

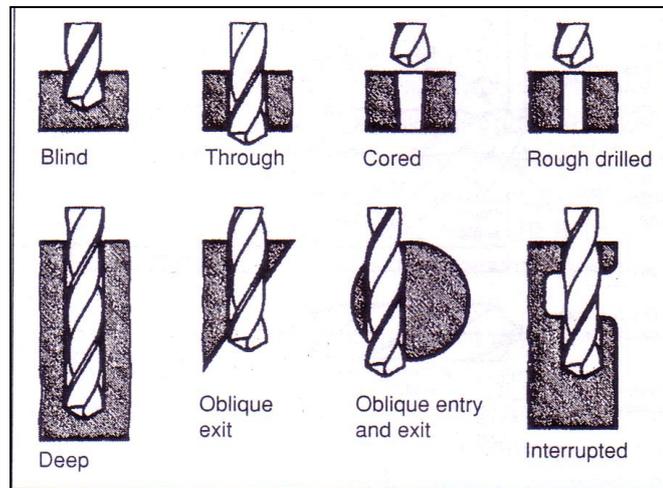
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Gurdi (*Drilling*)

Proses gurdi (*drilling*) digunakan untuk pembuatan lubang silindris. Pembuatan lubang dengan mata gurdi 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, geram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat gurdi ke luar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong selama proses pemotongan, 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 gurdi [Widarto, 2008]. Akan tetapi cairan pendingin yang umumnya berbasis zat kimiawi berpotensi mengganggu kesehatan operator dan merusak lingkungan akibat limbahnya.

Jenis gurdi yang paling baik untuk jenis aplikasi yang diberikan tergantung pada jenis material yang dibor, karakteristik strukturalnya, ukuran lubang dan material yang dibor bersifat *solid* atau getas (lihat gambar 2). Dalam memilih tipe bor yang cocok untuk aplikasi yang diberikan membutuhkan pertimbangan dari semua

factor-faktor diatas. Penggurdian manufaktur membutuhkan tipe pengeboran yang sama namun dengan variasi yang lebih tajam dalam konfigurasi dan metalurginya. Variasi yang lebih tajam tersebut mempengaruhi umur mata bor dan kualitas lubang, khususnya untuk bor yang berdiameter kecil. Tiga jenis Pengeboran konvensional yang sering digunakan yaitu *regrindable drills*, *spade drills* dan *tipped drills*. Ada beberapa jenis dari *regrindable drills* yaitu *twiss* atau *regular drill*, *gun drill*, *counter drill* dan *pilot drill*. *Twiss drill* memiliki perbedaan dalam jumlah lekukanya dan sifat-sifat geometrinya seperti sudut *helix angel*, sudut permukaannya, bentuk lekukanya, ketebalannya dan lebar margin. Sistem yang standar dalam mengklasifikasikan *twiss drill* yang dibuat oleh proses manufaktur yang berbeda beda belum dikembangkan [D.A Stephenson, 2006].



Gambar 2. Bidang Kerja Gurdi dan Sifat-sifat Lubang

B. Parameter Pemotongan Pada Gurdi (*Drilling*)

Ilustrasi parameter pemotongan pada proses permesinan gurdi dapat dilihat pada gambar 3. Kecepatan potong (*cutting speed*) pada *drilling* didefinisikan sebagai

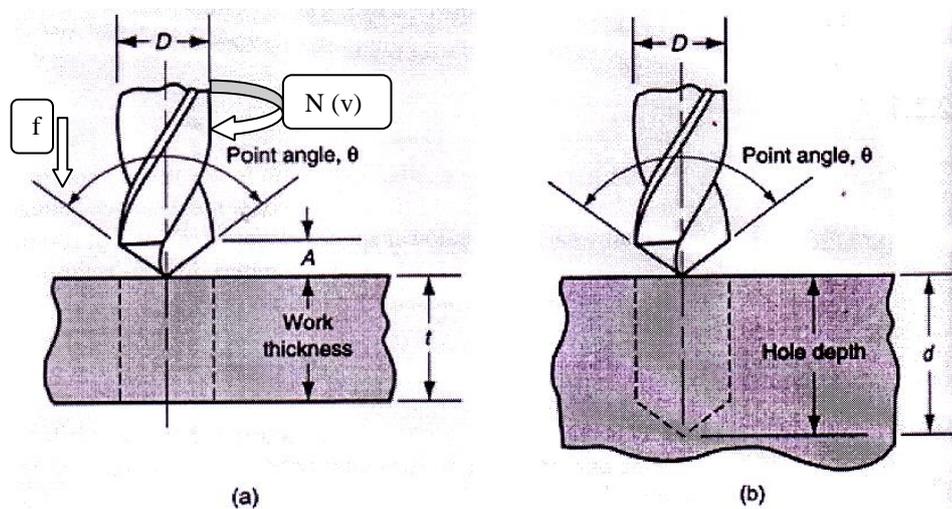
kecepatan permukaan terluar dari pahat *drill* relatif terhadap permukaan benda kerja. Kecepatan potong dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$v = \frac{\pi D N}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, v : Kecepatan potong (m/min),

N : Kecepatan putaran (rpm: rev/min).

D : Diameter pahat.



Gambar 3. Kondisi pemotongan pada *Drilling*

Waktu riil pemesinan (*time of actual machining*), T_m (min) :

1. Pada pembuatan lubang tembus (*through hole*):

$$T_m = \frac{(t + A)}{(N \times f)} \dots\dots\dots (2)$$

2. Pada pembuatan lubang tembus (*through hole*):

$$T_m = \frac{d}{(N \times f)} \dots\dots\dots (3)$$

dimana, f : gerak makan (mm/rev).

T_m : Waktu riil pemesinan (min).

T : Ketebalan benda kerja (mm).

A : Jarak antara sisi terluar pahat *drill* dengan permukaan benda kerja ketika ujung drill mulai menyentuh permukaan.

D : Kedalaman lubang,

θ : *Drill point angle*.

Kecepatan pemindahan material (material removal rate), MRR:

$$MRR = \frac{(\pi D^2 \times f \times N)}{4} \dots\dots\dots (4)$$

dimana, *MRR: material removal rate* (mm³/min) [Rochim, 1993].

C. Variasi Pahat Pada Gurdi (*Drilling*)

Mata bor adalah suatu alat *pembuat* lubang atau alur yang efisien, macam-macam ukuran daripada mata bor terbagi dalam beberapa jenis, diantaranya ialah: didalam satuan inchi, di dalam pecahan dari 1/64" sampai 3/8" dan seterusnya. Di dalam satuan millimeter dengan setiap kenaikan bertambah 0,5 mm, dengan nomor dari 80 – 1 dengan ukuran 0,0135 – 0,228", dengan tanda huruf A sampai Z dengan ukuran 0,234 – 0,413".

Terdapat beberapa hal yang harus kita perhatikan untuk memilih mata bor yaitu :

1. Ukuran lubang
2. Benda kerja yang akan dibor
3. Sudut bibirnya

Ukuran lubang menentukan ukuran garis tengah dari mata bor, setiap mata bor akan menghasilkan lubang yang lebih besar daripada garis tengahnya, sudut spiral dan sudut bibir tergantung dari benda kerja yang akan dibor.

Alat penyudut dipakai untuk memeriksa sudut bibir, sisi potong yang tumpul akan menyebabkan permukaan lubang menjadi kasar, hal ini terjadi bila jarak sudut pahat dengan sisi potong 55° , untuk mengurangi akibat yang tidak baik terhadap sisi potong, jarak perlu diperpendek dengan menggerinda mata bor yang lebih besar [Daryanto, 1996].

1. Mata bor pilin dengan spiral kecil

Mata bor pilin dengan spiral kecil (lihat gambar 4), sudut penyayatnya 130° digunakan untuk mengebor aluminium, tembaga, timah, seng, dan timbel [Widarto, 2008].



Gambar 4. Bor Pilin Spiral Kecil

2. Mata bor pilin spiral besar sudut penyayat 130°

Bor pilin dengan spiral besar (lihat gambar 5), sudut penyayat 130° digunakan untuk mengebor kuningan dan perunggu.



Gambar 5. Bor Pilin Kisar Besar

3. Mata bor pilin spiral besar sudut penyayat 80°

Mata bor pilin dengan spiral besar (lihat gambar 6), sudut penyayat 80° digunakan untuk mengebor batu pualam/ marmer, batu tulis, fiber, ebonit, dan sebagainya.



Gambar 6. Bor Pilin Kisar Besar Sudut Sayat Kecil

4. Mata bor pilin spiral besar sudut penyayat 30°

Mata bor pilin dengan spiral besar (lihat gambar 7), sudut penyayat 30° digunakan untuk mengebor jenis bahan karet yang keras (karet-karet bantalan).

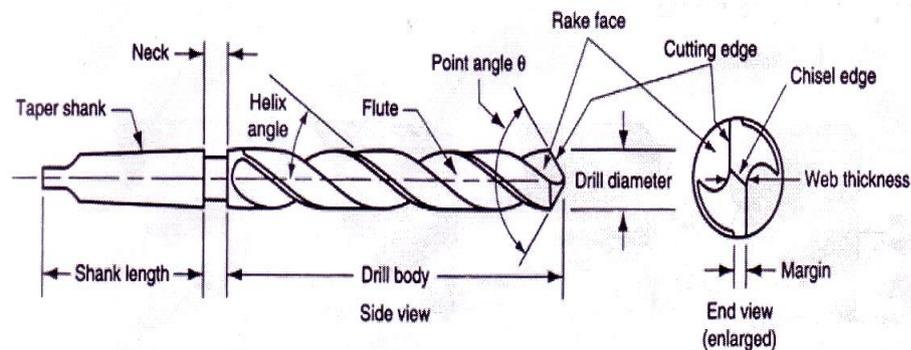


Gambar 7. Bor Pilin Kisar Besar Sudut Lancip

D. Tool Geometry

Twist drill (*drill* dengan bermata dua) digunakan luas di industri untuk membuat lubang secara cepat dan ekonomis, diameter berkisar 0.15 mm (0.006 in.) - 75 mm (3.0 in.). Geometri pahat dapat dilihat lebih jelas pada gambar 8. Badan *drill* memiliki dua daun spiral (*flutes*). Sudut kemiringan spral daun disebut *helix angle*, biasanya sekitar 30°. Saat proses drilling, daun ini berfungsi untuk jalur pengeluaran geram dari lubang. Tebal (jarak) antara daun disebut *web*. Ujung *twist drill* berbentuk kerucut, sudutnya disebut *point angle*, nilai sekitar 118°. Desain umum dari ujung *drill* adalah *chisel edge*. *Chisel edge* menyambung dengan dua ujung (mata potong) disebut *lips* dan menyambung ke daun (*flutes*). Permukaan *flutes* yang berhubungan dengan ujung potong berperan sebagai *rake face*. *Twist drill* biasanya terbuat dari *high-speed steel (HSS)*. Pembentukan pahat dibuat dengan proses *casting*, kemudian dikeraskan permukaannya dengan proses *heat*

treatment sementara bagian dalamnya tetap kuat/ulet. Setelah itu dilakukan proses *Grinding* untuk mempertajam ujung potongnya [Daryanto, 1996].

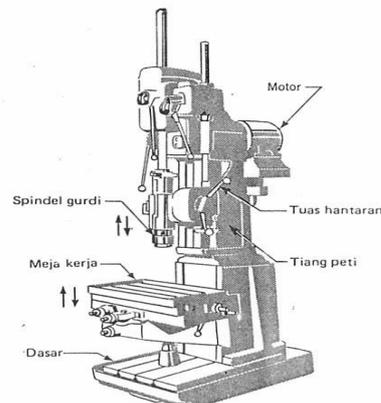


Gambar 8. Geometri Pahat

E. Mesin Gurdi (*Drilling*)

Mesin standar untuk drilling disebut *drill press*. Beberapa jenis *drill press*:

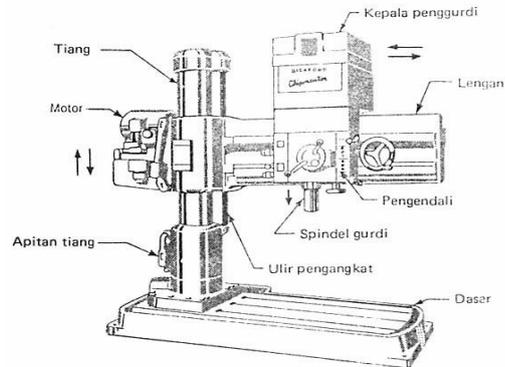
1. *Upright drill* (Gambar 9). Mesin ini ditegakkan diatas lantai, terdiri dari meja untuk meletakkan dan memegang benda kerja, *drilling head* yang digerakkan oleh *spindle* untuk memasang pahat *drill*, serta landasan dan tiang penopang.



Gambar 9. *Upright drill*

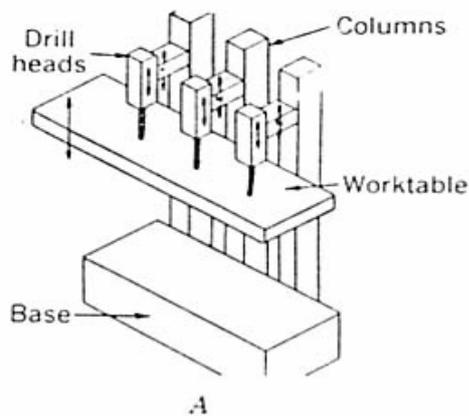
2. *Bench drill*. Lebih kecil dari *upright drill*, diletakkan diatas meja atau bangku.
3. *Radial drill* (Gambar 10). *Drill press* besar yang dirancang untuk melobangi benda kerja besar. Memiliki lengan radial sehingga *drilling head* dapat

digerakkan sepanjang lengan ini untuk menjangkau lokasi yang relatif jauh dari tiang mesin.



Gambar 10. *Radial drill*

4. *Gang drill* (Gambar 11). Mesin ini terdiri dari 2 - 6 mesin *upright drill* diatur saling berhubungan dan segaris. Tiap spindle beroperasi sendiri-sendiri, tapi memiliki satu meja kerja. Sehingga satu rangkaian proses *drilling* (*centering, drilling, reaming, tapping*) dapat dilakukan secara berurutan dengan hanya menggeser benda kerja tanpa mengganti pahatnya.



Gambar 11. *Gang drill*

5. *Multiple-spindle drill*. Mirip dengan mesin *gang drill*, beberapa *spindle* dihubungkan bersama untuk membuat berbagai lubang pada satu benda kerja secara bersamaan.
6. *Numerical control drill presses*. Mesin ini mampu mengontrol pemosisian lubang pada benda kerja. Sering dilengkapi dengan *turrets* untuk memegang beberapa pahat *drill* sekaligus dan dapat dikontrol dengan NC program, sering disebut mesin *CNC turret drill* [Darius, 2008].

F. Pemegang Pahat (pencekam)

Peralatan yang biasa digunakan untuk memegang benda kerja pada mesin *drill press* antara lain:

1. Ragum (*Vise*) adalah alat yang umum digunakan, menjepit benda kerja pada dua sisi berdampingan.
2. Perkakas cekam (*Fixture*). Peralatan yang dirancang secara khusus untuk komponen tertentu. *Fixtures* dirancang untuk mencapai tingkat akurasi pemosisian yang lebih tinggi, tingkat produksi yang lebih cepat, dan kemudahan operasi yang lebih besar.
3. Perkakas tuntun (*Jig*). Mirip seperti *fixtures*, tapi dilengkapi dengan alat pengarah pahat *drill* terhadap benda kerja, sehingga akurasi penempatan pahat lebih tinggi.

G. Baja (Material Benda Kerja)

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kadar karbonnya. Baja karbon dibagi menjadi tiga kelompok. Adapun pembagian jenis – jenis baja karbon adalah:

a). Baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang biasanya disebut *mild steel* mengandung karbon antara 0,1% sampai dengan 0,3% dan dalam perdagangan karbon rendah berbentuk batang), pelat – pelat baja dan baja strip. Baja karbon rendah memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik dan sesuai dengan tujuan fabrikasi digunakan dalam kondisi anil atau normalisasi untuk tujuan konstruksi dan struktural, seperti jembatan, bangunan gedung, kendaraan bermotor, dan kapal laut.

b). Baja karbon sedang

Baja karbon sedang mempunyai kandungan karbon antara 0,3 % sampai dengan 0,6 %. Penemperan di daerah temperatur lebih tinggi (yaitu 350-550°C) menghasilkan karbida sferoidisasi yang meningkatkan keuletan baja, dan dalam perdagangan baja karbon sedang digunakan untuk bahan baut, mur, piston, poros engkol, material as roda, poros, roda gigi, dan rel. Proses *ausforming* dapat diterapkan pada baja dengan kadar karbon sedang tersebut sehingga dicapai kekuatan lebih tinggi tanpa mengurangi keuletan.

c). Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7 % sampai dengan 1,3 % dan setelah mengalami proses *heat treatment*, baja tersebut digunakan untuk pegas (per), alat – alat perkakas, gergaji, pisau, kikir dan pahat potong. Baja karbon tinggi umumnya dikeraskan dengan ditemper ring pada temperatur 250°C untuk menghasilkan kekuatan dan keuletan yang memadai untuk per, die, dan perkakas potong. Keterbatasan penggunaan terjadi karena kemampukerasan yang kurang baik dan pelunakan cepat yang terjadi pada penemperan temperatur sedang.

Klasifikasi dari jenis baja karbon tersebut diatas dapat dilihat lebih rinci pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon [Wiryo Sumarto, 1996]

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm^2)	Kekuatan Tarik (kg/mm^2)	Kekerasan (Brinell)	Perpanjangan (%)
Baja Karbon Rendah :					
a. Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	40-30
b. Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	40-30
c. Baja Lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	100-130	36-24
d. Baja Setengah Lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	112-145	32-22
Baja Karbon Sedang :					
a. Baja Setengah Keras					
b. Baja Keras	0,30-0,40	30-40	50-60	140-170	30-17
	0,40-0,50	34-46	58-70	160-200	26-14
Baja Karbon Tinggi :					
a. Baja Sangat Keras	0,50-0,80	36-47	65-100	180-235	20-11

H. Pahat Potong *High Speed Steel* (HSS)

Baja kecepatan tinggi (sering di singkat HSS/HS) adalah suatu material yang biasanya digunakan sebagai material pahat potong (*cutting tools*). Bahan HSS lebih kuat daripada material perkakas baja karbon tinggi yang mulai di gunakan pada tahun 1940-an dimana kandungan karbonnya adalah 0,70 % - 1,50 %. Pada suhu-kamar HSS dan baja karbon tinggi mempunyai kekerasan yang tidak jauh berbeda, hanya pada suhu yang sudah diatur HSS menjadi lebih menguntungkan.

Adapun aplikasi dari penggunaan utama dari baja kecepatan tinggi digunakan pada manufaktur untuk berbagai pahat potong: *drills, taps, milling cutters, tool*

bits, gear cutters, saw blades, dll. Baja karbon tinggi menjadi suatu pilihan yang baik untuk aplikasi kecepatan rendah di mana suatu ketajaman tepi sangat diperlukan, seperti alat pemotong, pahat dan mata pisau.

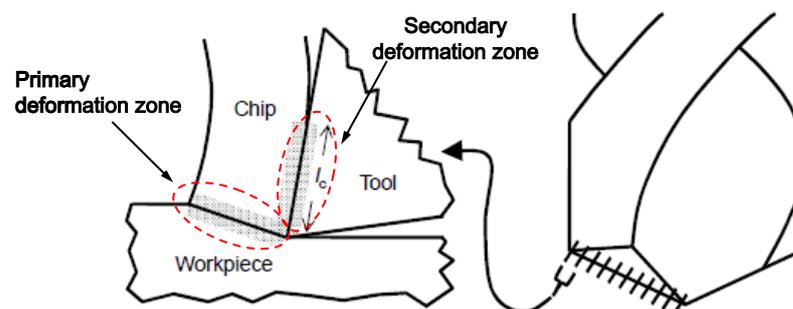
Baja kecepatan tinggi menjadi Fe-C-X *multicomponen* bercampur menjadi sistem logam di mana X mewakili; menunjukkan unsur logam pelapis *chromium, tungsten, molibdenum, vanadium*, atau unsur kimia kobalt. Secara umum, komponen X hadir lebih dari 7%, dengan karbon lebih dari 0,60%. Tingkatan T-1 dengan *tungsten* 18% tidak berubah komposisinya sejak tahun 1910 dan penggunaan tipe utama pada 1940, ketika diganti oleh *molibdenum*. Sekarang ini, hanya 5-10% dari HSS di Eropa dan hanya 2% di Amerika Serikat yang berasal dari jenis ini.

Penambahan 10% dari *tungsten* dan *molibdenum* secara keseluruhan memaksimalkan secara efisien kekerasan dan ketahanan dari baja kecepatan tinggi dan memelihara sifat-sifat pada temperatur tinggi yang dihasilkan ketika pemotongan logam [Krar, 1997].

I. Temperatur Pemotongan

Hampir seluruh energi pemotongan diubah menjadi panas melalui proses gesekan, antara geram dengan pahat dan antara pahat dengan benda kerja. Panas yang ditimbulkan cukup besar karena tekanan yang besar akibat gaya pemotongan dan luas bidang kontak relatif kecil maka temperature pahat dan bidang utamanya akan sangat tinggi temperturnya. Meskipun prosentase panas yang terbawah geram sangat tinggi tidaklah berarti bahwa temperatur geram menjadi lebih tinggi dari

pada temperatur pahat. Panas mengalir bersama sama geram yang selalu terbentuk dengan kecepatan tertentu, sedangkan panas yang merambat melalui pahat terjadi sebagai proses konduksi panas yang dipengaruhi oleh konduktivitas panas material pahat serta penampang pahat yang relative kecil. Panas dalam proses permesinan ketika logam dipotong, sejumlah energi dibutuhkan dalam mendeformasi geram (*chip*) dan mengatasi gesekan antara pahat dan benda. Hampir semua energi yang dibutuhkan itu diubah menjadi panas (sekitar 98%) [M.C Shaw, 1984], menghasilkan suhu yang tinggi dalam area zone deformasi (*primary and secondary deformation zone*) (lihat Gambar 12). Ini dapat menyebabkan suhu panas yang sangat tinggi pada benda kerja dan pahat, energi yang tersisa sekitar 2% adalah tetap dipertahankan sebagai energi elastis dalam chip.



Gambar 12. Daerah zone deformasi selama proses pemotongan

Suhu pemotongan (*cutting temperature*) adalah perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi unjuk kerja proses pemesinan. Temperatur pada daerah zone deformasi utama (*primary deformation zone*), dimana terjadi deformasi benda kerja menjadi geram akibat tegangan geser, mempengaruhi sifat mekanik benda kerja dan selanjutnya gaya pemotongan [D.A Stephenson, 2006] serta keausan tepi pahat. Sedangkan temperatur pada zone deformasi kedua (*secondary deformation zone*) sangat mempengaruhi umur pahat utamanya akibat keausan

kawah. Peningkatan temperatur pada zone ini menyebabkan pahat menjadi lunak dan keausannya menjadi cepat melalui proses abrasi dan deformasi plastik.

Selama proses gurdi atau pengeboran kondisi panas pada daerah kontak antara pahat dengan benda kerja dalam pengeboran memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan pemotongan ortogonal bubut (*turning*) dan *borring*. Geram yang terbentuk pada dasar lubang akan tetap mengalami kontak dengan mata bor dan mengalami penumpukan karena titik pengeboran bergerak lambat ke arah pors material kerja sehingga daerah kontak pahat – benda kerja mengalami pemanasan karena terbentuknya geram. Temperatur pada proses gurdi atau pengeboran sering kali tidak mencapai kondisi steady, tapi meningkat seiring dengan kedalaman lubang. Pada proses pemotongan yang lain temperatur pengeboran sangat dipengaruhi oleh kecepatan spindel dan laju gerak makan. Diantara parameter geometri pahat *point angle* memiliki pengaruh yang paling besar. Karena *point angle* meningkat, panjang ujung potongan pengeboran menurun, dan temperatur meningkat seiring difusi panas yang konstan ke bagian yang lebih kecil. Peningkatan sudut heliks, yang mengurangi torsi gurdi atau pengeboran, tampaknya tidak mempengaruhi temperatur pengeboran seperti yang diperkirakan karena panas yang dihasilkan dari pengeboran lebih berasal dari gesekan dari pada pergeseran material kerja [D.A Stephenson, 2006].

J. Analisis Temperatur Proses Gurdi Pada Zona Deformasi Geser

Kesulitan dalam mengukur temperatur pemotongan umumnya mendorong peneliti untuk melakukan analisis model prediksi temperatur. Analisis yang cukup dikenal baik adalah solusi sederhana untuk pelat yang panas yang bersumber dari model *Shear Plane* [Trent, 2000]. Seperti diilustrasikan pada gambar 13 mekanik

pemotongan gundi diasumsikan bahwa material benda kerja awalnya mempunyai temperatur sama dengan temperatur ruangan Θ_1 , dan pada saat deformasi plastis material benda kerja dipanaskan oleh 2 bidang sumber panas *primary deformation zone* dan *second deformation zone*, dimana merepresentasikan panas yang timbul akibat *deformasi plastis* sepanjang zone geser friksi sepanjang bidang geram pahat. benda kerja terdeformasi masih menjadi geram (chips) pada zona deformasi pertama dengan temperatur pemotongan Θ_s yang seragam dan selanjutnya temperatur pemotongan akan meningkat didaerah zona deformasi kedua akibat gesekan. Temperatur pemotongan pada zona deformasi geser (pertama) dapat dihitung dengan persamaan 5 [Stephenson et al,1993].

$$\Theta_s = \frac{T_1 \times P_s}{\rho c a b V} + \Theta_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

dimana : Θ_s = Temperatur pemotongan pada zona deformasi geser,

T_1 = Jumlah energi pada saat mengalami deformasi

P_s = Daya pada saat menalami deformasi

ρ = Konduktifitas termal

C = Massa jenis

a = Kecepatan makan

b = Zona deformasi

V = Kecepatan potong

Θ_1 = Temperatur ruangan

Untuk menentukan jumlah energi pada saat mengalami deformasi geser (T_1) dapat ditentukan dengan Persamaan 6 [Stephenson et al,1993]

$$T_1 = \frac{1}{1+1.329 \sqrt{\frac{k\gamma}{\rho c V a}}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

dimana, k = Konduktivitas panas

Selanjutnya Daya pada saat mengalami deformasi geser dapat ditentukan dengan persamaan 7 [al tintas, 2001].

$$P_s = F_s \times V_s \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana F_s adalah gaya pada saat mengalami deformasi geser. Gaya geser yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 8, sedangkan V_s adalah kecepatan geser [al tintas, 2001].

$$F_s = \tau_s \times A_s \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$A_s = \frac{b}{\cos i} \times \frac{h}{\sin \phi_n} \quad \dots\dots\dots (9)$$

dimana, A_s = Luas bidang geser (lihat gambar 13)

h = Kecepatan makan

$\cos i$ = Sudut *oblique*

ϕ_n = Sudut Geser

Sedangkan untuk mengetahui sudut geser (ϕ_n) dapat dihitung dengan persamaan 10 [al tintas, 2001].

$$\tan \phi_n = \frac{rc \times (\cos \eta / \cos i) \cos \alpha_n}{1 - rc \times (\cos \eta / \cos i) \cdot \sin \alpha_n} \quad \dots\dots\dots (10)$$

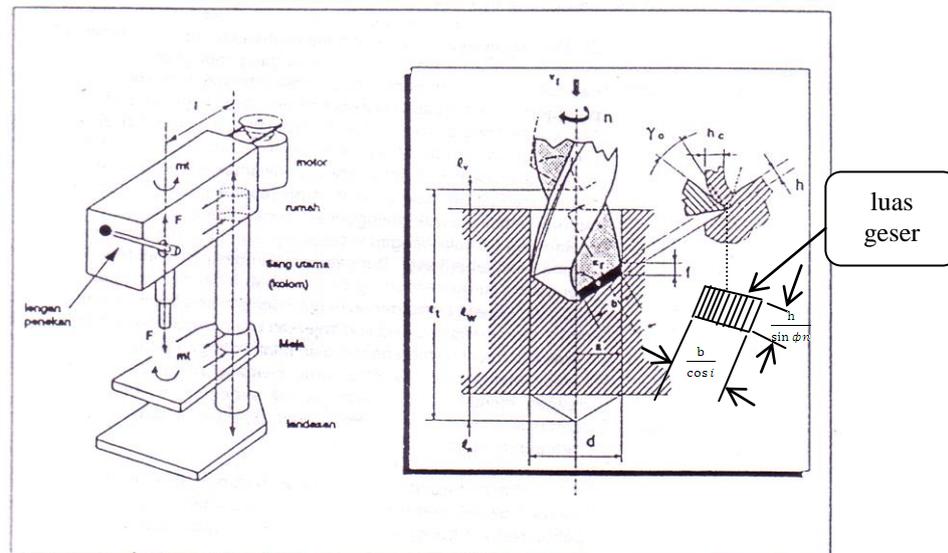
Dari persamaan diatas nilai η dan i diasumsikan sama, sehingga persamaan sudut geser menjadi persamaan sebagai berikut; [al tintas, 2001].

$$\tan \phi_n = \frac{rc \cdot \cos \alpha_n}{1 - rc \cdot \sin \alpha_n} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Dimana rasio (rc) didapat dari kecepatan makan dibagi dengan tebal chip yang dihasilkan selama proses pemotongan [al tintas, 2001].

$$rc = \frac{t_0}{t_c} \quad \dots\dots\dots (12)$$

dimana, $\alpha = \text{Helix angel}$
 $t_c = \text{Tebal geram}$
 $t_o = \text{Kecepatan Makan}$



Gambar 13. Luas Bidang Geser

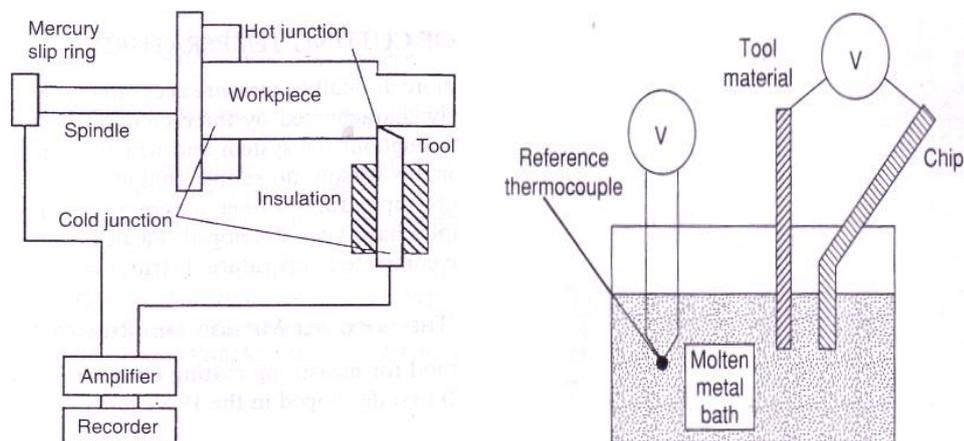
K. Pengukuran Temperatur Pemotongan

Temperatur pemotongan lebih sulit diukur secara akurat dibandingkan dengan gaya pemotongan. Gaya pemotongan adalah vektor yang dipengaruhi oleh tiga komponennya, sedangkan temperatur adalah besaran skalar yang memiliki banyak komponen dalam sistem dan tidak secara unik dapat dideskripsikan dalam beberapa poin tertentu. Untuk alasan-alasan ini, tidak ada perbandingan sederhana untuk dinamometer gaya pemotongan untuk mengukur temperatur pemotongan, jika dibandingkan.

Berikut ini dijelaskan beberapa metode yang umum digunakan dalam mengukur temperatur pemotongan.

- Metode Termokopel *tool-work*

Metode yang paling sering digunakan untuk mengukur temperatur pemotongan adalah metode termokopel *tool-work* seperti terlihat pada gambar 14, pertama kali dikenalkan pada tahun 1920 [H. Shore,1925; E.G.Herbert,1926]. Metode ini menggunakan pahat (*tool*) dan benda kerja sebagai elemen dari termokopel. *Hot Junction* adalah *interface* pahat dan bidang kerja, *cold junction* adalah dibentuk oleh bagian ymanaang terpisah dari pahat dan benda kerja yang harus dihubungkan dengan arus listrik dan diperlakukan pada keadaan temperatur konstan.



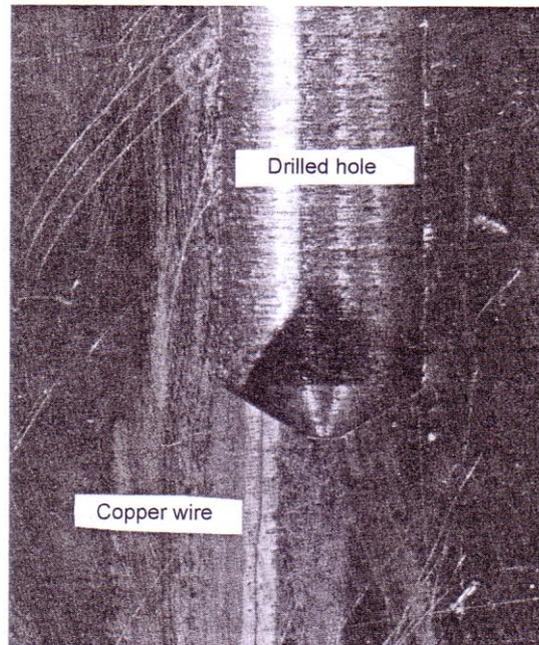
Gambar 14. Metode termokopel *Tool-Work*

Metode ini hanya dapat digunakan ketika pahat dan benda kerja adalah bahan konduktor yang mempunyai sifat listrik, dan metode ini tidak dapat digunakan pada berbagai pahat potong keramik. Daya termoelektrik dari sirkuit biasanya kecil dan harus diestimasi dengan mengkaliberasi sirkuit terhadap termokopel

- Metode Termokopel Konvensional

Termokopel konvensional dapat ditanam pada pahat atau pada benda kerjanya untuk memetakan distribusi temperatur (lihat gambar 15) [B. Alvelid,1970 ;S.Angapiou,1994]. Metode pengukuran ini tidak dapat diaplikasikan secara

menyeluruh karena persiapan spesimen yang cukup besar dibutuhkan. Tetapi metode pengukuran ini relatif akurat dimana hasil pengukurannya lebih akurat dibandingkan dengan metode termokopel *Tool-Work*.

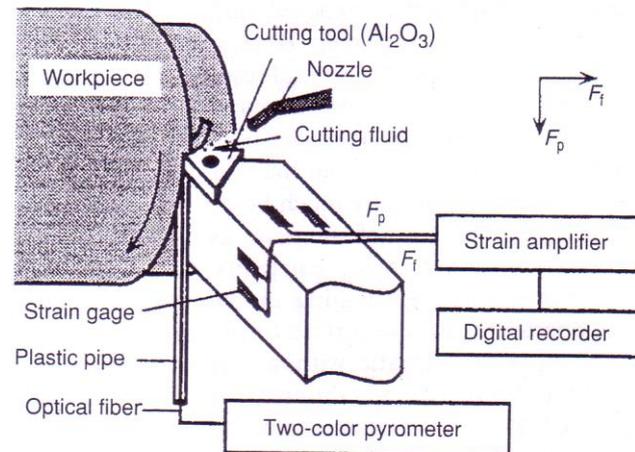


Gambar 15. Metode Termokopel Konvensional

- Metode Inframerah

Temperatur pemotongan juga dapat dihitung dengan mengukur radiasi inframerah yang keluar dari daerah pemotongan seperti terlihat pada gambar 16. Studi terbaik mengenai hal ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti [Schwerd, Reichenbach dan Boothroyd,1961]. Reichenbach menggunakan titik sensor yang digabung dengan lubang bor yang sempit dan temperatur permukaan. Metode pengukuran ini telah dimanfaatkan oleh banyak peneliti untuk mengukur temperatur permukaan menggunakan sensor pada proses pemotongan dan penggerindaan. Boothroyd menggunakan potografi inframerah penuh dari daerah pemotongan dengan kecepatan potong rendah. Dikarenakan sensitifitas film yang rendah, maka

sampel percobaan dipanaskan lagi dengan temperatur tinggi untuk mendapatkan sinyal inframerah yang kuat.



Gambar 16. Metode Inframerah

- Metode Metalurgi

Material logam sering berhubungan dengan transformasi metalurgi atau perubahan kekerasan yang dapat pula berhubungan dengan temperatur. Fakta ini membuat kemungkinan untuk memetakan distribusi temperatur pada pahat dengan membagi daerah pahat setelah dilakukan pemotongan dan kita lakukan pemeriksaan metalografi atau mikroskopis. Metode ini membutuhkan pengukuran postmortem dan oleh karena itu sangat sulit untuk digunakan pada pemeriksaan rutin.

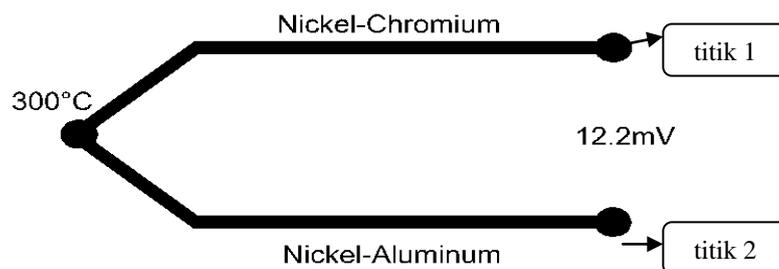
L. Termokopel

Pada dunia elektronika, termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (*voltase*). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis

konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C.

M. Prinsip Operasi Termokopel

Pada tahun 1821, seorang *fisikawan Estonia* bernama *Thomas Johann Seebeck* menemukan bahwa sebuah konduktor (semacam logam) yang diberi perbedaan panas secara gradien akan menghasilkan tegangan listrik. Hal ini disebut sebagai efek termoelektrik ilustrasi dari prinsip kerja termokopel dapat dilihat pada gambar 17. Untuk mengukur perubahan panas ini gabungan dua macam konduktor sekaligus sering dipakai pada ujung benda panas yang diukur. Konduktor tambahan ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berkebalikan dengan perbedaan temperatur benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan kita melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur.



Gambar 17. Prinsip Kerja Termokopel

Beberapa kombinasi menjadi populer sebagai standar industri, dilihat dari biaya, ketersediaanya, kemudahan, titik lebur, kemampuan kimia, stabilitas, dan hasil. Sangat penting diingat bahwa termokopel mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik, bukan temperatur absolut.

Pada banyak aplikasi, salah satu sambungan (sambungan yang dingin) dijaga sebagai temperatur referensi, sedang yang lain dihubungkan pada objek pengukuran. Termokopel dapat dihubungkan secara seri satu sama lain untuk membuat termopile, dimana tiap sambungan yang panas diarahkan ke suhu yang lebih tinggi dan semua sambungan dingin ke suhu yang lebih rendah. Dengan begitu, tegangan pada setiap termokopel menjadi naik, yang memungkinkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi. Dengan adanya suhu tetapan pada sambungan dingin, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, secara sederhana termokopel tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Mereka menambahkan sambungan dingin tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu (seperti termistor atau dioda) untuk mengukur suhu sambungan input pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya. Hal ini dikenal dengan kompensasi hubungan dingin. Biasanya termokopel dihubungkan dengan alat indikasi oleh kawat yang disebut kabel ekstensi atau kompensasi. Kabel ekstensi menggunakan kawat-kawat dengan jumlah yang sama dengan konduktor yang dipakai pada Termokopel itu sendiri. Kabel-kabel ini biasanya memiliki spesifikasi untuk rentang suhu yang lebih besar. Mereka memakai perbedaan kecil, biasanya campuran material konduktor yang murah yang memiliki koefisien termoelektrik yang sama dengan termokopel (bekerja pada rentang suhu terbatas), dengan hasil yang tidak seakurat kabel ekstensi. Kabel ekstensi atau kompensasi harus dipilih sesuai kebutuhan termokopel. Pemilihan ini menghasilkan tegangan yang proporsional terhadap beda suhu antara sambungan panas dan dingin, dan kutub harus dihubungkan dengan benar

sehingga tegangan tambahan ditambahkan pada tegangan termokopel, menggantikan perbedaan suhu antara sambungan panas dan dingin.

Hubungan antara perbedaan suhu dengan tegangan yang dihasilkan termokopel bukan merupakan fungsi linier melainkan fungsi interpolasi polynomial koefisien memiliki nilai n . Agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat, persamaan biasanya diimplementasikan pada kontroler digital atau disimpan dalam sebuah tabel pengamatan.

N. Tipe-Tipe Termokopel

Tersedia beberapa jenis termokopel (Tabel 3), tergantung aplikasi penggunaannya

1. Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy) ialah Termokopel untuk tujuan umum, Lebih murah, Tersedia untuk rentang suhu -200°C hingga $+1350^{\circ}\text{C}$. Tipe K adalah termokopel dengan sensitivitas sekitar $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
2. Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy) Tipe E memiliki output yang besar ($68 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.
3. Tipe J (Iron / Constantan) Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
4. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy) Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas 1200°C . Sensitifitasnya

sekitar $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K

Sedangkan Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Termokopel B,R, dan S ini adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ($>300^\circ\text{C}$).

1. Type B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh) Cocok mengukur suhu di atas 1800°C . Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50°C .
2. Type R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium) Cocok mengukur suhu di atas 1600°C . sensitivitas rendah ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.
3. Type S (Platinum/Platinum with 10% Rhodium) Cocok mengukur suhu di atas 1600°C . Sensitivitas rendah ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas (1064.43°C).

Type T (Copper/Constantan) Cocok untuk pengukuran antara -200 to 350°C . Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ [[http:// id.wikipedia.org/](http://id.wikipedia.org/)].

Tabel 2. Kode warna pada Termokopel

Jenis	Rentang temperatur ° C (kontinu)	Rentang temperatur ° C (jangka pendek)	Kode warna
K	0 – 1100	-180 - 1.300	
J	0 – 700	-180 - 800	
N	0 – 1100	-270 - 1.300	
R	0 – 1600	-50 - 1.700	
S	0 – 1600	-50 - 1.750	
B	200 – 1700	0 - 1820	Tidak menggunakan standar kawat
T	-185 – 300	-250 - 400	
E	0 – 800	-40 - 900	

O. Penggunaan Termokopel

Termokopel paling cocok digunakan untuk mengukur rentangan suhu yang luas, hingga 1800 K. Sebaliknya, kurang cocok untuk pengukuran perbedaan suhu yang kecil harus diukur dengan akurasi tingkat tinggi, contohnya rentang suhu 0 sampai dengan 100 °C dengan keakuratan 0.1 °C. Untuk aplikasi ini, termistor lebih cocok untuk digunakan. Contoh Penggunaan Termokopel yang umum antara lain :

- Industri besi dan baja
- Pengaman pada alat-alat pemanas
- Untuk termopile sensor radiasi
- Pembangkit listrik tenaga panas radioisotop, salah satu aplikasi termopile.

P. Osiloskop

Osiloskop adalah alat ukur besaran listrik yang dapat memetakan sinyal listrik. Pada kebanyakan aplikasi, grafik yang ditampilkan memperlihatkan bagaimana sinyal berubah terhadap waktu.

Contoh beberapa kegunaan osiloskop :

- Mengukur besar tegangan listrik dan hubungannya terhadap waktu.
- Mengukur frekuensi sinyal yang berosilasi.
- Mengecek jalannya suatu sinyal pada sebuah rangkaian listrik.
- Membedakan arus AC dengan arus DC.
- Mengecek noise pada sebuah rangkaian listrik dan hubungannya terhadap waktu.

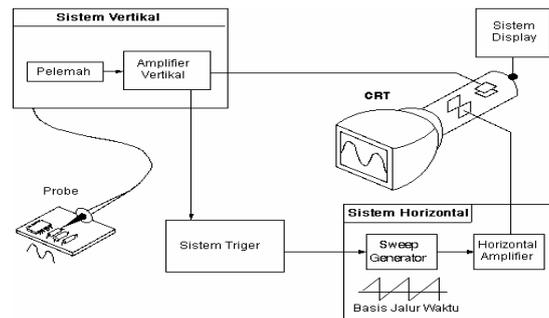
Osiloskop dikelompokkan menjadi dua bagian berdasarkan cara kerjanya, yaitu: osiloskop analog dan osiloskop digital.

1. Osiloskop analog (lihat gambar 18) menggunakan tegangan yang diukur untuk menggerakkan berkas elektron dalam tabung gambar ke atas atau ke bawah sesuai untuk gelombang yang diukur. Pada layar osiloskop dapat langsung ditampilkan bentuk gelombang tersebut.

Cara Kerja Osiloskop Analog

- Pada saat osiloskop dihubungkan dengan sirkuit, sinyal tegangan bergerak melalui probe ke sistem vertical.
- Bergantung kepada pengaturan skala vertical (*volts/div*), attenuator akan memperkecil sinyal masukan sedangkan amplifier akan memperkuat sinyal masukan.
- Selanjutnya sinyal tersebut akan bergerak melalui keeping

pembelok vertikal dalam CRT (*Cathode Ray Tube*). Tegangan yang diberikan pada pelat tersebut akan mengakibatkan titik cahaya bergerak (berkas electron yang menumbuk fosfor dalam CRT akan menghasilkan pendaran cahaya). Tegangan positif akan menyebabkan titik tersebut naik sedangkan tegangan negatif akan menyebabkan titik tersebut turun.

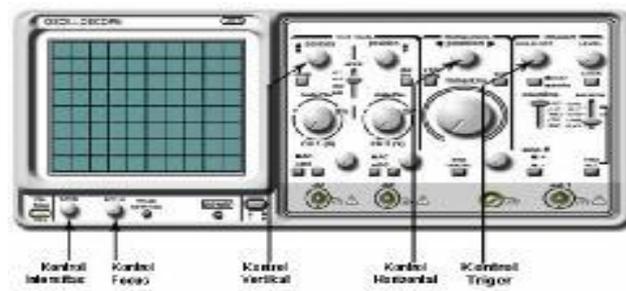


Gambar 18. Osiloskop analog

- Osiloskop digital (lihat gambar 19) merekam bentuk gelombang yang diukur dan dengan menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah besaran tegangan yang didapat menjadi besaran digital.

Cara Kerja Osiloskop Digital

Jika dalam osiloskop analog gelombang yang akan ditampilkan langsung diberikan ke rangkaian vertikal sehingga diambil begitu saja (*real time*), maka dalam osiloskop digital, gelombang yang akan ditampilkan lebih dulu digitalisasikan. Osiloskop kemudian menyimpan nilai-nilai tegangan ini bersama sama dengan skala waktu gelombang di memori. Pada prinsipnya, osiloskop digital hanya merekam dan menyimpan demikian banyak nilai dan kemudian berhenti. Ia mengulang proses ini lagi dan lagi sampai dihentikan.



Gambar 19. Osiloskop digital

Q. Bagian Osiloskop

Adapun bagian dari osiloskop :

1. *Probe* adalah kabel penghubung yang ujungnya diberi penjepit, dengan penghantar berkualitas, dapat meredam sinyal-sinyal gangguan, seperti sinyal radio atau noise yang kuat. Ada dua terminal penghubung pada probe, yaitu ujung probe dan kabel ground yang biasanya dipasang capcit buaya. Pada prakteknya capcit buaya tersebut dihubungkan dengan bagian ground pada rangkaian, seperti chasis logam, dan sentuhkan ujung probe pada titik yang dites pada rangkaian.
2. Pengendali intensitas digunakan untuk mengatur intensitas cahaya gambar gelombang yang ditampilkan pada monitor osiloskop. Bila anda menambahkan kecepatan sapuan (*sweep speed*) pada osiloskop analog, maka anda harus meningkatkan pula tingkat intensitas.
3. Pengendali fokus digunakan untuk mengatur ketajaman gambar gelombang. Pengendali ini hanya terdapat pada osiloskop analog.
4. Pengendali vertikal digunakan untuk merubah posisi dan skala gelombang secara vertikal. Osiloskop memiliki pula pengendali untuk mengatur masukan coupling dan kondisi sinyal lainnya yang dibahas pada bagian ini.

R. Pengukuran Tegangan

Tegangan adalah besar beda potensial listrik dinyatakan dalam *Voltase*, antara dua titik pada rangkaian. Biasanya salah satu titiknya adalah titik ground, tapi tidak selalu. Tegangan juga diukur dari puncak ke puncak, yaitu dari titik maksimum ke titik minimum. Pada dasarnya osiloskop adalah alat ukur tegangan. Sebagai contoh pengukuran arus dengan menerapkan hukum Ohm arus dapat diketahui melalui pengukuran tegangan dan membaginya dengan besar hambatan yang digunakan. Penerapan penghitungan juga bisa dilakukan untuk arus AC tetapi tentunya akan lebih rumit, tetapi pada intinya bahwa dengan mengukur tegangan sebagai langkah awal, maka besaran lain dapat diketahui melalui penghitungan.

[<http://www.google.com>]