

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Magnesium dan Paduan Magnesium

Magnesium berasal dari kata Yunani untuk sebuah kabupaten di Thessaly yang disebut Magnesia. Hal ini terkait pula dengan magnetit dan mangan yang juga berasal dari daerah sekitar Magnesia. Magnesium pula termasuk dalam golongan logam alkali tanah dan juga merupakan unsur kedelapan yang melimpah di kerak bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah sering digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang biasa disebut "*magnalium*" atau "*magnelium*" (Anonim, 2013).

Magnesium merupakan salah satu unsur kimia dengan simbol Mg dan nomor atom 12. Bilangan oksidasi umumnya ada lah +2, dan memiliki massa atom 24,31. Magnesium memiliki densitas atau rapat masa sebesar 1.738 g.cm^{-3} , titik lebur sekitar $923 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ($650 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $1202 \text{ }^{\circ}\text{F}$), titik didih $1363 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ($1090 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $1994 \text{ }^{\circ}\text{F}$). Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm^2 dalam bentuk hasil pengecoran (*casting*). Magnesium murni mempunyai ciri fisik berwarna putih keperakan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

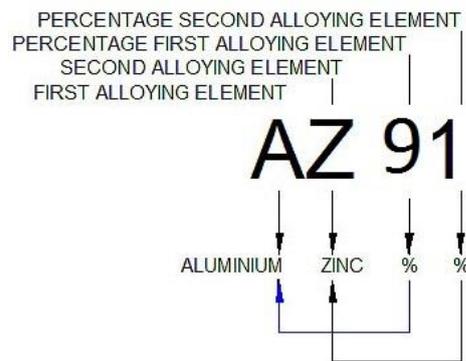


Gambar 1. Magnesium murni (Sumber : Anonim, 2013)

Magnesium dapat ditemui di alam dalam bentuk magnesit sebagai senyawa magnesium karbonat (MgCO_3), *brucite* sebagai senyawa magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), *carnalite* sebagai senyawa garam magnesium klorida (MgCl_2), *serpentin* sebagai senyawa magnesium silikat (MgSiO_3), dan pada air laut sebagai senyawa magnesium klorida. Walaupun tidak pernah ditemui dalam bentuk logam murni tetapi magnesium dapat didapatkan dengan cara reduksi temal atau pun dengan pembuatan komersial secara elektrolisis. Magnesium memiliki permukaan yang keropos akibat serangan dari kelembapan udara karena oxid film yang terbentuk pada permukaan magnesium ini hanya mampu melindunginya dari udara yang kering. Unsur air dan garam pada kelembapan 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 (Hadi, 2008).

Paduan magnesium sering digunakan terutama untuk bahan yang memerlukan massa yang ringan namun juga tetap memiliki kekuatan yang baik. Magnesium

biasa dicampur dengan bahan lain seperti aluminium, mangan, dan juga zinc untuk meningkatkan sifat fisik, namun dengan beberapa persentase yang berbeda. AZ91 merupakan salah satu contoh paduan magnesium dengan aluminium dan zinc dimana persentase dari masing-masing paduan sekitar 9% dan 1%. Seperti pada penggunaan paduan magnesium dengan material yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penamaan paduan magnesium (Sumber : Buldum, 2011)

Berikut pula diberikan daftar mengenai keterangan mengenai penamaan magnesium dengan beberapa material lain.

Tabel 1 Komposisi magnesium pada paduan magnesium (Sumber : Buldum, 2011)

Paduan	Pembuatan	Al	Zn	Mn	Si	RE	Zn	Th
AM60A	CD	6		>0,13				
AZ31B	WB+WS	3	1	0,3				
AS41A	CD	4		0,3	1			
AZ80A	WB	8	0,5	0,2				
AZ91B	CD	9	0,7	>0,13				
AZ91D**	CD	9	0,7	0,2				
EZ33A	CS		3			3	0,8	
HK31A	WS						0,7	3

*CS-sand casting, CP-permanent mold casting, CD-die casting, WS- sheet or plate, WB-bar,rod,shape,tube or wire **High-purity alloys

Penggunaan campuran magnesium dengan bahan lain pada aplikasi otomotif seperti pada pembuatan komponen kendaraan bermobil, pesawat terbang dan

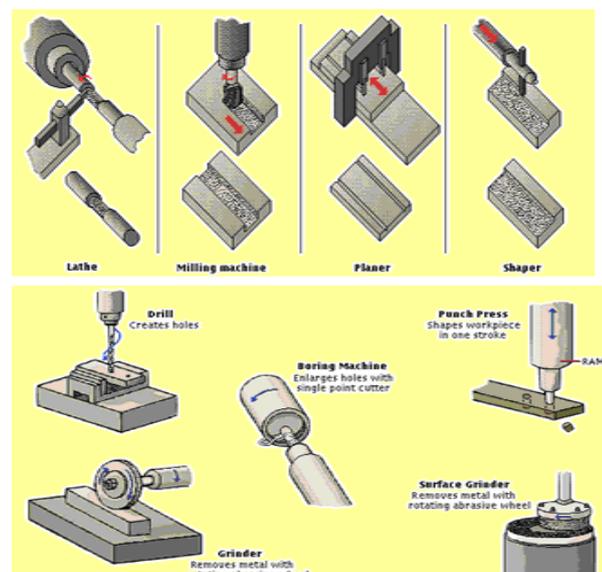
hardware komputer sering digunakan karena memiliki kekuatan spesifik yang tinggi. Paduan magnesium dengan Seri AZ dan AM (AZ91D, AM50A, dan AM60B) merupakan kombinasi paduan terbaik untuk beberapa aplikasi otomotif karena paduan magnesium pula dapat memperbaiki sifat mekanik, ketahanan terhadap korosi dan mampu cor dengan baik (Buldum, 2011).

Paduan magnesium mempunyai kelebihan dan kelemahan. Paduan magnesium mempunyai kelebihan yaitu paduan magnesium memiliki masa jenis terendah dibanding material struktur lain. Mampu cor yang baik sehingga cocok untuk dilakukan pengecoran bertekanan tinggi. Karena memiliki sifat yang ringan dan lunak, maka paduan magnesium dapat dilakukan proses pemesinan pada kecepatan tinggi. Dibanding dengan material polymer, magnesium memiliki sifat mekanik yang lebih baik, tahan terhadap penuaan, sifat konduktor listrik dan panas yang lebih baik dan juga dapat didaur ulang. Namun dibalik kelebihan yang dimiliki, paduan magnesium juga memiliki kelemahan yaitu modulus elastisitas yang rendah, terbatasnya ketahanan mulur dan kekuatan pada suhu tinggi dan reaktif pada beberapa senyawa.

B. Pemesinan

Pemesinan adalah suatu proses produksi dengan menggunakan mesin perkakas, dimana memanfaatkan gerakan relatif antara pahat dengan benda kerja sehingga menghasilkan suatu produk sesuai dengan hasil geometri yang diinginkan. Pada proses ini tentu terdapat sisa dari pengerjaan produk yang biasa disebut geram. Pahat dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tool*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple*

point cutting tool). Pahat dapat melakukan gerak potong (*cutting*) dan gerak makan (*feeding*). Proses pemesinan dapat diklasifikasikan dalam dua klasifikasi besar yaitu proses pemesinan untuk membentuk benda kerja silindris atau konis dengan benda kerja atau pahat berputar, dan proses pemesinan untuk membentuk benda kerja permukaan datar tanpa memutar benda kerja. Klasifikasi yang pertama meliputi proses bubut dan variasi proses yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, mesin gurdi (*drilling machine*), mesin frais (*milling machine*), mesin gerinda (*grinding machine*). Klasifikasi kedua meliputi proses sekrap (*shaping, planing*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*), dan proses pemotongan roda gigi (*gear cutting*) (Widarto, 2008).



Gambar 3. Beberapa proses pemesinan : Bubut (*Turning/Lathe*),Frais (*Milling*), Sekrap(*Planning, Shaping*), Gurdi(*Drilling*), Gerinda(*Grinding*), Bor (*Boring*),Pelubang (*Punching Press*), Gerinda Permukaan(*Surface Grinding*).
(Sumber : Widarto, 2008)

Manufaktur dengan pemisahan beberapa bagian bahan dikenal sebagai pemesinan. Material dalam bentuk chip dipisahkan dari bahan benda kerja secara mekanik, menggunakan satu (bubut), dua (milling), atau beberapa

(pengikisan) mata potong. Jumlah pemotongan tepi, bentuk lekuk mata potong, dan posisi pemakanan untuk benda kerja diketahui pada Gambar 3.

1. Mesin bubut dan proses bubut

Mesin bubut seperti yang tertara pada Gambar 4 merupakan salah satu mesin perkakas yang menggunakan prinsip dimana proses pemesinan dilakukan dengan cara menghilangkan beberapa bagian dari benda kerja untuk memperoleh bentuk geometri tertentu.



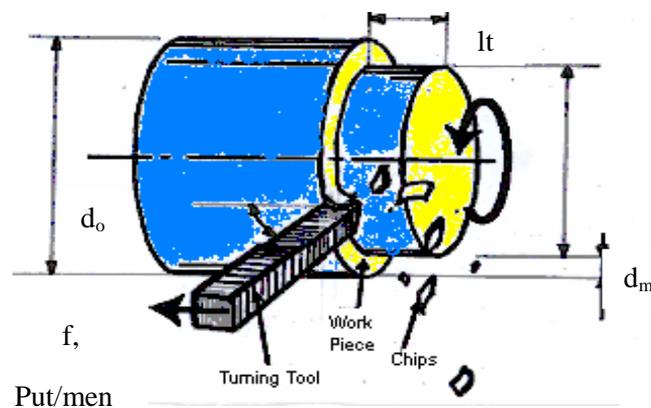
Gambar 4. Mesin bubut

Mesin bubut mempunyai gerak utama berputar pada benda kerja yang dicekam pada poros spindel dan pahat yang ditempatkan sedemikian rupa dengan posisi kaku sehingga gerakan benda kerja terhadap pahat mampu mengubah bentuk dan ukuran benda dengan jalan menyayat benda tersebut dengan menggunakan pahat penyayat, posisi benda kerja berputar sesuai dengan sumbu mesin dan pahat bergerak kekanan dan kekiri searah sumbu mesin bubut menyayat benda kerja tersebut.

Proses bubut sesuai dengan definisi *ASM International* adalah proses pemesinan konvensional untuk membentuk permukaan yang dilakukan oleh pahat terhadap benda kerja yang berputar, penggunaan ini dirancang untuk memotong bagian material yang tidak diinginkan sehingga benda kerja mencapai dimensi, toleransi dan tingkat penyelesaian yang sesuai dengan rancangan teknisnya. Selain itu juga fungsi mesin bubut adalah membentuk benda kerja sesuai dengan spesifikasi geometri yang ditentukan, biasanya berpenampang silinder dan umumnya terbuat dari bahan logam, sesuai bentuk dan ukuran yang diinginkan dengan cara memotong atau membuang (*removal*) bagian dari benda kerja menjadi geram dengan menggunakan pahat potong yang jenisnya lebih keras dari benda kerja yang dipotong (Rochim, 1993).

2. Parameter proses bubut

Ada beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan pada proses pemesinan, terutama pada proses bubut. Dengan menggunakan persamaan berikut kita dapat menentukan beberapa parameter utama dan Gambar 5 menunjukkan skema proses bubut.



Gambar 5. Gambar skematis proses bubut
(Sumber :Widarto, 2008)

Keterangan :

Benda kerja :

d_o = diameter mula (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemotongan (mm)

mesin bubut :

a = kedalaman potong (mm)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran poros utama (putaran/menit)

a. Kecepatan potong

Kecepatan potong untuk proses bubut dapat didefinisikan sebagai kerja rata-rata pada sebuah titik lingkaran pada pahat potong dalam satu menit.

Kecepatan putar (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu 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 dan putaran poros utama.

$$v = \frac{\pi d n}{1000} ; \text{m/menit} \quad (1)$$

b. Kecepatan makan

Gerak makan, f (*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, bentuk pahat, dan terutama kehalusan yang diinginkan. Sehingga kecepatan makan didefinisikan sebagai jarak dari pergerakan pahat potong sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari spindel (Widarto, 1998).

$$v_f = f.n \quad ; \text{ mm/menit} \quad (2)$$

c. Waktu pemotongan

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

$$t_c = \frac{lt}{vf} \quad ; \text{ menit} \quad (3)$$

d. Kedalaman potong

Kedalaman potong didefinisikan sebagai kedalaman geram yang diambil oleh pahat potong. Dalam pembubutan kasar, kedalaman potong maksimum tergantung pada kondisi dari mesin, tipe pahat potong yang digunakan, dan ketermesinan dari benda kerja (Rochim,1993). Rumus kedalaman potong adalah:

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \quad ; \text{ mm} \quad (4)$$

e. Kecepatan penghasilan geram

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

$$Z = A.V \quad ; \text{ cm}^3/\text{menit} \quad (5)$$

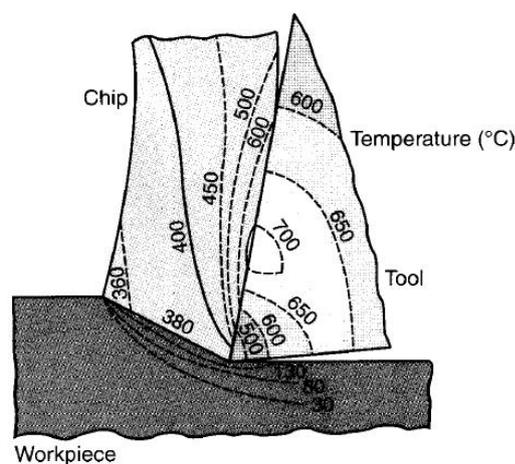
$$A = a.f \text{ (mm)}$$

C. Suhu pemesinan

ada beberapa suhu penting dalam pemotongan logam. suhu bidang geser sangat penting pengaruhnya terhadap tegangan alir dan karena itu memiliki

pengaruh besar terhadap suhu pada muka pahat dan pada permukaan sayatan. suhu pada muka alat juga memainkan peran utama relatif terhadap ukuran dan stabilitas Built-up Edge (BUE) tersebut. Suhu lingkungan kerja mendekati zona pemotongan juga penting karena secara langsung mempengaruhi suhu pada bidang geser, muka pahat dan permukaan sayatan.

Energi yang digunakan dalam pemesinan terkonsentrasi pada suatu kawasan yang sangat kecil. Hanya sebagian dari energi ini yang tersimpan dalam benda kerja dan pahat dalam bentuk kerapatan dislokasi yang meningkat, sedangkan sebagian besar energi lainnya diubah menjadi panas. Pemesinan pada dasarnya adalah memanfaatkan energi yang dihasilkan oleh gerakan mekanik dan diubah menjadi bentuk energi panas yang digunakan untuk memotong benda kerja. Seperti yang diketahui, bahwa energi tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah menjadi bentuk lain. Dengan memanfaatkan gerakan relatif antara pahat potong dan benda kerja, maka akan menghasilkan energi panas yang cukup untuk memotong benda kerja.



Gambar 6. Area distribusi suhu pada pahat potong
(Sumber : Serope Kalpakjian, 2009)

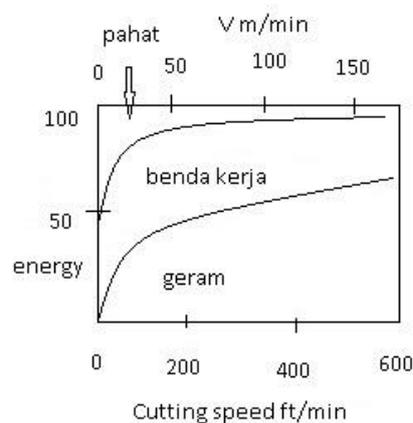
Transfer energi panas yang dibutuhkan untuk memotong benda kerja disesuaikan agar dapat terjadi pemotongan dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan oleh gerak makan. Karena kawasan pemotongan terus bergerak pada benda kerja maka tingkat pemanasan di depan alat ini menjadi kecil, dan setidaknya pada kecepatan potong yang tinggi, sebagian besar panas (lebih dari 80%) terbawa oleh geram (M.C. Shaw, 1984).

Pada Gambar 6 memperlihatkan area distribusi suhu pahat potong. Karena sumber panas dalam pemesinan terkonsentrasi di area geser utama dan pada permukaan pahat-geram. Jelas terlihat bahwa pola suhu tergantung pada beberapa faktor berkaitan pada sifat material dan kondisi pemotongan, termasuk jenis cairan pemotongan apabila digunakan selama pemesinan. Berbeda menurut pendapat C.Shaw, Diperkirakan 90 % dari energi yang dikeluarkan terbawa oleh geram selama proses pemesinan berlangsung (S.Kalpakjan, 2009).

Hampir semua energi mekanik terkait dengan pembentukan geram berakhir sebagai energi panas. salah satu pengukuran pertama setara mekanik panas (J) dibuat oleh benjamin Thomson (lebih dikenal sebagai Count Rumford). Rumford (1799) mengukur bahwa panas berkembang selama proses pengeboran kuningan meriam di Bavaria. Ia mengamati benda kerja, alat, dan geram dalam jumlah air yang diketahui dan diukur kenaikan suhu yang sesuai dengan input yang diukur dari energi mekanik. Percobaan ini tidak hanya memberikan pendekatan yang baik terhadap setara mekanik panas yang berdiri sebagai nilai yang diterima selama beberapa dekade, tetapi juga memberikan

wawasan baru ke dalam sifat energi panas pada saat kebanyakan orang percaya bahwa panas adalah bentuk khusus dari cairan yang disebut "kalori". Itu juga diketahui bahwa beberapa energi yang berkaitan dengan deformasi plastik tetap dalam deformasi material.

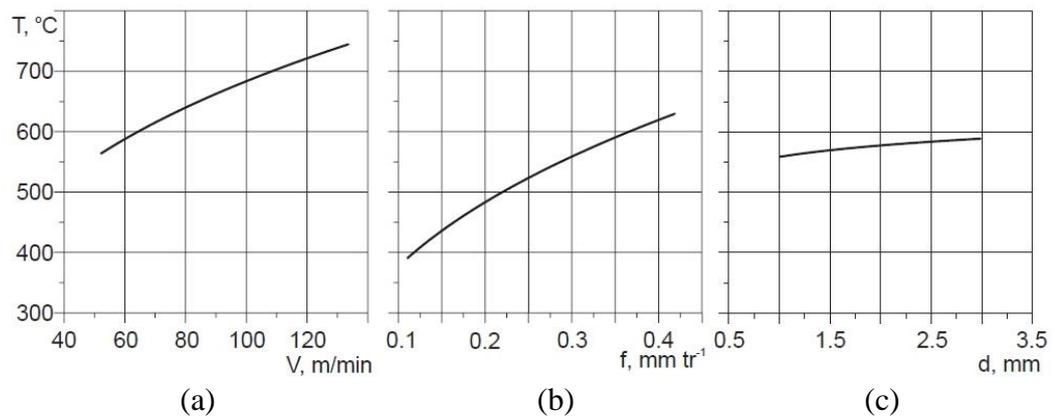
Taylor dan Quinney (1934,1937) menggunakan teknik kalori metrik yang sangat akurat untuk mengukur energi sisa yang terjadi ketika batang logam yang mengalami deformasi torsi. Ditemukan bahwa persentase energi deformasi ditahan oleh bar menurun seiring dengan peningkatan energi regangan yang terlibat. Ketika hasil ini diekstrapolasi terhadap tingkat tegangan energi dalam pembentukan geram, diperkirakan bahwa energi yang tidak diubah menjadi energi panas hanya antara 1 dan 3 persen dari total energi pemotongan. Bever, Marshall dan Titchener (1953) secara langsung mengukur energi yang tersimpan dalam sisa logam geram pemotongan dan Bever, Holt, dan Titchener (1974) telah membahas energi yang tersimpan dalam benda dalam bentuk deformasi plastis dari titik pandang yang luas (M.C. Shaw, 1984)



Gambar 7. Variasi distribusi energi dengan kecepatan potong untuk kondisi pemotongan (Sumber : M.C. Shaw, 1984)

Gambar 7 menjelaskan bahwa dengan menggunakan kecepatan potong yang rendah maka distribusi energi panas antara geram dan benda kerja hampir sama, berbeda dengan halnya distribusi pada pahat yang memiliki energi distribusi yang kecil. Namun semakin tinggi kecepatan potong yang digunakan, maka energi panas yang dihasilkan semakin banyak pada geram.

Sebagai contoh apabila kita menggunakan kecepatan potong sebesar 200 ft/min maka akan didapatkan distribusi suhu pada geram sebesar 60 % dan pada benda kerja sebesar 30 % dan sisanya sebesar 10 % pada pahat. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi suhu terbanyak dihasilkan pada geram semakin tinggi kecepatan potong yang digunakan maka semakin besar distribusi suhu yang akan diperoleh pada geram (M.C. Shaw, 1984).



Gambar 8. (a) Hubungan antara Kecepatan potong terhadap Suhu (b). Hubungan antara Gerak makan terhadap suhu (c) Hubungan antara kedalaman potong terhadap suhu.

Gambar 8 menunjukkan Hubungan antara Kecepatan potong dengan nilai suhu. Semakin tinggi kecepatan potong yang digunakan maka suhu yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hubungan antara gerak makan terhadap suhu yaitu semakin tinggi gerak makan yang digunakan maka suhu yang dihasilkan akan

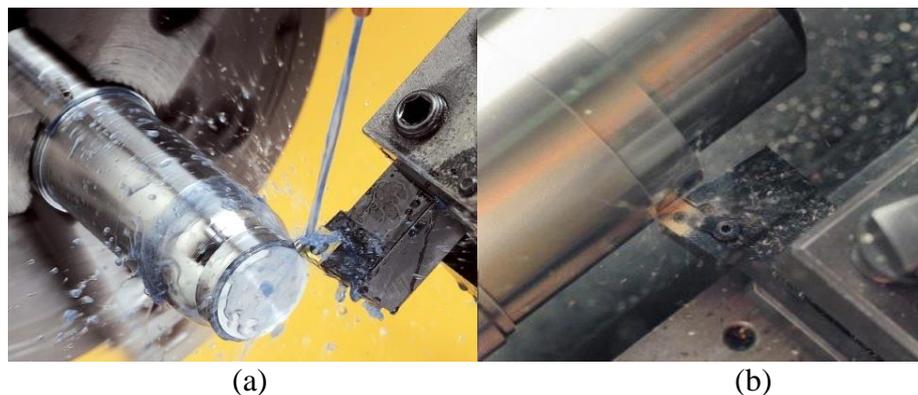
meningkat pula. Begitu pula hubungan antara kedalaman potong dengan suhu yaitu semakin tinggi kedalaman potong yang digunakan maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan (Valery Marinouv. 2000).

D. Pemesinan kering

Pemesinan kering (Dry Machining) adalah proses pemesinan yang tidak menggunakan fluida pendingin dalam proses pemotongannya. Pemesinan kering mulai ditempatkan pada prioritas utama pada proses pemesinan akhir-akhir ini. Berdasarkan ulasan dari beberapa pihak, minat dalam pengurangan atau menghilangkan penggunaan cairan pendingin dalam pemesinan semakin meningkat. Pemesinan kering diinginkan secara ekologi dan akan menjadi keharusan bagi perusahaan manufaktur di tahun-tahun mendatang (Sreejith dan Ngoi,2000). Hal ini sangat relevan terhadap kondisi bahwa pemesinan yang menggunakan cairan pendingin atau pelumas pada proses pengerjaannya dapat memberikan dampak kurang baik terhadap operator maupun lingkungan. Ada dua hal mengapa minat akan penggunaan pemesinan kering meningkat :

1. Mengurangi atau menghilangkan terbukanya operator terhadap resiko-resiko kesehatan yang mungkin akan terjadi seperti keracunan, iritasi kulit, gangguan pernafasan dan infeksi mikroba.
2. Mengurangi biaya pemesinan. Sebuah kajian yang dilakukan sebuah perusahaan otomotif menunjukkan bahwa cairan pendingin memberikan kontribusi 16% dari biaya komponen yang dimesin (Graham, 2000).

Terlihat pada Gambar 9a yang memperlihatkan proses pemesinan menggunakan cairan pendingin atau *wet machining* dan Gambar 9b merupakan proses pemesinan kering tanpa menggunakan cairan pendingin atau pelumas.



Gambar 9. Proses pemesinan dengan berbagai metode: a. Pemesinan basah
b. Pemesinan kering (Sumber : Valenite, LLC dan accessscience.com, 2013)

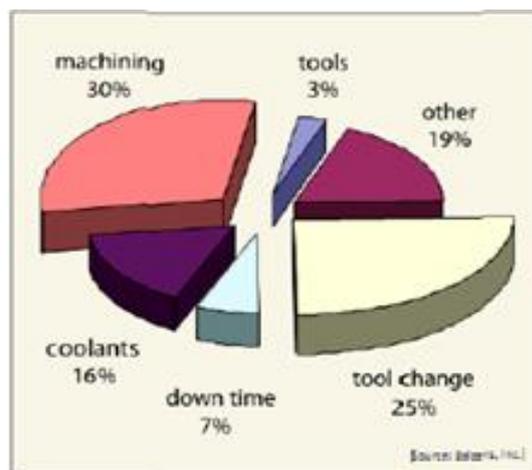
Alasan kuat mengapa pemesinan kering mulai mendapat perhatian serius yaitu karena pada pemesinan basah, cairan hasil pemotongan yang telah habis masa pakainya sebagai buangan dari industri pemotongan logam dapat mengancam kelestarian lingkungan. Cairan pemotongan bekas ini biasanya hanya dimasukkan ke dalam kontainer dan di timbun di bawah tanah. Selain itu, masih banyak praktek yang membuang cairan pemotongan bekas langsung ke alam bebas. Hal ini tentu berdampak merusak terhadap lingkungan sekitar (Mahayatra, 2012).

Pemesinan kering dilakukan terutama untuk menghindari pengaruh buruk bagi kesehatan seperti yang telah diterangkan diatas, dari sudut pandang inilah kita dapat menyimpulkan bahwa pemesinan kering termasuk dalam pemesinan yang ramah lingkungan. Walaupun ada beberapa kelemahan dari proses pemesinan kering ini terutama gesekan antara permukaan benda kerja dengan

pahat potong, pengeluaran geram yang dapat merusak benda kerja, serta suhu potong yang tinggi.

Keuntungan lain dari penggunaan pemesinan kering adalah sebagai berikut:

1. Ramah lingkungan, karena tidak menggunakan cairan pendingin
2. Penangan produk dan geram lebih mudah karena tidak tercampur dengan cairan pendingin yang dapat saja mengganggu kesehatan operator.
3. Ongkos produksi lebih murah karena dapat mengurangi ongkos terhadap pembelian, penyimpanan dan penanganan limbah cairan pendingin.
4. Tidak memerlukan pompa sebagai media penyemprotan pada cairan pendingin sehingga dapat menghemat penggunaan listrik.
5. Dapat digunakan pada seluruh pengerjaan pemesinan dan juga dapat melakukan pemotongan dengan berbagai material dari yang lunak hingga keras (Mahayatra, 2012).



Gambar 10. Presentase pembagian ongkos produksi (Sumber : Balzers Inc, 2013)

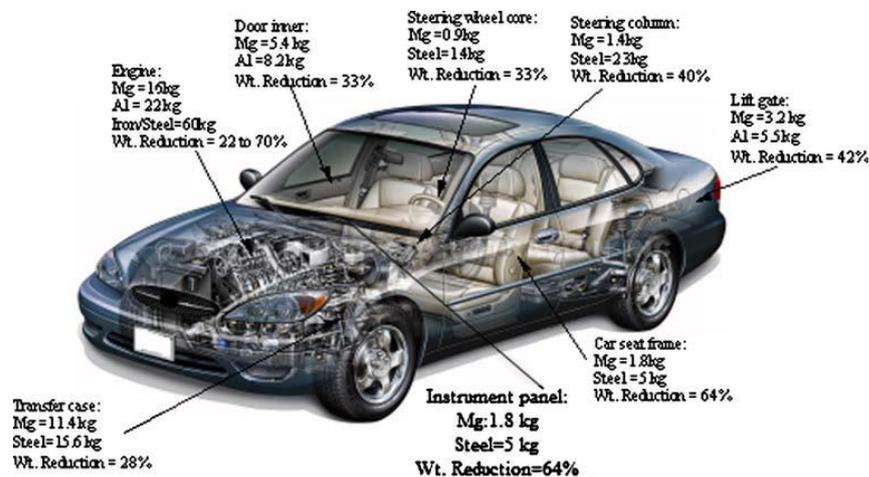
Seperti yang telah dilansir oleh sebuah perusahaan yang meyakini bahwa pengurangan penggunaan pendingin dapat menghemat biaya produksi pada Gambar 10.

Beberapa bahan sudah dikerjakan tanpa menggunakan cairan pendingin seperti besi cor dan aluminium. Namun hal tersebut dapat dikerjakan apabila menggunakan pahat yang tepat ataupun pahat yang telah dilapisi maupun menggunakan intan yang sangat keras sebagai media pemotongnya. Karena akan sukar memotong dengan pahat yang tidak sesuai dengan material benda yang akan dipotong, dapat mengakibatkan mata pahat dapat cepat tumpul bahkan dapat mengakibatkan cacat pada permukaan benda kerja karena penumpukan pada pahat potong. Pemesinan kecepatan tinggi dilakukan untuk menaikkan produktifitas melalui kenaikan kecepatan pembuangan geram, mengendalikan dimensi oleh karena pemanasan dan pencegahan *Built-up Edge* BUE (Stephenson dan Agapiou, 2006).

E. Pemesinan Magnesium

Magnesium semakin diminati, hal ini bisa saja disebabkan oleh karakteristik magnesium yang ringan namun juga tetap memiliki ketangguhan spesifik tinggi dan kekakuan. Magnesium sendiri mempunyai sifat mampu pemesinan, mampu cor dan juga mampu las yang baik. Karena sifatnya yang ringan dan daya tahan yang baik serta memiliki umur yang panjang, penggunaan magnesium semakin meningkat seiring perkembangan industri. Terutama pada industri otomotif yang memerlukan material komponen mesin yang mampu

bentuk, namun tetap memiliki ketangguhan spesifik yang tinggi. Pengurangan beban kendaraan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (C.Blawert, 2004).



Gambar 11. Komponen mobil yang terbuat dari paduan magnesium.
(Sumber : Kulecki K.M, 2007)

Hal ini diperkuat oleh beberapa jurnal mengenai aplikasi dari paduan magnesium seperti yang telah dilakukan oleh Mustafa Kemal Kulecki pada industri otomotif dan aplikasi paduan magnesium. Seperti yang terlihat pada Gambar 11 yang menunjukkan penggunaan magnesium pada beberapa komponen mobil.

Magnesium memiliki kemampuan mesin yang sangat baik seperti menggergaji, melubangi, pengeboran, frais, bubut dibandingkan dengan logam lain. Daya pemotongan spesifik rendah dan permukaan yang sangat baik sehingga menghasilkan chip yang relatif pendek. Dari sekian banyak logam, magnesium adalah yang termudah dari semua logam untuk dilakukan pemesinan yang memungkinkan pengerjaan pemesinan dengan kecepatan tinggi. Hal ini tentu didukung oleh karakteristik magnesium itu sendiri yang memiliki struktur

kristal HCP sehingga ketermesinan pada suhu rendah akan menjadi jelek apabila dibandingkan dengan ketermesinan dengan suhu yang tinggi.

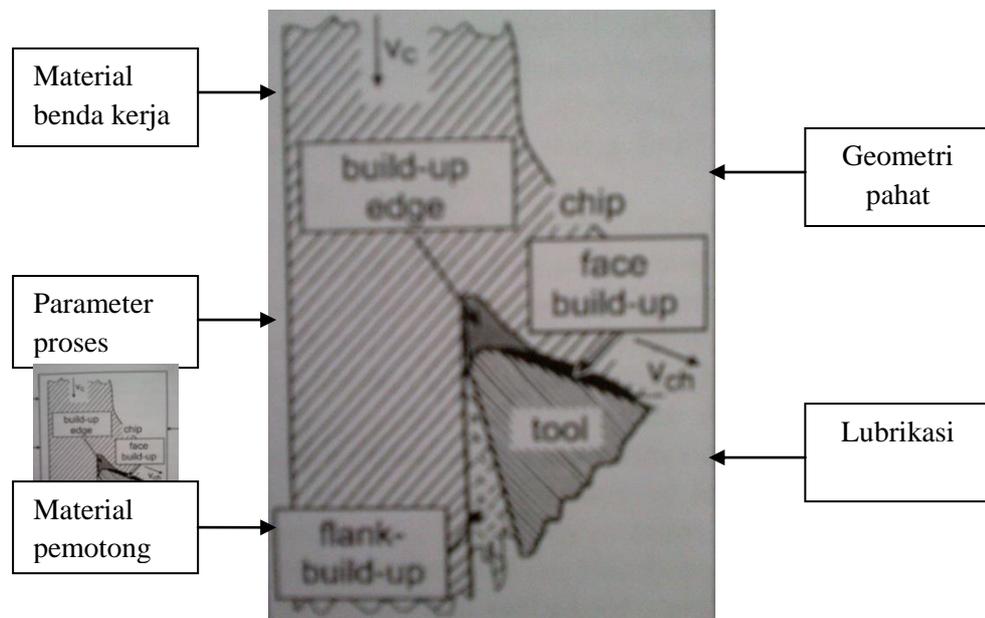
Kebutuhan energi untuk melakukan pemesinan pada magnesium lebih rendah dibandingkan logam lain. Karena magnesium sendiri memiliki konduktivitas termal yang tinggi sehingga keuntungan yang didapat yaitu umur pahat yang panjang, konsumsi daya yang rendah, sekitar 55% lebih rendah ketimbang aluminium. Karena magnesium dapat dilakukan dengan kecepatan tinggi, sehingga dapat mengurangi waktu proses pengerjaan (Buldum, 2011).

Ada dua hal yang perlu diperhatikan dalam pemesinan magnesium yaitu resiko terjadinya kebakaran dan pembentukan *Built-up Edge* (BUE). Pemesinan magnesium biasanya dilakukan tanpa pendingin apapun. Jika saat diperlukan menggunakan cairan pendingin, maka sebaiknya menggunakan minyak mineral ringan. Karena apabila menggunakan cairan pendingin berupa air, geram magnesium dapat bereaksi dengan air dan membentuk magnesium hidroksida dan gas hidrogen bebas. Pemesinan kering komponen magnesium dalam volume besar menimbulkan masalah pemeliharaan kebersihan terutama untuk proses gudi dan pengetapan yang menghasilkan geram halus (Burhanudin.dkk, 2012).

Paduan magnesium dianggap mudah untuk dilakukan pemesinan pada kecepatan potong rendah, alasannya adalah :

- Kekuatan memotong rendah
- Sebagai konsekuensinya, beban mekanik dan thermal rendah pada pahat potong

- Permukaan kualitas yang diperoleh tinggi
- Potongan geram pendek
- Kemungkinan dilakukan dengan proses pemesinan kering
-



Gambar 12. Efek adhesive dan alasan pembentukan pemesinan
(Sumber: Tonshoff H.K, Denkena B dkk, 2004)

Pemesinan kering, bagaimanapun dapat mengakibatkan efek adhesive. Seperti yang terlihat pada Gambar 12 Terutama pada kecepatan potong tinggi, pembentukan *flank build-up* pada karbida dapat diamati. Hal ini akan menghasilkan kekuatan proses yang lebih tinggi, gesekan lebih tinggi dan peningkatan bahaya penyalaan pada geram. Sehingga, akan mengarah pada bentuk berkurangnya dimensi akurasi benda kerja dan kualitas permukaan yang rendah (Thonsoff, H.K, Dkk, 2004).

Pelapisan pada mata pahat dengan menggunakan lapisan karbida atau berlian sebagai penguat dapat menghindari adhesi antara material dan benda kerja

[Gambar 12]. Pemesinan yang dilakukan tanpa melakukan pelapisan pada pahat akan menunjukkan kualitas permukaan hasil yang kurang baik akibat dari penumpukan sisa material pada benda kerja sehingga menghasilkan puncak-lembah. Dengan pelapisan menggunakan *polydiamon* dapat mengurangi secara signifikan dari kekasaran permukaan yang terjadi. Pada kecepatan potong rendah, adhesi antara bahan yang diproses dan pahat terjadi khususnya pada bagian utama pahat yang langsung bersinggungan dengan benda kerja. Dengan ditingkatkannya kecepatan pemotongan, area kontak meluas ke sisi kecil dan menyapu pada sisi bagian utama (Thonsoff, H.K, Dkk, 2004).

Permasalahan dan bahaya ketika melakukan pemesinan magnesium yaitu resiko penyalaan pada geram yang berada di wilayah kerja alat mesin selama proses pemesinan, ketika suhu mencapai pengapian magnesium $T_f = 500\text{ }^\circ\text{C}$ atau lebih (Thonsoff, H.K, Dkk, 2). Namun hal itu dapat diatasi dengan penggunaan pelubrikan dengan pendingin air atau berbasis minyak, walaupun demikian bahaya dan masalah dari penggunaan pelubrikan akan menjadi sorotan utama. Berikut akan ditampilkan perbandingan pelubrikan pada tabel 2.

Tabel 2. Permasalahan dan bahaya ketika melakukan pemesinan magnesium (Sumber: Tonshoff H.K, Denkena B dkk, 2004)

No	Pendingin berbasis air	Pendingin berbasis minyak	Pemesinan kering
1	Biaya tambahan untuk penyimpanan, pembelian dan pembuangan	Biaya tambahan untuk penyimpanan, pembelian dan pembuangan	Bahaya dari pengapian geram
2	Daur ulang geram yang sulit	Daur ulang geram yang sulit	Kehilangan akurasi dalam bentuk dan ukuran
3	Bahaya pengapian dan ledakan dari terbentuknya hidrogen	Bahaya ledakan dari kabut minyak	Penurunan kualitas permukaan akibat adhesi

F. Penyalaan Padun Magnesium

Karakteristik magnesium yang mudah terbakar dimana dimulai dari terbentuknya percikan api mulai mendapat perhatian khusus. Terutama pada proses pengerjaan kering yang tidak menggunakan bahan pendingin atau pelumas sebagai media untuk mengurangi gesekan antara benda kerja dengan pahat potong. Alasan ini yang perlu diketahui terkait proses pemesinan untuk menghindari terjadinya penyalaan pada benda kerja magnesium saat dilakukan proses pemesinan kering. Walaupun dengan pemesinan basah dapat dilakukan, namun efek dari pengerjaan ini sangat berdampak buruk bagi lingkungan.

Telah diketahui bahwa penyalaan (ignition) dimulai dengan pembentukan “bunga kol” oksida dan terjadinya api pada permukaan paduan (Hongjin dkk, 2008). Bunga api dan flare merupakan sumber pengapian potensial dalam pemesinan magnesium kering. Berbagai prosedur pengujian mulai dikembangkan untuk mengetahui batas-batas penyalaan pada paduan magnesium dan perilaku penyalaannya. Serangkaian tes ini dilakukan untuk menghindari atau meminimalkan terbentuknya api melalui penyesuaian lingkungan dan kondisi mesin. Prosedur-prosedur ini berbeda terutama mengenai metode pemanasan dan definisi suhu penyalaan (Blandin, 2004).

Dua definisi suhu penyalaan sempat diusulkan, pertama sekali disesuaikan dengan suhu terendah ketika nyala terlihat pada proses pemesinan. Kedua pada suhu dimana reaksi oksidasi eksotermik berkelanjutan pada kelajuan yang menyebabkan peningkatan suhu secara signifikan. Karena adanya kaitan yang kuat antara penyalaan dan oksidasi, usaha-usaha telah dibuat pada masa lalu untuk mempelajari oksidasi magnesium pada suhu tinggi (Blandin, 2004).

Suhu penyalaaan magnesium pada tekanan atmosfer lebih rendah dibawah titik cairnya yaitu pada 623 °C. Pada tekanan 500 psi, suhu penyalaaan mendekati titik cairnya yaitu 650 °C. Titik nyala sejumlah paduan magnesium dengan logam lain telah diselidiki. Suhu penyalaaan berkisar dari 500 °C sampai 600 °C. Ada efek tertentu apabila bersentuhan dengan beberapa logam lain sehingga dapat mengubah titik poin suhu penyalaaan magnesium. Apabila paduan magnesium bersentuhan dengan nikel, kuningan dan alumunium dapat memperendah suhu penyalaaan, sedangkan bersentuhan dengan baja dan perak tidak mempengaruhi poin suhu penyalaaan (White & Ward, 1966)

Magnesium masif menunjukkan akan menyala diudara pada suhu yang sama sebagaimana nyala dalam oksigen. Serbuk magnesium diudara menyala pada suhu 620 °C. Penyelidikan lain menunjukkan bahwa kepadatan partikel pembentukan paduan magnesium mempengaruhi suhu penyalaaan. Partikel-partikel yang kurang padat memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk menyala berkisar antara 700 °C sampai 800 °C jauh diatas titik cairnya. Namun kajian dampak menunjukkan magnesium sensitif terhadap perubahan beban atau tumbukkan massa (White & Ward, 1966). Seperti yang telah diketahui bahwa penyalaaan atau pembakaran membutuhkan udara (O₂) sebagai media untuk terjadinya pembakaran dan panas awal. Peningkatan suhu akan menyebabkan magnesium mudah terbakar. Reaksi penyalaaan akan menghasilkan panas seperti pada reaksi kimia berikut. $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgO} + 1215,5 \text{ KJ}$ (Blandin, 2004)

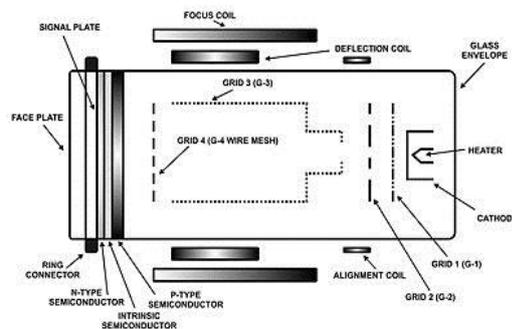
G. Visi Komputer dan Pengolahan Citra

Definisi dari pengolahan citra adalah pengolahan suatu citra dengan menggunakan komputer secara khusus, untuk menghasilkan suatu citra yang lain. Dengan menggunakan sistem pengolahan citra dapat merepresentasikan suatu proses dalam bentuk visual yang mudah untuk diamati untuk mendapatkan suatu tahap pengambilan keputusan. Dalam prakteknya pengolahan citra begitu erat dalam keseharian untuk beberapa aplikasi yang membutuhkan kecermatan. Seperti pada bidang astronomi untuk pemetaan geografi bumi dengan menggunakan satelit dimana memerlukan suatu integrasi untuk menghasilkan keadaan bumi secara keseluruhan baik kedalaman laut, ketinggian gunung ataupun keadaan pemukiman. Pada contoh lain penggunaan pengolahan citra sebagai alat keamanan untuk melindungi beberapa dokumen penting dan barang berharga dapat menggunakan pengolahan citra *fingerprint* atau *eye-retina identification*.

Melakukan proses pengolahan citra membutuhkan beberapa komponen untuk menangkap gambar citra dalam hal ini dapat menggunakan kamera video. Dengan cara ini dapat mengolah data yang diperlukan dengan menangkap intensitas cahaya yang tertangkap kamera. Intensitas cahaya itu sendiri merupakan salah satu sinyal listrik dan dengan cara paling sederhana menggunakan *photosensitive cells* dapat membuat kamera primitif yang menghasilkan sederetan sinyal yang menghasilkan tingkatan-tingkatan intensitas cahaya untuk masing-masing spot pada gambar (Fadlisyah, 2007).

1. Menangkap Objek Gambar Menggunakan Kamera Biasa

Untuk menangkap sebuah gambar diperlukan kamera yang mendukung untuk mendapatkan objek. Kualitas gambar pun dipengaruhi oleh kualitas kamera itu sendiri sebagai media pengolah. Pada akhirnya akibat tuntutan jaman maka tidak heran untuk mendapati sebuah kamera yang memiliki resolusi tinggi dalam bentuk yang lebih kecil. Suatu kamera yang berkualitas sangat tergantung pada kualitas dari tabung vidicon yang dimilikinya.



Gambar 13. Konstruksi vidicon pada kamera (Sumber : Fadlisyah S.Si, 2007)

Vidicon terdiri dari tabung kaca hampa yang secara internal diberi suatu lapisan konduktif photosensitive dan *film tin oxide* yang transparan. Lapisan photosensitive dibuat dari material semikonduktor yang ketahanannya berkurang ketika menerima cahaya

Lensa pada kamera memfokuskan pandangan yang akan ditangkap tepat pada target. Target tersebut discan oleh suatu sinar elektron yang berasal dari suatu katoda pada ujung tabung (Gambar 13), difokuskan sebagai suatu spot. Sinar katoda dirancang untuk menscan objek atau gambar dalam bentuk raster. Dalam prosesnya sinar katoda membebaskan (charge) lapisan photosensitive. Wilayah charge ini kemudian didischarge pada kecepatan

yang tidak tergantung pada sejumlah peristiwa pencahayaan, metal ring, yang berada pada luar tabung, diubungkan ke film tin oxide, dan mengumpulkan arus-arus discharge yang sangat kecil.

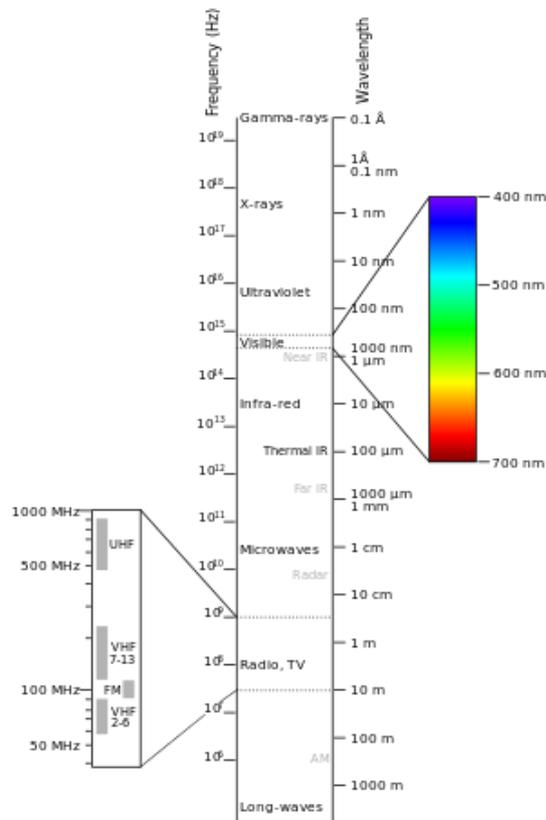
2. Unit Kamera Berbasis Termografi

Perbedaan mengenai kamera video standar biasa dengan unit kamera termografi umumnya terletak pada objek yang ditangkap. Tanggapan kamera video standar adalah untuk radiasi cahaya tampak dari objek yang terlihat, sedangkan tanggapan unit termografi khusus untuk radiasi inframerah dari objek yang diamati. Oleh karena itu objek ditangkap melewati *viewfinder* ditampilkan dalam bentuk *false colours* untuk membawa informasi suhu.

Terlihat pada Gambar 14 bahwa panjang gelombang dari objek yang memancarkan warna tampak atau warna-warna yang biasa dilihat oleh mata seperti warna merah, kuning, hijau dan biru berkisar kurang dari $1\mu\text{m}$ dan panjang gelombang yang dipancarkan oleh sinar inframerah yang memiliki panjang gelombang setingkat lebih kecil dibandingkan dengan warna tampak atau nyata adalah antara $1\mu\text{m}$ sampai $10\mu\text{m}$.

Termografi inframerah menggunakan peralatan khusus untuk mengukur suhu permukaan. Objek bersuhu tinggi memancarkan jumlah energi pada daerah spektrum elektromagnetik inframerah yang lebih besar dari pada suhu rendah objek tersebut. Suatu kamera inframerah mendeteksi besar radiasi inframerah yang dipancarkan dari sebuah objek, dan mengkonversikan suhu

tersebut ke dalam citra panas video yang disebut dengan termogram (Burhanudin. dkk, 2012).



Gambar 14 Panjang gelombang radiasi elektromagnetik.
(Sumber : Fadlisyah S.Si, 2007)

Hal ini yang dapat dipergunakan untuk mengetahui besarnya panas yang dihasilkan oleh material dengan menggunakan efek radiasi yang dihasilkan suatu objek material tersebut. Penggunaan akan termografi diaplikasikan dalam perawatan di pabrik manufaktur, khususnya pada industri-industri besar yang memerlukan beberapa kriteria untuk meloloskan produk jadinya. Karena suhu merupakan hal yang menjadi perhatian utama dan saran diagnostik.

Suatu objek yang bersuhu tinggi memancarkan sejumlah energi pada daerah spektrum elektromagnetik inframerah sehingga untuk mendapatkan suhu

panas yang dapat ditangkap oleh kamera diperlukan lensa yang beroperasi dari 3 sampai 5 μm dimana dapat dilihat pada tabel 2.2 bahwa barium flourida, lithium flourida, magnesium flourida, silikon, saphire, silikon nitrat, zirconium oksida, yang berpotensi digunakan sebagai bahan transmisi inframerah.

Tabel 3. Bahan transmisi inframerah

Jenis material	3-5 μm	8-13 μm
Alkali halida	-	KCL, NaCl, CsI
Halida lain	BaF ₂ , LiF, MgF ₂	KRS ₅ , PbF ₂ , ThF ₄
Semikonduktor	Si	Ge, GaAs, InP, GaP
Chalcogenides	-	ZnS, ZnSe, CdS, CaLaS
Lain-lain	Al ₂ O ₃ , SiN, SiC, ZrO, Y ₂ O ₃	-

3. Pemrosesan Citra Untuk Pengukuran Suhu

Proses pengukuran suhu dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu dengan pengukuran langsung (kontak) dan pengukuran secara tidak langsung (nonkontak) dengan mengolah data-data yang diperoleh. Pada umumnya pengukuran suhu dengan metode kontak menggunakan alat seperti termokopel, RTD (*Resistance Temperature Detectors*), dan termometer dengan cara dikenakan secara langsung oleh objek yang akan diukur, dan respon alat-alat tersebut terhadap pengukuran relatif lambat, tetapi tidak terlalu mahal.

Pengukuran secara tidak langsung (nonkontak) menggunakan sensor-sensor suhu untuk mengukur radiasi pancaran energi inframerah dari target. Pengukuran non kontak mempunyai tanggapan cepat, juga dapat digunakan untuk mengukur suhu target yang bergerak, dan terputus-putus. Kelebihan

lain dari pengukuran non kontak yaitu dapat mengukur pada daerah hampa, dan target yang tidak dapat diakses secara langsung karena terletak pada daerah yang membahayakan atau yang beresiko. Dengan kelebihan-kelebihan itu pengukuran nonkontak sangat efisien walaupun harganya relatif mahal.

4. Termovision sebagai salah satu proses pengolahan citra suhu

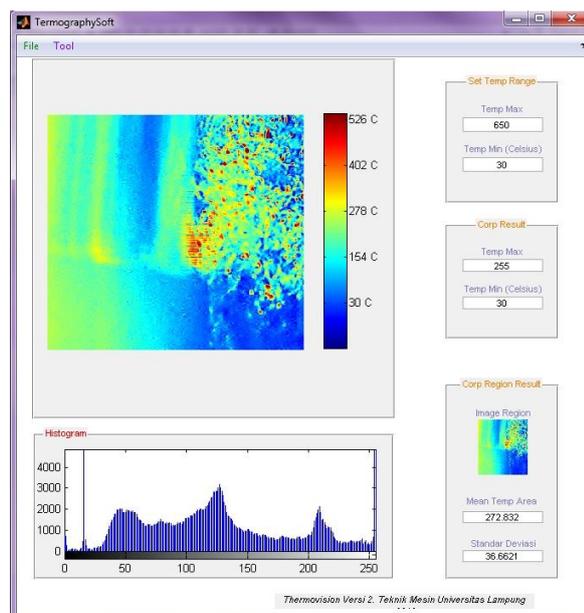
Termovision merupakan salah satu aplikasi yang bertujuan untuk dapat membaca suhu dari sebuah citra berformat JPG dan distribusi suhu melalui warna merah yang menunjukkan bagian terpanas. Konsep dari termovision ini sendiri hampir sama dengan metode termografi, hanya saja pada termografi aplikasi utamanya pada bagian kesehatan atau kedokteran.

Seperti pada Gambar 15 Metode termografi didasarkan pada perbedaan suhu antar lingkungan sekitar dengan objek yang dipantau. Distribusi suhu yang bervariasi ini bisa disebabkan karena adanya perbedaan panas yang disebabkan oleh benda yang bergerak. Dimana benda yang bergerak seperti gear akan menghasilkan panas. (Tridinews, 2014).



Gambar 15. Aplikasi Termografi
(Sumber : Tridinews, 2014)

Termovision memanfaatkan kondisi suhu yang dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang inframerah, kemudian ditangkap oleh kamera inframerah. Gambar 16 menunjukkan gambar aplikasi *thermografi* menggunakan *software matlab*. Pengambilan gambar menggunakan kamera inframerah dilakukan setelah terjadi kontak suhu panas yang meningkat dari kondisi sebelumnya dari benda yang di ukur. Hasil video yang ditangkap oleh kamera inframerah yang terbaca dikomputer kemudian diolah menggunakan sebuah aplikasi *freeware video2image converter* menjadi beberapa *frame image* sehingga menghasilkan keluaran berupa gambar berformat .jpg. Pemilihan gambar berformat .jpg beralasan karena menggunakan format umum ini suhu dari citra sudah terbaca jadi tidak perlu mengubah ke format gambar lain seperti .bmp.



Gambar 16. Aplikasi thermografi

Setelah selesai mengkonversi video menjadi citra yang disimpan dalam bentuk JPG. Kemudian citra-citra ini diolah dengan menggunakan perangkat lunak yang mampu mengkonversi energi inframerah menjadi warna yang dapat dilihat oleh mata. Visualisasi suhu dalam bentuk warna menunjukkan distribusi suhu sesuai dengan tinggi-rendah suhu ini yang diinginkan dari fungsi aplikasi *thermovision* yang sebelumnya telah ditentukan parameter T_{max} dan T_{min} pada aplikasi *thermovision*. Aplikasi *thermovision* yang digunakan menggunakan aplikasi *Matlab* sebagai media pengolah aplikasi *thermovision* (M. Haris, 2013)

Kelebihan aplikasi termografi adalah dapat menangkap perbedaan suhu yang dinyatakan dalam bentuk warna secara langsung, tanpa harus menempelkan alat pendeteksi pada benda objek. Selain dari kelebihan itu, aplikasi termografi memiliki kekurangan yaitu aplikasi termografi masih dilakukan secara manual. Cara ini dirasakan kurang efisien karena video yang telah direkam harus diubah menjadi bentuk gambar kemudian dalam bentuk gambar berformat .jpg barulah dapat diketahui suhu pada saat itu dengan aplikasi termografi.