemotongan bekas disimpan dalam kontainer dan kemudian ditimbun di tanah. Selain itu, masih banyak praktikan yang membuang cairan pemotongan bekas langsung ke alam bebas. Hal ini jelas akan merusak lingkungan dan undang – undang lingkungan hidup yang berlaku. Menurut Seco (2004), badan administrasi keamanan dan kesehatan telah merekomendasikan batas unsur-unsur berbahaya pada cairan pemotongan untuk pemesinan yaitu 0,5 : 5,0 mg/m³ dan *Metalworking fluid Standard Advisory Committee* (MWFSAC) merekomendasikan sebesar 0.5 mg/m³ (Canter, 2003). Oleh karena itu pemesinan laju tinggi perlu di perhatikan dengan menggunakan pemesinan kering, Pemesinan kering di akui mampu mengatasi masalah pada dampak yang telah di uraikan diatas.

Pilihan alternatif dari pemesinan basah adalah pemesinan kering, karena selain tidak ada cairan pemotongan bekas dalam jumlah besar yang akan mencemari lingkungan juga tidak ada kabut partikel cairan pemotongan yang akan membahayakan operator dan juga serpihan pemotongan tidak terkontaminasi oleh residu cairan pemotongan. Pemesinan kering mempunyai beberapa masalah yang antara lain, gesekan antara permukaan benda kerja dan pahat potong, kecepatan keluar geram, serta temperatur potong yang tinggi dan hal tersebut semuanya terkait dengan parameter pemesinan.

Secara umum industri pemesinan pemotongan logam melakukan pemesinan kering adalah untuk menghindari pengaruh buruk akibat cairan pemotongan yang dihasilkan oleh pemesinan basah. Argumen ini secara khusus didukung oleh

penelitian yang telah dilakukan Mukun et. al. (1995) secara kuantitatif menyangkut pengaruh buruk pemesinan basah dengan anggapan pada pemesinan kering tidak akan dihasilkan pencemaran lingkungan kerja dan ini berarti tidak menghasilkan kabut partikel cairan pemotongan. Dari pertimbangan hal diatas pakar pemesinan mencoba mencari solusi dengan suatu metode pemotongan alternatif dan mereka merumuskan bahwa pemesinan kering (dry cutting) yang dari sudut pandang ekologi disebut dengan pemesinan hijau (green machining) merupakan jalan keluar dari masalah tersebut. Melalui pemesinan kering diharapkan agar selain aman bagi lingkungan, juga akan mengurangi ongkos produksi.

2.6 Rotary Cutting Tool

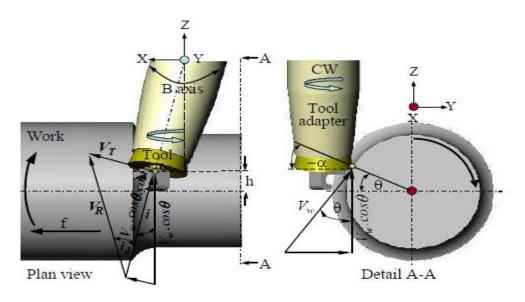
Selama proses pembubutan berlangsung, pahat diam dapat mengalami kegagalan dari fungsinya karena beberapa sebab antara lain : (Rochim, 1993)

- a. Keausan yang secara bertahap memperbesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat.
- b. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat.
- c. Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk / geometri pahat.

Jenis kerusakan yang terakhir diatas jelas disebabkan oleh penggunaan parameter pemotongan yang tinggi sehingga menimbulkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersamaan dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang utama pahat dikarnakan naiknya tekanan temperatur tersebut akan lebih cepat mengurangi

umur pakai dari pahat diam yang menyebab kan tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan akan tinggi.

Salah satu metode untuk menurunkan suhu pemotongan serta untuk meningkatkan produktivitas pemesinan adalah dengan menggunakan pahat potong berputar (rotary cutting tool) dalam proses pemesinan bubut (Harun et al., 2009). Gambar 2.6 mengilustrasikan prinsip dari proses pemesinan ini. Seperti terlihat pada gambar, dalam metode pemotongan ini, dengan pahat potong yang berputar maka mata pisau (cutting edge) akan mengalami proses pendingginan selama periode tanpa pemotongan (non cutting period) dalam satu putaran pahat potong.



Gambar 2.5 Ilustrasi pemesinan bubut menggunakan pahat potong berputar (Harun, 2009)

Hal ini diharapkan bahwa suhu pahat potong akan menurun dibandingkan dengan proses pemesinan bubut konvensional (pahat potong diam). Selain itu juga diharapkan bahwa proses pemesinan dengan pahat berputar ini dapat menghasilkan tingkat kekasaran

yang rendah pada permukaan benda kerja serta dapat digunakan untuk pemotongan kecepatan tinggi (high speed cutting) untuk material Magnesium (Magnesium Alloy) dan material yang sulit dipotong (difficult to-cut materials) seperti paduan Nikel (Nickel Alloy), paduan Titanium (Titanium Alloy).