



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**ANALISA KUALITAS GEOMETRI
PROSES GURDI MATERIAL POLIMER PADA MESIN GURDI
RADIAL**

TUGAS AKHIR



**FEBRIANSYAH
04 171 018**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2009**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia dan anugrah-Nya yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisa Kualitas Geometri Proses Gurdi Polimer pada Mesin Gurdi Radial”**.

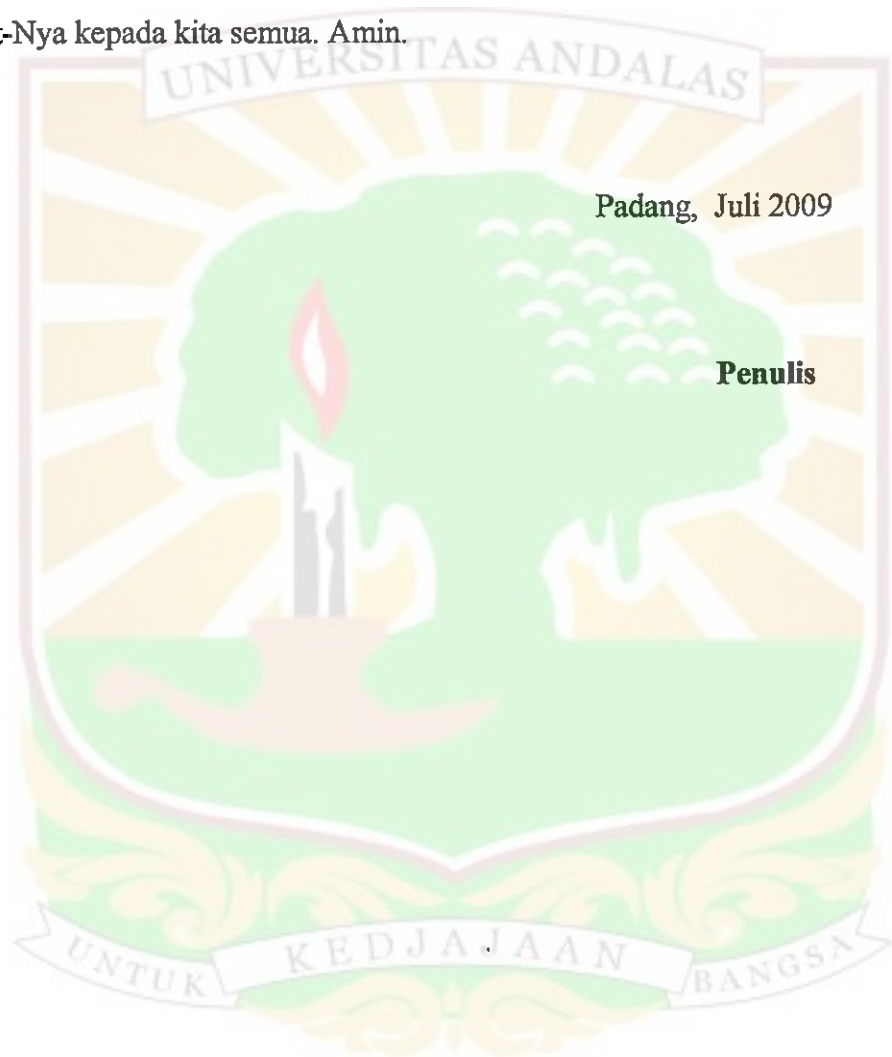
Pembuatan tugas akhir ini merupakan salah satu dari pelaksanaan kegiatan perkuliahan dan syarat untuk menyelesaikan program pendidikan sarjana teknik mesin di Universitas Andalas.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi penulis berikan kepada kedua orang tua tercinta, serta seluruh keluarga yang senantiasa berdoa untuk keberhasilan penulis. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ismet Hari Mulyadi, M.Sc, selaku pembimbing utama Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan yang sangat berarti selama penyusunan laporan ini.
2. Bapak Dr-Ing. Agus Sutanto, selaku Kepala Laboratorium Metrologi Industri yang telah memberikan masukan dan bantuan kepada penulis selama penyusunan laporan ini.
3. Bapak Adam Malik, M.Eng, selaku Kepala Laboratorium Inti Teknologi Produksi.
4. Bapak Prof.Dr.Eng. Gunawarman, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar di lingkungan Jurusan teknik mesin Universitas Andalas yang telah banyak memberikan ilmu, masukan dan arahan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
6. Rekan-rekan asisten LITP beserta semua teman-teman angkatan M'04 yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan laporan ini baik moril maupun materil.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan-kesalahan baik dari segi isi maupun penulisan yang diakibatkan oleh kedangkalan ilmu yang penulis miliki.

Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari seluruh pembaca demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT senantiasa memberikan petunjuk dan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.



Abstrak

Dewasa ini plastic/polimer banyak digunakan dalam sektor industri seperti : dalam bidang teknik, elektronika, maupun dalam bidang kedokteran. Proses pembuatannya banyak dengan menggunakan proses pembentukan (injection molding). Proses pembentukan ini belum dapat menghasilkan ketelitian geometri yang tinggi. Oleh karena itu proses pemesinan lebih dipilih karena dapat menghasilkan kualitas geometri yang lebih baik. Pada penelitian ini dicoba untuk melihat hasil proses pemesinan dengan menggunakan mesin gurdi radial terhadap bahan polimer. Yang menjadi pokok penelitian adalah tentang kualitas geometri produk hasil proses pemesinan, khususnya ketegaklurusan dan kebulatan lubang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dial test indicator (pupitas) untuk enam buah lubang dengan kedalaman masing-masing lubang yaitu 12.5 mm dan diameter lubang yaitu 27 mm. Dari hasil pengujian dapat ditentukan bahwa kualitas geometri polimer yang dihasilkan secara umum tidak begitu baik. Jika ditinjau dari segi ketegaklurusan sudah cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari total penyimpangan rata-rata ketegaklurusan yaitu sebesar -0.0038 mm, sedangkan toleransi mesin sebesar 0.01 mm. Sedangkan jika ditinjau dari segi kebulatan tidak begitu baik, hal ini karena total penyimpangan rata-rata kebulatan lubang sebesar 0.0690 mm. Hal ini berarti kualitas lubang berada di luar daerah toleransi mesin yaitu sebesar 0.025 mm. Sedangkan untuk nilai ketidakbulatan didapat 0.1 mm.



DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR GRAFIK	vi
DAFTAR NOTASI	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mesin perkakas gurdi	6
2.2 Pahat Gurdi	9
2.2.1 Jenis Pahat Gurdi	9
2.2.2 Material Pahat	10
2.2.3 Geometri Pahat	12
2.3 Prosedur Penentuan Kondisi Pemotongan Optimum	14
2.4 Gaya Pemotongan	15
2.4.1 Gaya Pemotongan Teoritis	15
2.4.2 Gaya Pemotongan Teoritis Untuk Proses Gurdi	16
2.4.3 Gaya Pemotongan Empirik	17
2.4.4 Gaya Pemotongan Empirik Untuk Proses Gurdi	18
2.5 Polimer	19
2.5.1 Pemesinan Polimer	19

2.5.2	Sifat Mampu mesin (<i>Machinability</i>)	21
2.5.3	<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	23
2.6	Spesifikasi Geometri	23
2.6.1	Toleransi Geometri	23
2.6.2	Ketegaklurusan	27
2.6.3	Kebulatan	29

BAB III METODOLOGI

3.1	Objek Penelitian	36
3.2	Peralatan yang Dipergunakan	36
3.3	Metoda Pengukuran	39
3.3.1	Pengukuran Ketegaklurusan Lubang	39
3.3.2	Pengukuran Kebulatan Lubang	40
3.4	Pengolahan Data	42
3.5	Prosedur Pengujian	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48

DAFTAR KEPUSTAKAAN

LAMPIRAN



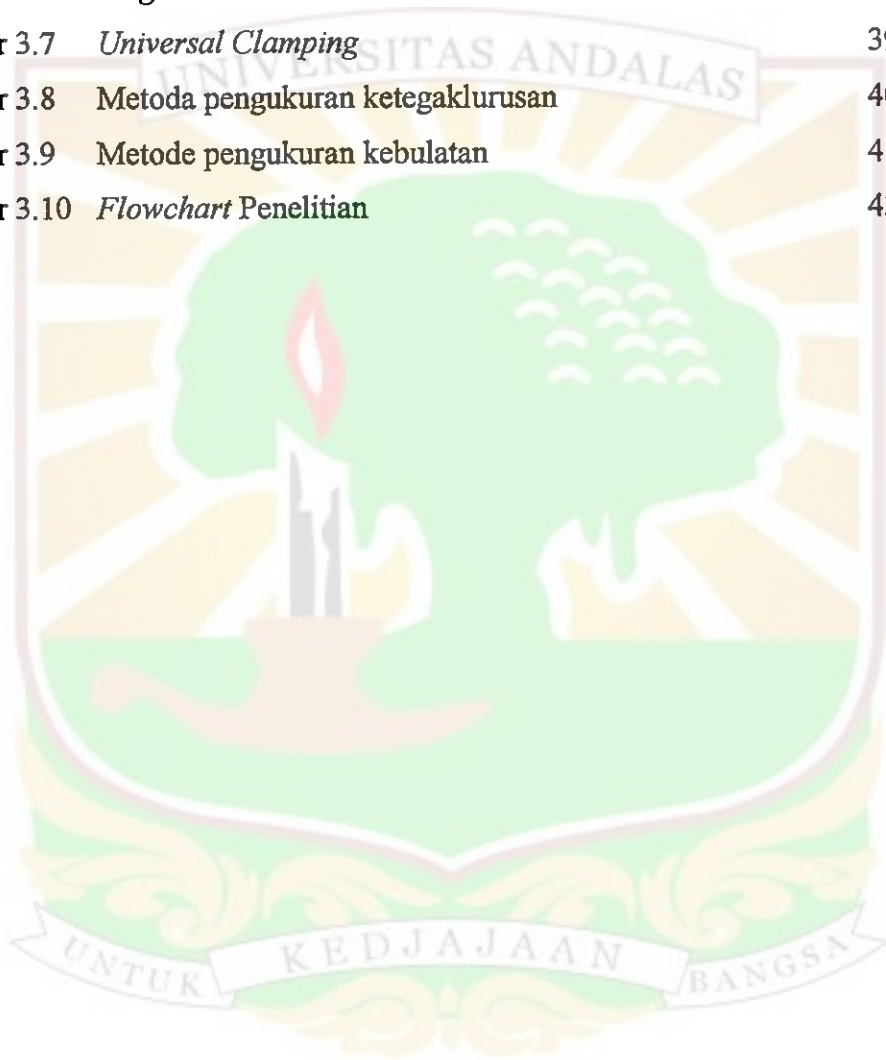
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat- Sifat Fisik Beberapa Jenis Polimer	21
Tabel 2.2 Sifat Relatif Polimer	22
Tabel 2.3 Tingkatan diameter nominal s.d 500 mm	24
Tabel 2.4 Harga toleransi standar untuk kualitas 5 sampai 16	25
Tabel 2.5 Harga toleransi standar untuk kualitas 01, sampai 4	25
Tabel 2.6 Berbagai jenis daerah toleransi yang dapat diimajinasikan sesuai dengan masalah geometrik yang dianalisis.	25
Tabel 2.7 Simbol Karakter Geometrik	26
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian untuk Pengukuran Ketegaklurusan Lubang	40
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian untuk Pengukuran Kebulatan Lubang	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Gurdi	6
Gambar 2.2 Pengaturan <i>Surface Gage</i>	8
Gambar 2.3 Pemutaran benda kerja	8
Gambar 2.4 Pembuatan lingkaran dengan jangkar	8
Gambar 2.5 Proses Pelubangan	8
Gambar 2.6 Jenis-jenis pahat gurdi	9
Gambar 2.7 Hot hardness beberapa pahat	10
Gambar 2.8 Pahat gurdi	14
Gambar 2.9 Lingkaran Merchant	16
Gambar 2.10 Gaya pemotongan dalam proses menggurdi	17
Gambar 2.11 Pemeriksaan ketegaklurusan dengan memakai standar siku	27
Gambar 2.12 Pengukuran ketegaklurusan dengan memakai batang paralel	28
Gambar 2.13 Pengukuran ketegaklurusan dari dua bidang paralel	28
Gambar 2.14 Pengukuran ketegaklurusan dengan memakai Autocollimator	29
Gambar 2.15 Pengukuran kebulatan dengan blok V	30
Gambar 2.16 Lingkaran Dalam Maksimum	31
Gambar 2.17 Lingkaran Dalam Maksimum	32
Gambar 2.18 Lingkaran Daerah Minimum	32
Gambar 2.19 Lingkaran Kuadrat Terkecil	33
Gambar 2.20 Penentuan titik tengah dan jari-jari Lingkaran Kuadrat Terkecil dengan perhitungan pendekatan	33
Gambar 2.21 Pemakaian mistar lingkaran transparan untuk menentukan MRZ pergeseran titik tengah dilakukan dengan memperhatikan lebar celah yang terjadi.	34
Gambar 2.22 Pengaruh posisi tonjolan	34

Gambar 2.23	Pengaruh tonjolan ekstrim	35
Gambar 3.1	Benda Kerja	36
Gambar 3.2	Mesin Gurdi Radial	36
Gambar 3.3	Pahat HSS Gurdi	37
Gambar 3.4	Mistar ukur	37
Gambar 3.5	Pupitas	38
Gambar 3.6	<i>Magnetic Stand</i>	38
Gambar 3.7	<i>Universal Clamping</i>	39
Gambar 3.8	Metoda pengukuran ketegaklurusan	40
Gambar 3.9	Metode pengukuran kebulatan	41
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> Penelitian	43



DAFTAR GRAFIK

Halaman

Grafik 4.1	ketegaklurusan Lubang	44
Grafik 4.2	Kebulatan Lubang	46



DAFTAR NOTASI

Notasi	Arti	Satuan
d	: Diameter Pahat	mm
f_t	: Jumlah Derajat Kebebasan	
f_z	: Gerak Makan Pergigi	mm/gigi
l	: Panjang Sampel	mm
l_g	: Panjang Pengukuran	mm
l_n	: Panjang Pengakhiran	mm
l_t	: Panjang Pemotongan	mm
l_v	: Panjang Pengawalan	mm
l_w	: Lebar Pemotongan	mm
n	: Putaran Spindel	rpm
S'	: Jumlah Kuadrat Murni	μm^2
T	: Jumlah Hasil	μm
t_c	: Waktu Pemotongan	min
V_c	: Kecepatan Potong	mm/min
V_f	: Kecepatan Makan	mm/min
z	: Jumlah Gigi Pahat	Buah
Z	: Kecepatan Penghasilan Geram	cm^3/min
K_r	: Sudut Potong Utama $^\circ$

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penggunaan material logam sebagai bahan baku dalam pembuatan produk ataupun komponen-komponen mesin telah berkembang sangat pesat. Hal tersebut berakibat kepada peningkatan terhadap kebutuhan akan logam. Logam yang dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan produk atau komponen mesin berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*). Dengan meningkatnya kebutuhan, mengakibatkan persediaan akan logam mulai menipis. Untuk itu manusia; dengan perkembangan pola pikir dan kemajuan ilmu pengetahuan di bidang material, berusaha menemukan material pengganti yang sepadan, bahkan kalau memungkinkan lebih efektif dan efisien dibandingkan logam yang ada pada saat ini. Material non logam yang telah berhasil dikembangkan antara lain seperti polimer, komposit, keramik dan lain-lain yang memiliki tingkat efektifitas dan efisiensi yang lebih tinggi.

Saat ini yang telah berkembang penggunaannya adalah polimer, yang banyak dipergunakan sebagai elemen sistem mekanik pada alat-alat berukuran kecil. Polimer memiliki sifat mekanik serta fisiknya yang lebih baik dibandingkan material lain. Selain itu, polimer memiliki ketahanan terhadap korosi serta proses produksinya yang relatif lebih mudah. Dengan demikian pemakaian polimer; dari segi biaya produksi akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan memakai material lain (logam).

Saat ini pembuatan produk-produk dari polimer lebih banyak mengandalkan proses deformasi, terutama dilakukan pada kondisi cair, seperti proses injeksi, ekstrusi, maupun cetakan. Pada umumnya, produk yang dihasilkan masih belum dapat memenuhi tuntutan yang semakin tinggi terhadap kualitas (geometri dan hasil permukaan). Untuk mengatasi hal tersebut agar penggunaan produk-produk dari polimer semakin berkembang; agar dapat dipergunakan untuk komponen yang lebih presisi, pilihan yang paling tepat adalah dengan melibatkan proses

pemesinan. Proses pemesinan yang memanfaatkan gerak relatif antara benda kerja dan pahat jika dipergunakan pada polimer seperti halnya pada logam secara umum akan berakibat pada kualitas produk yang jelek. Hal ini disebabkan karena material polimer memiliki kecenderungan bersifat lebih lunak dari logam (*ductile*) sehingga akan berpengaruh kepada mampu-mesinnya (*machinability*).

Saat ini penelitian mengenai mampu-mesin dari material polimer lebih banyak dilakukan di negara-negara industri dengan mempergunakan mesin-mesin yang memiliki kemampuan lebih tinggi. Seperti yang telah dilakukan oleh Salles dan Gonzalves (2003) yang menghasilkan hasil yang menjanjikan terhadap proses pemesinan terhadap material polimer. Selanjutnya Rahmadi (2006) dengan mempergunakan mesin perkakas kontrol numerik, juga telah membuktikan bahwa pemesinan material polimer dengan pemilihan parameter pemesinan yang tepat dapat meningkatkan mampu-mesinnya sehingga mampu menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang baik.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan cenderung mengarah pada pemakaian mesin perkakas yang memiliki ketelitian yang tinggi. Agar produk-produk dari polimer dapat diproduksi dengan biaya yang lebih rendah dengan menggunakan mesin-mesin perkakas yang umum dipergunakan pada bengkel-bengkel, maka perlu dilakukan penelitian terhadap material polimer dengan memanfaatkan mesin perkakas yang mempunyai daya pemotongan yang rendah dan tingkat ketelitian rendah. Untuk itu, pada tugas akhir ini dicoba untuk melakukan penelitian untuk mengamati kualitas ketelitian dimensi dan geometri produk polimer hasil proses pemesinan dengan menggunakan mesin Gurdi Radial yang ada di Laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Mempelajari kualitas geometri lubang hasil proses gurdi polimer

- Menganalisa penyimpangan geometri khususnya kebulatan dan ketegaklurusan proses gurdi polimer
- Mendapatkan data pemesinan untuk proses gurdi polimer dengan menggunakan mesin Gurdi radial.

1.3 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah :

- Mengetahui tingkat kualitas lubang yang dihasilkan pada mesin perkakas Gurdi Radial dengan material polimer
- Mendapatkan data pemesinan untuk kebulatan dan ketegaklurusan lubang pada proses Gurdi material

1.4 Batasan Masalah

Pengamatan dibatasi hanya untuk mengamati dan menganalisa kualitas geometri khususnya ketegaklurusan dan kebulatan benda kerja polimer hasil proses gurdi polimer pada mesin Gurdi radial

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini berisikan lima BAB yang terdiri dari :

- BAB I** : **PENDAHULUAN**, berisikan latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- BAB II** : **TINJAUAN PUSTAKA**, berisikan dasar-dasar teori tentang proses gurdi, material polimer dan spesifikasi geometri.
- BAB III** : **METODOLOGI**, membahas tentang metode, alat-alat, dan prosedur penelitian.
- BAB IV** : **HASIL DAN PEMBAHASAN**, berisikan hasil dan analisa data penelitian.
- BAB V** : **PENUTUP**, berisikan kesimpulan dan saran tentang tugas akhir
- DAFTAR KEPUSTAKAAN**
- LAMPIRAN**

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Perkakas Gurdi

Proses menggurdi merupakan proses pembuatan lubang pada sebuah objek dengan menekankan sebuah pahat gurdi yang berputar kepadanya. Proses pembuatan lubang ini tidak hanya dapat dilakukan dengan mempergunakan mesin gurdi, tetapi juga dapat dilakukan dengan mesin freis, mesin bubut dan bahkan dengan mempergunakan proses manufaktur lain seperti, mempons, pengelasan, dan lain-lain. Hanya saja proses-proses tersebut memiliki keterbatasan dan tidak dapat menghasilkan lubang yang memiliki kualitas lebih baik dibandingkan dengan mempergunakan proses pemesinan.

Pahat gurdi mempunyai dua mata potong (*multiple-point cutting tools*) dan melakukan gerak potong berupa putaran poros utama mesin gurdi. Putaran tersebut dapat dipilih dari beberapa tingkatan putaran yang tersedia pada mesin gurdi, atau ditetapkan sekehendak bila sistim transmisi putaran mesin gurdi merupakan sistim berkesinambungan (*steples spindle drive*). Gerak makan dapat dipilih bila mesin gurdi mempunyai sistim gerak makan dengan tenaga motor (*power feeding*). Untuk jenis mesin gurdi yang kecil (mesin gurdi bangku) gerak makan tersebut tidak dapat dipastikan karena tergantung pada kekuatan tangan untuk menekan lengan poros utama. Selain itu, proses gurdi dapat dilakukan pada mesin bubut dimana benda kerja diputar oleh pencekam poros utama dan gerak makan dilakukan oleh mata pahat gurdi yang dipasang pada *arbor*.

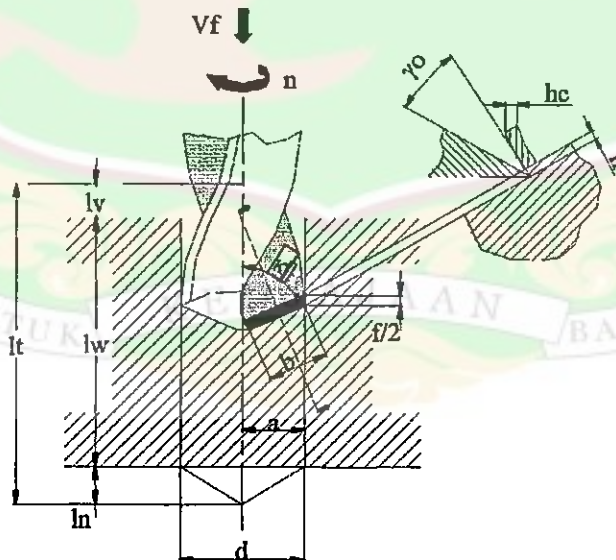
Berdasarkan konstruksinya mesin gurdi dapat dikelompokkan atas :

- a. Mesin gurdi portabel / mampu bawa
- b. Mesin penggurdi teliti :
 1. Mesin pasangan bangku
 2. Pasangan lantai
- c. Penggurdi radial
- d. Mesin penggurdi tegak :

1. Tugas ringan
 2. Tugas berat
 3. Mesin penggurdi kelompok
- e. Mesin penggurdi spindel jamak :
1. Unit tunggal
 2. Jenis jalan
- f. Mesin penggurdi turet
- g. Mesin penggurdi produksi otomatis ;
1. Meja pengarah
 2. Jenis jalan
- h. Mesin penggurdi di lubang dalam.

Selanjutnya pada proses gurdi dikenal beberapa istilah yaitu :

1. *Drilling* adalah proses pembuatan lubang pada suatu objek atau benda kerja.
2. *Boring* adalah memperbesar lubang yang telah digurdi atau diberi inti.
3. *Reaming* adalah memperbesar lubang yang telah digurdi sampai ukuran yang sesuai dengan penyelesaian yang halus menggunakan pahat yang teliti dan tidak didisain untuk membuang logam yang banyak.



Gambar 2.1 Proses Gurdi

Dalam melakukan proses gurdi yang baik, aspek yang harus diperhatikan antara lain adalah elemen dasar proses (seperti yang terlihat pada skema proses gurdi pada Gambar 2.1), yaitu :

1. Kecepatan potong

$$v_c = (\pi dn)/1000 ; \text{ m/min} \quad (2.1)$$

dimana :

d = diameter pahat gurdi; mm

n = putaran spindle; rpm

2. Gerak makan permata potong

$$f_z = v_f/(nz) ; \text{ mm/r} \quad (2.2)$$

dimana :

v_f = kecepatan makan; mm/min

z = jumlah gigi pahat gurdi

3. Kedalaman potong

$$a = \frac{d}{2} ; \text{ mm} \quad (2.3)$$

4. Waktu pemotongan

$$t_c = l/v_f ; \text{ min} \quad (2.4)$$

dimana :

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

l_v = panjang pengawalan; mm

l_w = panjang pemotongan benda kerja; mm

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

k_r = sudut mata potong utama

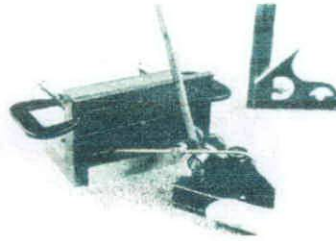
5. Kecepatan penghasilan geram

$$Z = \pi.d^2 v_f / 4. 1000 ; \text{ cm}^3/\text{min} \quad (2.5)$$

Untuk menghasilkan lubang yang sesuai dengan gambar rancangan atau memiliki ketelitian yang baik, maka prosedur yang harus dilakukan menurut **Chapman** (1943) yaitu :

- Bersihkan benda kerja
- Bersihkan permukaan benda kerja dan jepit setiap sudutnya

- Atur *surface gage* sesuai dengan posisi dan ukuran lubang pada gambar rancangan (Gambar 2.2).



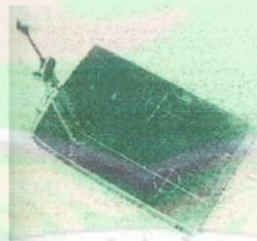
Gambar 2.2 Pengaturan *Surface Gage* (Chapman, 1943, hal 145)

Putar benda kerja 90° dan buat garis horizontal (Gambar 2.3), dan atur *surface gage* sesuai gambar rancangan.



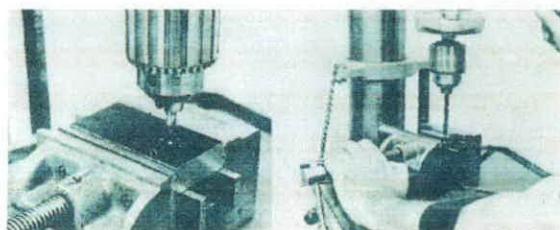
Gambar 2.3 Pemutaran benda kerja (Chapman, 1943 hal 146)

- Buat lingkaran dengan titik pusatnya perpotongan garis horizontal dan vertical dengan menggunakan jangkar (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Pembuatan lingkaran dengan jangkar (Chapman, 1943, hal 147)

- Letakan benda kerja pada meja mesin dalam kondisi terjepit ragum dan lakukan pelubangan (Gambar 2.5)



Gambar 2.5 Proses Pelubangan (Chapman, 1943, hal 147)

2.2 Pahat Gurdi

2.2.1 Jenis Pahat Gurdi

Ada tiga jenis pahat gurdi, yaitu (Gambar 2.6) :

1. Penggurdi Puntir (*twist drill*)

Penggurdi puntir merupakan penggurdi dengan dua galur dan dua tepi potong.

2. Penggurdi Pistol (*gun drill*)

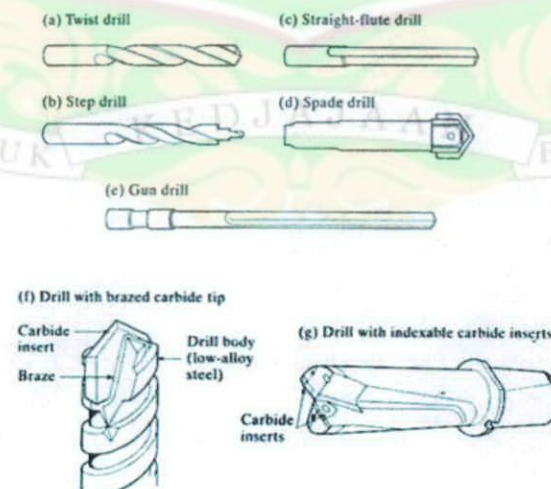
Terdiri dari dua jenis, yaitu :

- a. Bergalur lurus yang digunakan untuk penggurdian lubang yang dalam (penggurdi trepan).
- b. *Gun drill* pemotong pusat yang fungsinya hampir sama dengan penggurdi trepan. *Gun drill* ini mempunyai kecepatan potong yang lebih tinggi dari penggurdi puntir konvensional.

3. Penggurdi Khusus

Penggurdi khusus ini digunakan untuk menggurdi lubang yang lebih besar yang tidak dapat dilakukan oleh penggurdi puntir ataupun oleh penggurdi pistol.

Beberapa jenis pahat gurdi dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar : Various types of drills.

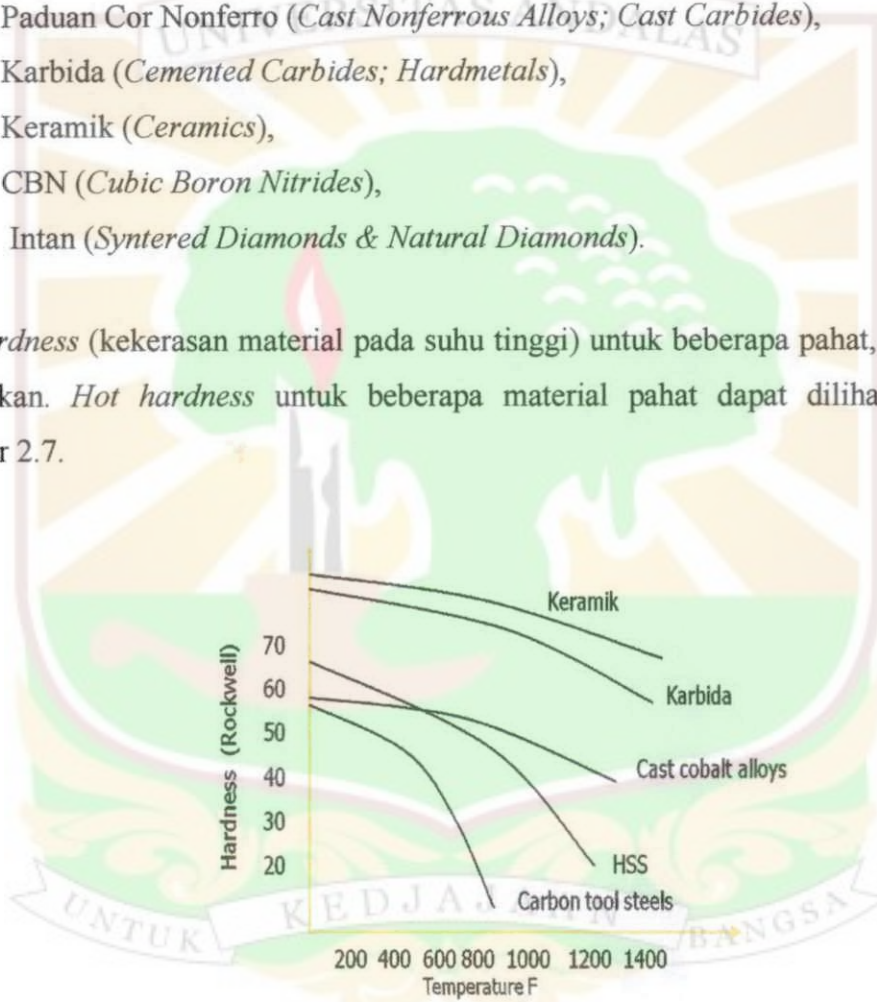
Gambar 2.6 Jenis-jenis pahat gurdi

2.2.2 Material Pahat

Untuk suatu jenis pekerjaan pemesian yang tertentu diperlukan pahat dari suatu jenis material yang cocok. Keterbatasan kemampuan suatu jenis material pahat perlu disadari. Pembahasan diurutkan mulai dari material pahat yang relatif 'lunak' sampai dengan yang paling keras:

1. Baja Karbon (*High Carbon Steels; Carbon Tool Steels; CTS*),
2. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*),
3. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys; Cast Carbides*),
4. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*),
5. Keramik (*Ceramics*),
6. CBN (*Cubic Boron Nitrides*),
7. Intan (*Syntered Diamonds & Natural Diamonds*).

Hot hardness (kekerasan material pada suhu tinggi) untuk beberapa pahat, sangat diperlukan. *Hot hardness* untuk beberapa material pahat dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Hot hardness beberapa pahat

Proses pembentukan geram dengan cara pemesian berlangsung, dengan cara mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda

kerja. Keunggulan tersebut dapat dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan berbagai segi yaitu (Rochim, 1993):

- Kekerasan; yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada suhu ruang melainkan juga pada suhu tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung,
- Keuletan; yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemesinan dengan interupsi maupun sewaktu memotong benda kerja yang mengandung partikel / bagian yang keras (*hard spot*),
- Ketahanan beban kejut termal; diperlukan bila terjadi perubahan suhu yang cukup besar secara berkala / periodik,
- Sifat adhesi yang rendah; untuk mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan,
- Daya larut elemen/komponen material pahat yang rendah; dibutuhkan demi untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme difusi.

Kekerasan yang rendah dan daya adhesi yang tinggi tidak diinginkan sebab mata potong akan terdeformasi. Terjadi keausan tepi dan keausan kawah yang besar. Keuletan yang rendah serta ketahanan beban kejut termal yang kecil mengakibatkan rusaknya mata potong maupun retak mikro yang menimbulkan kerusakan fatal. Sifat-sifat unggul seperti di atas perlu dimiliki oleh material pahat. Akan tetapi, tidak semua sifat tersebut dapat dipenuhi secara berimbang. Pada umumnya kekerasan dan daya tahan termal yang tinggi selalu diikuti oleh penurunan keuletan.

High Speed Steel (HSS)

High Speed Steel (HSS) mengandung karbon 0,70% - 1,50%. Material ini digunakan untuk membuat alat-alat potong seperti *drills*, *reamers*, *counter sinks*, *lathe tool bits* dan *milling cutters*. Material ini disebut sebagai *High Speed Steel* karena pahat yang dibuat dengan material ini dapat dioperasikan dua kali lebih cepat dibanding dengan *carbon steel*. Sedangkan harga dari HSS besarnya dua sampai empat kali dari pada harga *carbon steel*. Di samping itu, terdapat *High*

speed steel (tipe T dan M) yang merupakan hasil paduan baja dengan *tungsten* dan *molybdenum* tanpa dilunakkan dengan sifat yang tidak mudah tumpul dan tahan panas tetapi tidak tahan kejut (*getas*).

Beberapa macam pahat HSS yang umum digunakan, yaitu:

- a. HSS Konvensional
 1. Molibedenum HSS : standar AISI (*American Iron and Steel Institute*) M1; M2; M7; M10.
 2. Tungsten HSS : standar AISI T1; T2
- b. HSS *Special*
- c. Cobalt *Added* HSS : standar AISI M33; M36; T4; TS dan T6., penambahan Cobalt untuk memperbaiki sifat *hot hardness & wear resistance*
- d. *High Vanadium* HSS : standar AISI M3-1; M3-2; M4 ;T15., penambahan Vanadium Karbida memperbaiki sifat *hot hardness & wear resistance*
- e. *High Hardness Co.* HSS : standar AISI M42; M43; M44; M45; M 46.
- f. *Cast* HSS : pahat HSS yang dibuat dengan proses pengecoran
- g. *Powdered* HSS : HSS yang dibuat dengan proses metalurgi serbuk
- h. *Coated* HSS : pahat HSS yang dilapis dengan Nitrida atau Oksida

2.2.3 Geometri Pahat

Ada tiga hal pokok untuk mengenal bentuk dan geometri pahat yaitu elemen, bidang aktif dan mata potong pahat. Dengan mengetahui definisinya maka berbagai jenis pahat yang digunakan dalam proses pemesinan dapat dikenal dengan lebih baik.

Beberapa bagian pahat yang dapat didefinisikan (Gambar 2.8) adalah :

1. Elemen Pahat:

- *Badan (Body)*; bagian pahat yang dibentuk menjadi mata potong atau tempat sisipan pahat (dari karbida atau keramik).

- Pemegang (*Shank*); bagian pahat untuk dipasangkan pada mesin perkakas. Bila bagian ini tidak ada maka fungsinya diganti oleh lubang pahat.
- Lubang Pahat (*Tool Bore*); lubang pada pahat melalui mana pahat dapat dipasang pada poros utama (spindel) atau poros pemegang dari mesin perkakas. Umumnya dipunyai oleh pahat freis.
- Sumbu Pahat (*Tool Axis*); garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat. Umumnya merupakan garis tengah dari pemegang atau lubang pahat.
- Dasar (*Base*); bidang rata pada pemegang untuk meletakkan pahat sehingga mempermudah proses pembuatan, pengukuran ataupun pengasahan pahat.

2. Bidang Pahat

Merupakan permukaan aktif pahat setiap pahat mempunyai bidang aktif ini sesuai dengan jumlah mata potongnya (tunggal atau jamak). Tiga bidang aktif dari pahat adalah :

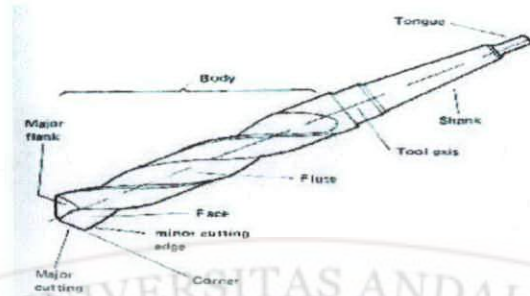
- Bidang Geram (A_γ , *Face*); bidang dimana geram mengalir.
- Bidang Utama/Mayor (A_α , *Principal/Mayor Flank*); bidang yang menghadap permukaan transien dari benda kerja. Permukaan transien benda kerja akan terpotong akibat gerakan pahat relatif terhadap benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan sebagian bidang utama akan terdeformasi sehingga bergesekan dengan permukaan transien benda kerja.
- Bidang Bantu/Minor (A_α' *Auxiliary/Minor Flank*); bidang yang menghadap permukaan terpotong dari benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan, sebagian kecil bidang bantu akan sedikit terdeformasi dan menggesek permukaan benda kerja yang telah terpotong/dikerjakan.

3. Mata Potong

Merupakan bagian tepi dari bidang geram yang aktif memotong. Ada dua jenis mata potong yaitu:

- Mata Potong Utama/Mayor (S , *Principal/Mayor Cutting Edge*) ; garis perpotongan antara bidang geram (A_γ) dengan bidang utama (A_α).

- Mata Potong Bantu/Minor (S' , *Auxiliary/Minor Cutting Edge*) ; garis perpotongan antara bidang geram (A_γ) dengan bidang bantu (A_α').



Gambar 2.8 Pahat gurdi

2.3 Prosedur Penentuan Kondisi Pemotongan Optimum

Pada dasarnya dalam setiap proses pemesinan ada tiga variabel proses yang perlu ditetapkan yaitu kecepatan potong (V_c), gerak makan (f) dan kedalaman makan (a) untuk menghasilkan produk sesuai dengan geometri dan toleransi yang diinginkan. Sebelumnya perlu ditetapkan jenis mesin perkakas dan jenis pahat yang akan dipergunakan. Ketiga variabel di atas harus dipilih untuk mendapatkan kecepatan penghasilan geram setinggi mungkin (kondisi optimum).

Beberapa kendala atau faktor pembatas dalam proses pemesinan untuk mendapatkan kondisi optimum (*M Dinul Akbar, 2003*) adalah :

1. Kendala Dalam Proses Pembentukan Geram

Proses pemotongan dianggap berhasil apabila geram yang terbentuk secara normal bersamaan dengan pertumbuhan laju keausan pada daerah kecepatan potong moderat. Kecepatan potong yang terlalu kecil akan menimbulkan BUE (*Built Up Edge*) pada mata potong pahat, sedangkan kecepatan potong yang tinggi akan menyebabkan laju keausan pahat akan terlalu cepat.

2. Kendala Sistem Pemotongan

Sistem pemotongan terdiri atas pahat dan benda kerja serta cara pemegangan dan mesin perkakas. Kecepatan penghasilan geram yang besar hampir selalu diikuti dengan gaya pemotongan yang besar. Gaya ini menyebabkan lenturan

pada benda kerja dan pahat yang akan menyebabkan getaran pada mesin perkakas yang nantinya akan menyebabkan produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diinginkan. Gaya pemotongan yang besar akan menghasilkan daya pemesian yang tinggi, kondisi harus diperhatikan karena daya yang tersedia pada mesin perkakas terbatas.

2.4 Gaya Pemotongan

2.4.1 Gaya Pemotongan Teoritis

Gaya pemotongan yang terjadi akan berbeda untuk setiap kondisi pemotongan, yaitu kecepatan potong, gerak makan dan kedalaman potong. Untuk kecepatan potong dan kedalaman potong, gaya potong akan meningkat seiring dengan meningkatnya parameter tersebut. Dengan meningkatnya gaya potong maka akan memperbesar getaran pada mesin perkakas saat dioperasikan.

Pada pembentukan geram, sistem gaya hanya dipandang dalam bentuk bidang, (*orthogonal*) sehingga gaya total dapat diuraikan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus. Berdasarkan cara penguraiannya, maka menurut Merchant, gaya-gaya dapat dikemukakan dalam tiga cara yaitu :

1. Gaya total (F) ditinjau dari proses deformasi material, dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu

F_s , Gaya geser yang mendeformasi material pada bidang geser sehingga melampaui batas elastik.

F_{sn} , Gaya normal pada bidang geser yang menyebabkan pahat tetap menempel pada benda kerja,

2. Gaya total (F) dapat diketahui arah dan besarnya dengan cara membuat dinamometer (alat ukur gaya dimana pahat dipasang padanya dan alat tersebut dipasang pada mesin perkakas) yang mengukur dua komponen gaya yaitu :

F_v ; Gaya potong, searah dengan kecepatan potong.

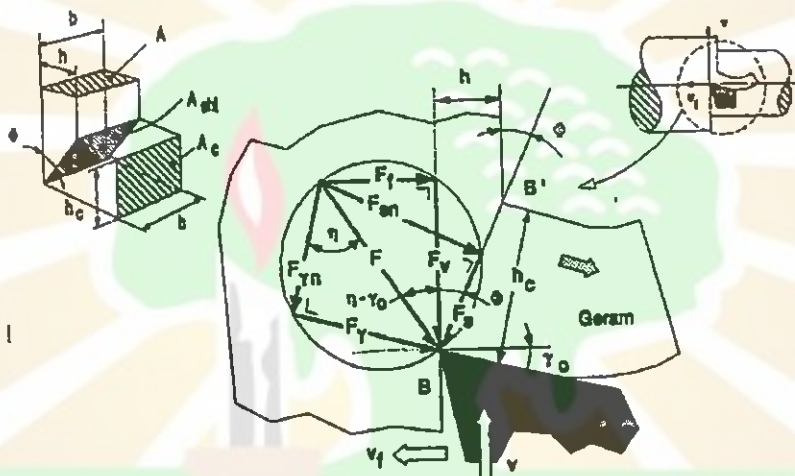
F_f , Gaya makan, searah dengan kecepatan makan,

3. Gaya total (F) yang bereaksi pada bidang geram (A_γ , Face, bidang pada pahat dimana geram mengalir) diuraikan menjadi dua komponen untuk menentukan koefisien gesek geram terhadap pahat yaitu,

F_γ ; Gaya gesek pada bidang geram.

$F_{\gamma n}$; Gaya normal pada bidang geram.

Gambar 2.9 menguraikan lebih jelas dari gaya-gaya yang dijabarkan di atas ;



Gambar 2.9 Lingkaran Merchant (Rochim 1993)

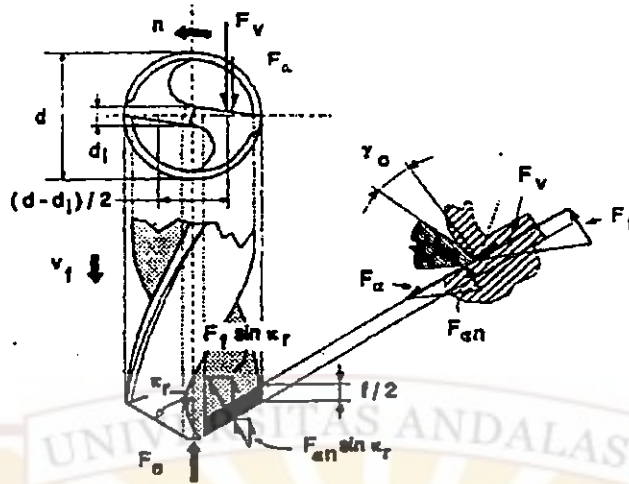
Berdasarkan analisis geometris dari lingkaran Merchant, maka gaya potong F_v dapat diturunkan sehingga didapat rumus gaya pemotongan teoritis seperti pada persamaan 2.6 dan 2.7:

$$F_v = \tau_{shi} x b x h x \frac{\cos(\eta - \gamma_o)}{\sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma_o)} \quad (2.6)$$

$$F_f = F_v \tan (\eta - \gamma_o) \quad (2.7)$$

2.4.2 Gaya Pemotongan Teoritis untuk Proses Gurdi

Pada proses gurdi, pahat mempunyai dua mata potong, gaya pemotongan pada salah satu mata dapat diuraikan menjadi dua komponen yaitu F_v dan F_f (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Gaya pemotongan dalam proses menggurdi

Dari gambar 2.10 dapat diturunkan persamaan gaya pemotongan teoritis pada proses gurdi:

$$F_t = \tau_{shi} \frac{d - d_2}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta - \gamma_o)}{\sin\phi \cos(\phi + \eta - \gamma_o)} + k_f \frac{d - d_i}{2 \sin\kappa_r} \quad (2.8)$$

$$M_t = F_t \frac{d + d_i}{2} \quad (2.9)$$

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_o) \sin\kappa_r + k_n \frac{d - d_i}{2} \right\} \quad (2.10)$$

2.4.3 Gaya Pemotongan Empirik

Rumus teoritik gaya pemotongan yang diturunkan dalam analisis sistem pemotongan tegak ($\kappa_r = 90^0$ serta $\lambda_s = 0^0$), tidak mungkin digunakan dengan leluasa dalam perencanaan proses pemesinan sesungguhnya. Diperlukan suatu bentuk rumus gaya pemotongan yang dapat digunakan dalam proses pemotongan *oblique*. Untuk itu diperlukan percobaan proses pemotongan dengan menggunakan *dinamometer* yang dapat mendeteksi harga ketiga komponen gaya pemotongan.

Dengan menetapkan dan mengubah beberapa variabel proses pemotongan (geometri pahat, v , a , dan f), maka dapat dicari suatu korelasi antara gaya pemotongan dengan variabel proses pemotongan (rumus empirik gaya

pemotongan). Cara yang sama dapat digunakan bagi kombinasi pahat dengan benda kerja yang lain serta bagi beberapa jenis proses pemesinan, sehingga diperoleh data pemesinan (*machining data*) yang diperlukan untuk perancangan mesin perkakas dan perencanaan proses pemesinan.

Dengan memperhatikan rumus teoritisnya, rumus empirik gaya potong dapat diperkirakan bentuknya sebagai berikut :

$$F_y = F_v = k_s A \quad (2.11)$$

Selanjutnya kedua komponen gaya pemotongan yang lain, yaitu gaya makan (F_f atau F_z) dan gaya radial/normal (F_x), diusahakan untuk dilihat korelasinya terhadap gaya potong, karena gaya potong dianggap sebagai komponen gaya yang terpenting.

Dari rumus teoritis terlihat bahwa gaya makan berbanding lurus dengan gaya potong, sehingga diharapkan demikian halnya dengan rumus empiriknya ($F_z \cong F_y$).

2.4.4 Gaya Pemotongan Empirik Pada Proses Gurdi

Rumus gaya pemotongan empirik diperoleh melalui percobaan dengan menggunakan *dinamometer*, dengan cara memilih satu set pahat gurdi dari berbagai diameter dengan geometri yang sama yang merupakan geometri standar.

Hasil yang diperoleh dengan berbagai kondisi penggurdian yang umum akan menghasilkan persamaan korelasi sebagai berikut:

$$M_t = C_1 d^x f^p \quad (2.12)$$

$$F_z = C_2 d^m f^n \quad (2.13)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13) diatas serta data penggurdian yang diperoleh dari percobaan, maka besarnya momen puntir maupun gaya tekan dalam proses gurdi dapat dihitung. Untuk mengetahui gaya potong spesifik proses gurdi, maka persamaan diatas dijabarkan menurut analisis berikut:

$$K_d = F/A \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) diatas dapat ditulis dalam bentuk :

$$k_d = \frac{8M_t}{d^2 f} \quad (2.15)$$

sehingga dapat digabung dengan persamaan (2.12), menjadi:

$$k_d = 8 C_1 d^{n-2} f^{n-1} \quad (2.16)$$

2.5 Polimer

2.5.1 Pemesinan Polimer

Pada pemesinan polimer, ditemui beberapa kasus harga kekasaran permukaan yang tinggi dan adanya retakan. Ini disebabkan oleh panas yang berlebihan yang ditimbulkan saat pemesinan dilakukan. Juga terjadi karena kondisi mata potong (*cutting edge*) dari pahat. Masalah ini timbul karena sifat termal dari plastik seperti: panas spesifik, konduktifitas termal, dan koefisien perpindahan panas. Beberapa informasi dasar yang perlu diketahui tentang karakteristik pemesinan polimer, menurut Salles dan Goncalves (2003) adalah ;

1. Sifat Thermal

Selama proses pemesinan terjadi, panas ditimbulkan oleh deformasi dan gesekan antara geram dan pahat kemudian antara pahat dan benda kerja. Pada pemesinan logam, panas paling banyak dipindahkan dari area pemotongan oleh geram. Sedangkan pada pemesinan plastik, yang memiliki konduktifitas termal rendah, kebanyakan panas dipindahkan atau dibawa oleh pahat. Hasilnya, suhu meningkat dan hal tersebut mempengaruhi proses pemesinan dari dua sisi: keausan pahat dan menurunnya kualitas permukaan benda kerja.

Panas spesifik perunit dari berat plastik biasanya lebih dari 2 cal/g °C, dan lebih besar dari logam. Akan tetapi, karena densitas plastik secara umum lebih rendah dari logam, harga panas spesifiknya lebih rendah dari logam. Oleh karena itu, peningkatan suhu plastik lebih besar dibandingkan logam pada volume yang sama. Konduktifitas termal plastik lebih rendah dari 2.2×10^{-3}

cal/cm.s°C, sangat kecil dibandingkan konduktifitas termal logam. Ini merupakan dasar dari semua panas yang ditimbulkan oleh gesekan antara plastik dan pahat yang akan berpindah pada pahat. Seandainya dikalkulasikan maka panas yang dipindahkan pada baja oleh konduktivitas termalnya adalah 99.2% sampai 99.8% dari panas yang ditimbulkan, sisanya 0.2% sampai 0.8% akan dipindahkan ke plastik. Selanjtnya, karena kecilnya jumlah panas yang dipindahkan ke plastik, panas tidak sampai pada bagian dalam plastik, tapi hanya permukaan saja yang mengalami perubahan suhu yang mencolok (Kobayashi, 1967). Suhu leleh plastik cenderung rendah, akibatnya mudah timbul panas yang berefek buruknya permukaan plastik.

2. Sifat Mekanik

Deformasi yang diakibatkan tekanan oleh pahat bisa menghasikan kontak yang lebih besar antara pahat dan benda kerja. Ini manghasilkan peningkatan gesekan. Oleh karena itu, pemilihan sudut potong pahat yang tepat adalah sangat penting. Fenomena variasi kegagalan pada plastik bergantung pada tipe plastik dan kondisi pemesinan yang digunakan, terutama kecepatan potong dan temperatur kerja (Kobayashi, 1967).

3. Mekanisme Penghasilan Geram

Jenis geram yang dihasilkan saat pemesinan polimer merupakan suatu informasi yang sangat penting untuk diketahui. Secara umum ada dua jenis geram yang dihasilkan yaitu *continuous* dan *discountinuous*. Geram *continuous* dihasilkan oleh deformasi plastik yang besar atau dengan gesekan sepanjang bidang geser, terjadi pada saat kecepatan potong rendah dan material dengan regangan tinggi. Untuk kualitas yang bagus, perlu dilakukan pemilihan yang tepat antara parameter pemesinan dan geometri pahat, dengan cara itu formasi geram *continuous* akan terjadi (Kobayashi, 1967).

Pada material yang rapuh, ketika tegangan tekan ditingkatkan dengan sudut potong yang melebihi tegangan luluh polimer, retakan akan menyebar di dalam arah vektor gaya. Ini merupakan catatan penting bahwa model ini mengasumsikan bahwa retakan mula dan menyebar terus ke daerah tekanan di

depan pahat. Geram yang dihasilkan dengan sudut pahat mendekati nol adalah lebih panjang dengan pinggir yang halus dan ditemukan relatif bersih memotong material. Sudut pahat positif akan mengarahkan vektor gaya ke atas arah pemotongan (Carr and Feger, 199) .

2.5.2 Sifat Mampu Mesin (*Machinability*)

Sifat mampu mesin dari suatu material umumnya mempengaruhi 3 faktor yaitu:

1. Pemakaian gaya dan daya pemotongan
2. Keausan pahat
3. Hasil permukaan produk

Material dengan sifat mampu mesin yang bagus hanya memerlukan pemakaian daya yang rendah, dengan keausan pahat yang rendah dan menghasilkan permukaan yang bagus dan tanpa adanya kerusakan pada permukaan.

Sifat mampu mesin beberapa jenis polimer ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sifat-sifat fisik beberapa jenis polimer

Properties of Plastics	ρ (kg m^{-3})	Tensile Strength (N mm^{-2})	Elongation (%)	E (GN m^{-2})	BHN	Machinability
<i>Thermoplastics</i>						
PVC rigid	1330	48	200	3.4	20	Excellent
Polystyrene	1300	48	3	3.4	25	Fair
PTFE	2100	13	100	0.3	—	Excellent
Polypropylene	1200	27	200–700	1.3	10	Excellent
Nylon	1160	60	90	2.4	10	Excellent
Cellulose nitrate	1350	48	40	1.4	10	Excellent
Cellulose acetate	1300	40	10–60	1.4	12	Excellent
Acrylic (methacrylate)	1190	74	6	3.0	34	Excellent
Polyethylene (high density)	1450	20–30	20–100	0.7	2	Excellent
<i>Thermosetting plastics</i>						
Epoxy resin (glass filled)	1600–2000	68–200	4	20	38	Good
Melamine formaldehyde (fabric filled)	1800–2000	60–90	—	7	38	Fair
Urea formaldehyde (cellulose filled)	1500	38–90	1	7–10	51	Fair
Phenol formaldehyde (mica filled)	1600–1900	38–50	0.5	17–35	36	Good
Acetals (glass filled)	1600	58–75	2–7	7	27	Good

Sumber; *Polymers (Idol and Richard 2005)*

Dari tabel di atas dapat diketahui polimer yang memiliki sifat mampu mesin yang baik, salah satunya adalah polimer tipe *PVC*. Polimer tipe *PVC* memiliki sifat khas; tahan terhadap abrasi, ketahanan kimia, kuat dan unggul dalam pelumasan, tetapi akibat sifat serap airnya yang rendah, maka kestabilan dimensi dan sifat mampu bentuknya jelek. Keunggulan dalam pelumasan dan ketahanan abrasi, menyebabkan jenis polimer ini banyak digunakan untuk bantalan, bantalan luncur, roda gigi tanpa bunyi, meredam getaran dan komponen mesin pintal (Surdia, 1984).

Tabel 2. 2 Sifat Relatif Polimer

Material	Tensile Strength ^a	Compressive Strength ^b	Machining Properties	Chemical Resistance
<i>Thermoplastics</i>				
Nylon	E	G	E	G
PTFE	F	G	E	O
Polypropylene	F	F	E	E
Polystyrene	E	G	F	F
Rigid PVC	E	G	E	G
Flexible PVC	F	P	P	G
<i>Thermosetting plastics</i>				
Epoxy resin (glass-fiber filled)	O	E	G	E
Formaldehyde (asbestos filled)	G	G	F	G
Phenol formaldehyde (Bakelite)	G	G	F	F
Polyester (glass-fiber filled)	E	G	G	F
Silicone (asbestos filled)	O	G	F	F

Note: O = outstanding, E = excellent, G = good, F = fair, P = poor.

^a Tensile strength (typical): E = 55 Nmm⁻²; P = 21 Nmm⁻².

^b Compressive strength (typical): E = 210 Nmm⁻²; P = Nmm⁻².

Sumber: Polymer (Idol and Richard, 2005)

Secara umum, pada pemesinan polimer sebaiknya dihindari pemakaian cairan pendingin (*coolant*) karena polimer dapat menyerap uap. Hal ini mengakibatkan sulitnya untuk mencapai toleransi yang tinggi. Bila menginginkan toleransi yang tinggi, proses awal yang harus dilakukan adalah pemesinan kasar (*roughing*). Setelah nilai toleransi didekati, barulah digunakan proses pemesinan halus (*Finish machined*) hingga nilai toleransi yang diinginkan tercapai, dengan syarat tanpa menggunakan *coolant*.

2.5.3 Polyvinyl Chloride (PVC)

Polyvinyl Chloride. Polimer jenis ini digunakan untuk keperluan komersil sejak 1930-an. Lebih dari empat belas milyar pound PCV diproduksi setiap tahun karena kekuatan dan karakteristik pemesinannya yang baik. PVC adalah material yang serba guna, kuat, tahan terhadap uap, korosi, dan abrasi.

PVC dihasilkan dari dua jenis bahan baku utama yakni minyak bumi dan garam dapur (NaCl). Minyak bumi diolah melalui proses pemecahan molekul yang disebut *cracking* menjadi berbagai macam zat, termasuk etilena (C_2H_4), sementara garam dapur diolah melalui proses elektrolisa menjadi natrium hidroksida (NaOH) dan gas klor (Cl_2). Etilena kemudian direaksikan dengan gas klor menghasilkan etilena diklorida (CH_2Cl-CH_2Cl). Proses pemecahan molekul etilena diklorida menghasilkan gas vinil klorida ($CHCl=CH_2$) dan asam klorida (HCl). Akhirnya, melalui proses polimerisasi (penggabungan molekul yang disebut *monomer*, dalam hal ini vinil klorida) dihasilkan molekul raksasa dengan rantai panjang (polimer): polivinil klorida (PVC), yang berupa bubuk halus berwarna putih. Masih diperlukan satu langkah lagi untuk mengubah resin PVC menjadi berbagai produk akhir yang bermanfaat.

2.6 Spesifikasi Geometri

2.6.1 Toleransi Geometri

Toleransi ukuran adalah perbedaan ukuran antara kedua harga batas dimana ukuran atau jarak permukaan batas geometris komponen harus terletak

1. Toleransi Standar

Dalam sistem ISO telah ditetapkan 18 kelas toleransi (*grade tolerance*) yang dinamakan toleransi standar, mulai dari IT 01, IT 0, sampai dengan IT 16.

Untuk kualitas 5 sampai 16 harga toleransi dihitung dengan menggunakan satuan toleransi i , dimana harga i adalah

$$D = \sqrt{D_1 D_2} \tag{2.17}$$

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D \tag{2.18}$$

D merupakan jarak antara D1 dan D2, (Tabel 2.3)

Tabel 2.3 Tingkatan diameter nominal s.d 500 mm

Tingkatan utama (dalam mm)		Tingkatan perantara (dalam mm) [#]	
Di atas (D1)	sampai dengan (D2)	di atas:	sampai dengan
	3		
3	6		
6	10		
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
120	180	120	140
		140	160
		160	180
180	250	180	200
		200	225
		225	250
250	315	250	280
		280	315
315	400	315	355
		355	400
400	500	400	450
		450	500

[#] tingkatan ini digunakan dalam beberapa keadaan apabila memang diperlukan untuk penyimpangan-penyimpangan a sampai c (A sampai C) dan r sampai zc (R sampai ZC).

Selanjutnya, berdasarkan satuan toleransi i maka besarnya toleransi standar dapat dihitung sesuai dengan kualitasnya mulai dari 5 sampai 16, dengan menggunakan tabel 2.4 dan untuk 01 sampai dengan 1, dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Harga toleransi standar untuk kualitas 5 sampai 16

	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Harga	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i

Tabel 2.5 Harga toleransi standar untuk kualitas 01, sampai 4



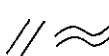


Kualitas	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4
Harga (μm)	$0,3+0,008D$	$0,5+0,012D$	$0,8+0,020D$	$\sqrt{(IT1 \times IT3)}$	$\sqrt{(IT1 \times IT5)}$	$\sqrt{(IT3 \times IT5)}$



2. Toleransi Bentuk dan Posisi

Suatu bentuk dan posisi yang dibuat dengan proses produksi tidaklah mungkin dicapai dengan sempurna. Oleh sebab itu haruslah diperbolehkan menyimpang dalam batas-batas tertentu. Suatu bentuk dan posisi yang kurang teliti (kurang tepat) dapat menyebabkan pekerjaan tambahan dalam perakitan. Tujuan pemberian toleransi bentuk dan posisi adalah untuk memastikan fungsi komponen mesin serta sifat ketertukarannya.

Sesuai dengan karakteristik elemen yang diberi toleransi serta cara pernyataan dimensinya, daerah toleransi dapat berupa salah satu dari bentuk-bentuk seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.6.












Tabel 2.6 Berbagai jenis daerah toleransi yang dapat diimajinasikan sesuai dengan masalah geometrik yang dianalisis.

	Daerah di dalam suatu lingkaran
	Daerah diantara dua lingkaran yang se pusat
	Daerah di antara dua garis (lengkung atau lurus) yang sejajar
	Ruang di dalam silinder atau diantara dua silinder setempat
	Ruang diantara dua permukaan atau bidang yang sejajar

	Ruang di dalam suatu bola
	Ruang di dalam balok berpenampang segi empat

Dalam memberikan toleransi untuk suatu elemen geometrik mungkin diperlukan elemen geometrik lain pada komponen mesin yang sama sebagai dasar/ acuan. Pada tabel 2.7 dikelompokkan jenis karakteristik geometrik yang dapat dikontrol dengan suatu toleransi serta simbol.

Tabel 2.7 Simbol Karakter Geometrik

	Karakter yang dikontrol oleh toleransi	simbol
BENTUK SUATU ELEMEN	- Kelurusan (<i>straightness</i>)	—
	- Kedataran (<i>flatness</i>)	
	- Kebulatan (<i>circularity/roundness</i>)	
	- Kesilindrikan (<i>cylindricity</i>)	
	- Kebenaran profil garis (<i>profil of any line</i>)	
	- Kebenaran profil permukaan (<i>profil of any surface</i>)	
ORENTASI	- Kesejajaran (<i>parallelism</i>)	//
	- Ketegaklurusan (<i>perpendicularity/squareness</i>)	
	- Kemiringan/kesudutan (<i>angularity</i>)	
POSISI	- Kebenaran posisi (<i>position</i>)	
	- Konsentrisitas dan kesamaan sumbu (<i>concentricity and coaxiality</i>)	
	- Kesimetrikan (<i>symetry</i>)	
	Penyimpangan putar (<i>run-out</i>)	

2.6.2 Ketegaklurusan (*Perpendicularity*)

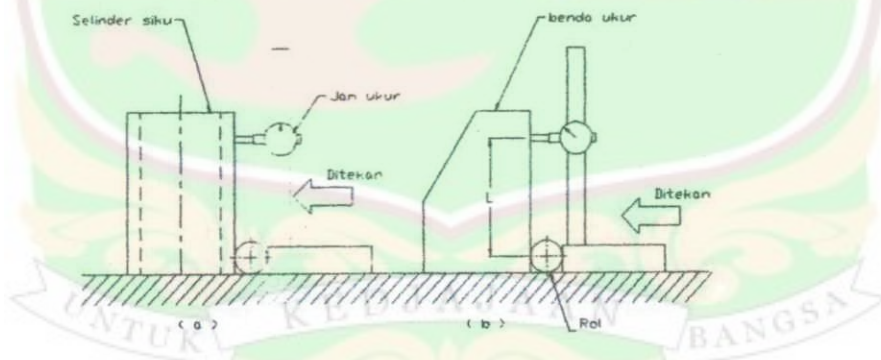
Dua garis atau bidang yang berpotongan sehingga membentuk sudut 90° disebut saling tegak lurus. Toleransi ketegaklurusan suatu bidang yaitu bila suatu sisi atau bidang terletak diantara dua bidang sejajar dengan jarak tertentu yang tegak lurus terhadap bidang acuan.

Dengan kata lain suatu garis atau sumbu harus terletak dalam selinder yang tegak lurus terhadap permukaan dasar yang mempunyai diameter dengan harga tertentu. Besarnya penyimpangan kesalahan ketegaklurusan dapat dinyatakan dalam satuan menit atau satuan μm untuk panjang permukaan tertentu.

Pengukuran ketegaklurusan yang mana penyimpangan terhadap kondisi tegak lurus dapat dinyatakan dalam harga tertentu, cara tersebut diantaranya.

1. Perbandingan dengan standar siku

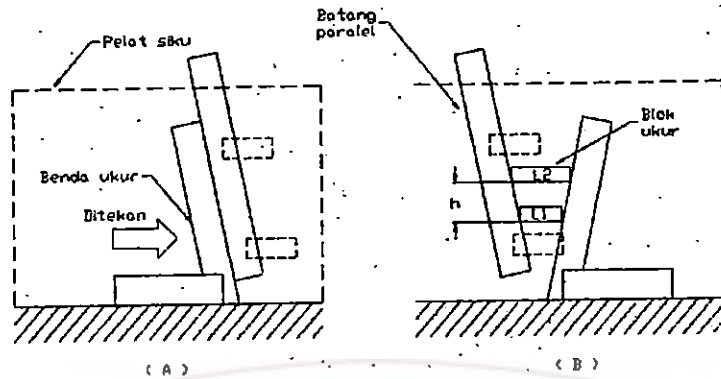
Metoda ini mengukur benda uji dan membandingkan dengan suatu selinder siku standar. Cara pengukuran ketegaklurusan diilustrasikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pemeriksaan ketegaklurusan dengan memakai standar siku

2. Perbandingan dengan batang paralel

Pengukuran ketegaklurusan benda uji dengan bantuan batang paralel, batang paralel diletakan sejajar dengan sisi benda uji lihat gambar (a) kemudian benda uji digeser pada sisi lain dan pelat siku.

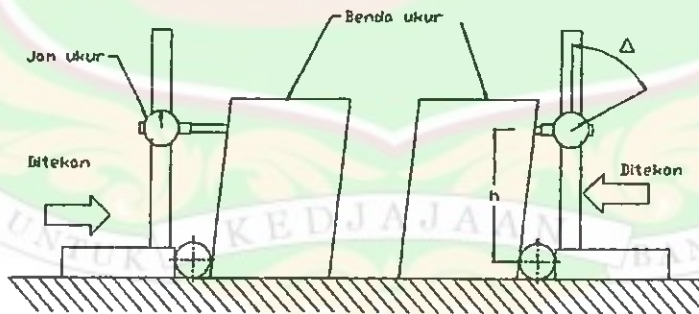


Gambar 2.12 Pengukuran ketegaklurusan dengan memakai batang paralel

Kemiringan ditentukan oleh selisih blok ukur dengan jarak blok ukur itu sendiri Pengukuran ini diilustrasikan pada Gambar 2.12.

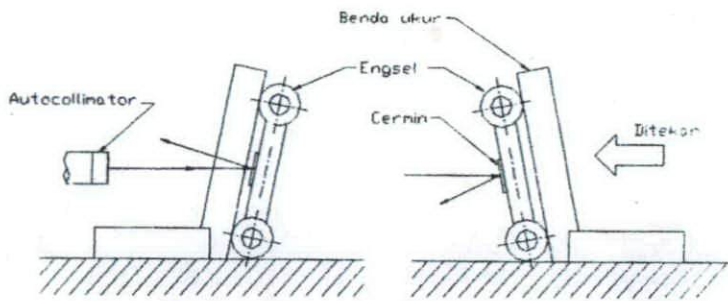
3. Ketegaklurusan dan dua bidang paralel.

Metoda ini digunakan untuk mengukur benda uji yang mempunyai sisi sejajar seperti benda uji persegi panjang. Cara pengukuran yaitu dengan cara mengkalibrasi jam ukur pada salah satu sisi benda uji gambar (a), kemudian dudukan jam ukur dipindahkan kepada sisi lain. Perbedaan pada jam ukur menentukan besarnya penyimpangan ketegaklurusan. Pengukuran ini diilustrasikan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pengukuran ketegaklurusan dari dua bidang paralel

4. Pengukuran ketegaklurusan dengan menggunakan autocollimator Besarnya kemiringan benda uji dapat dilihat dari sinar pantul reflektor, dengan metoda ini ketelitian tinggi dapat dicapai karena perubahan sedikit dan sudut pantul dapat dilihat. Pengukuran ini diilustrasikan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Pengukuran ketegaklurusan dengan memakai autocollimator

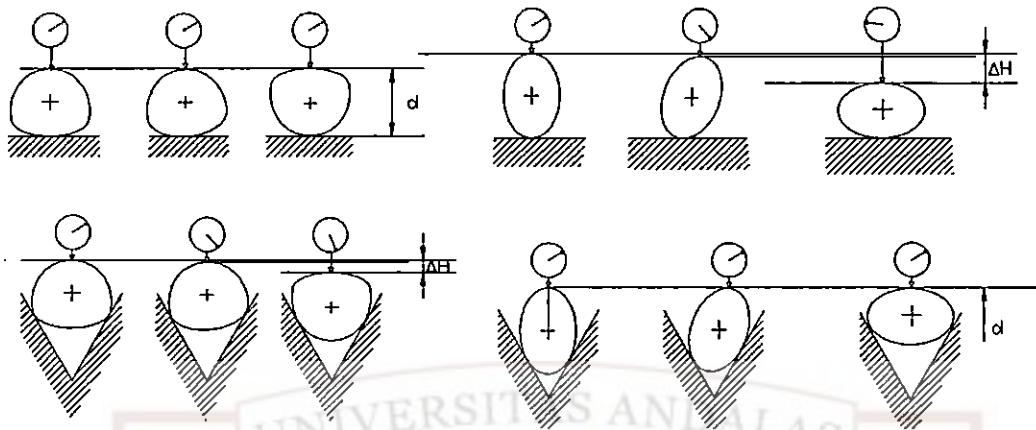
Ketegaklurusan ini amat penting dalam proses pengukuran maupun dalam proses pembuatan komponen mesin.

2.6.3 Kebulatan (*circularity*)

Suatu komponen dengan kebulatan ideal sangat sulit untuk dibuat karena keterbatasan yang ada pada proses pembuatan. Untuk itu ketidakbulatan harus ditolerir dalam batas-batas tertentu sesuai dengan tujuan dan fungsi dari komponen tersebut.

Kebulatan dan diameter merupakan dua karakter geometri yang berbeda akan tetapi saling berkaitan. Ketidakbulatan akan mempengaruhi hasil pengukuran diameter, sebaliknya pengukuran diameter tidak selalu akan menunjukkan ketidakbulatan. Hal ini perlu dipahami karena akan mempengaruhi dalam menginterpretasikan hasil pengukuran.

Pengukuran kebulatan dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan menggunakan blok V dan jam ukur. Pengukuran kebulatan poros dilakukan dengan cara meletakkan poros pada blok V dan kemudian memutarinya dengan menempelkan sensor jam ukur di atasnya. Kelemahan pengukuran menggunakan blok V ditunjukkan pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Pengukuran kebulatan dengan blok V

Apabila penampang benda ukur mendekati bentuk segitiga (tiga tonjolan beraturan), maka penyimpangan jarum jam ukur maksimum (ΔH) adalah tiga kali harga ketidakbulatan, yaitu jarak radial antara kedua lingkaran efektif. Sebaliknya jika penampang poros berbentuk elips maka jam ukur tidak memperlihatkan penyimpangan yang berarti. Demikian pula bila digunakan blok V dengan sudut yang berbeda, maka penyimpangan maksimum jarum jam ukur akan berbeda meskipun benda ukurnya sama.

Penentuan posisi pusat merupakan hal yang penting dalam analisis kebulatan. Agar titik pusat benda ukur tidak berpindah, maka benda ukur dapat diputar di antara dua pusat, dan sensor jam ukur akan merasakan perubahan permukaan benda ukur.

Grafik dan Parameter Kebulatan

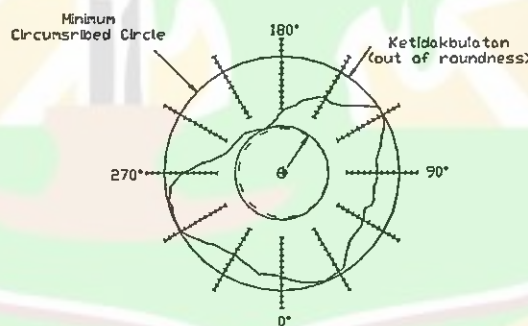
Secara manual analisa kebulatan dilakukan berdasarkan grafik profil kebulatan yang diperoleh dari hasil pengukuran. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengartikan grafik kebulatan:

- Posisi pembuatan grafik tidak mempengaruhi analisis kebulatan, sehingga dapat ditempatkan dimana saja. Profil kebulatan dari suatu benda ukur dapat diatur sehingga menempati daerah di dekat atau jauh dari titik pusat grafik.

- Kesalahan sintering akan mempengaruhi profil kebulatan yang diperoleh. Jika sumbu objek ukur berhimpit dengan sumbu putar, maka profil kebulatannya akan mempunyai titik tengah yang bersatu dengan titik tengah grafik. Jika tidak maka profil kebulatannya jauh menyimpang dari lingkaran sempurna. Jarak antara titik tengah/senter profil kebulatan dengan titik tengah grafik menunjukkan besarnya eksentrisitas.

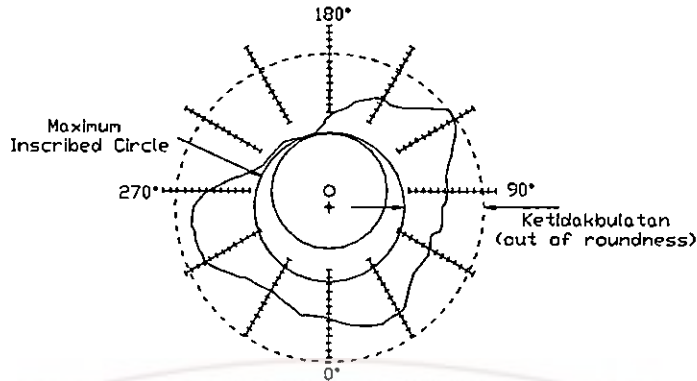
Untuk menyatakan tingkat ketidakbulatan suatu benda ukur, maka perlu ditetapkan suatu parameter kebulatan. Parameter kebulatan dapat dihitung berdasarkan profil kebulatan, relatif terhadap lingkaran referensinya. Ada empat jenis lingkaran referensi yang dapat digunakan dalam menentukan harga parameter kebulatan.

- Lingkaran Luar Minimum (*Minimum Circumscribed Circle*)
Merupakan lingkaran terkecil yang mungkin dibuat di luar profil kebulatan tanpa memotong profil tersebut. Ketidakbulatan adalah sama dengan jarak radial dari lingkaran tersebut ke lekukan paling dalam.



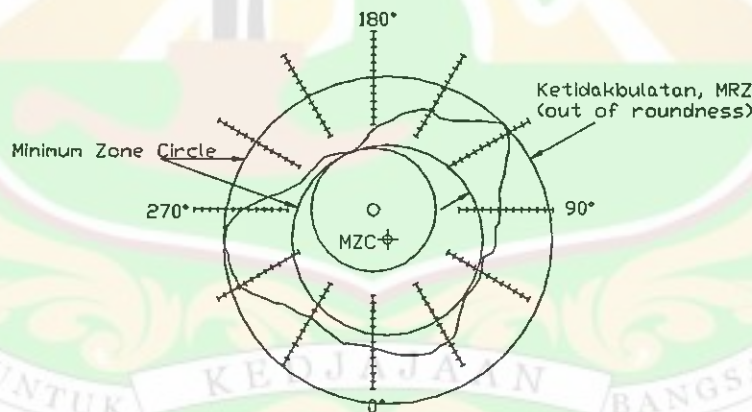
Gambar 2.16 Lingkaran Dalam Maksimum

- Lingkaran Dalam Maksimum (*Maximum Inscribed Circle*)
Merupakan lingkaran terbesar yang mungkin dibuat di dalam profil kebulatan tanpa memotong profil tersebut. Ketidakbulatan sama dengan jarak radial dari lingkaran tersebut ke tonjolan yang paling dalam.



Gambar 2.17 Lingkaran Dalam Maksimum

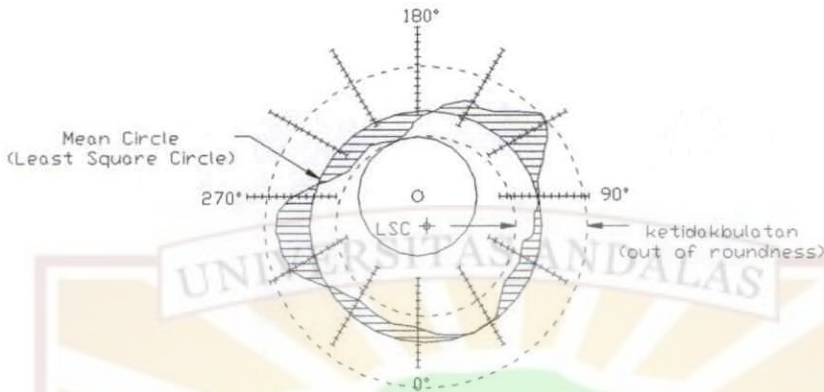
- **Lingkaran Daerah Minimum (*Minimum Zone Circle*)**
Merupakan dua lingkaran konsentris yang melingkupi profil kebulatan sedemikian rupa sehingga jarak radial antara kedua lingkaran tersebut adalah yang yang terkecil. Titik tengah dari lingkaran daerah minimum tersebut dengan *Minimum Zone Center* (MZR). Sedangkan ketidakbulatan adalah merupakan selisih kedua lingkaran tersebut dinamakan *Minimum Radial Zone* (MRZ)



Gambar 2.18 Lingkaran Daerah Minimum

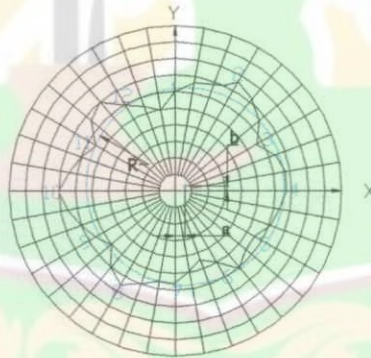
- **Lingkaran Kuadrat Terkecil (*Least Square Circle*)**
Merupakan lingkaran yang ditentukan berdasarkan profil kebulatan sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat jarak dari sejumlah titik dengan interval sudut yang sama pada profil kebulatan ke lingkaran referensi adalah paling kecil.

Titik tengah lingkaran kuadrat terkecil dinamakan *Least Square Center* (LSC). Jarak radial harga mutlak rata-rata antara profil kebulatan dengan lingkaran kuadrat terkecil disebut *Mean Line Average* (MLA).



Gambar 2.19 Lingkaran Kuadrat Terkecil

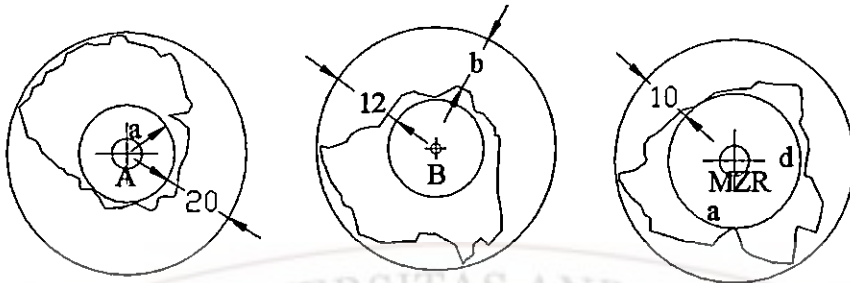
Ditinjau dari segi teoritik maka parameter kebulatan, *Mean Line Average* (MZR) dianggap paling baik untuk menyatakan harga ketidakbulatan serta titik pusat (LSC) dengan teliti. Dengan bantuan lingkaran dimana titik tengahnya (LSC) dihitung melalui pendekatan sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.20



Gambar 2.20 Penentuan titik tengah dan jari-jari Lingkaran Kuadrat Terkecil dengan perhitungan pendekatan

Semakin banyak titik yang dipilih maka penentuan titik tengah semakin teliti. ISO menganjurkan penggunaan lingkaran daerah minimum sebagai referensi untuk menghitung harga ketidakbulatan, karena MRZ yang diperoleh adalah setaraf dengan definisi toleransi kebulatan.

Penentuan MRZ dapat dilakukan dengan bantuan mistar lingkaran transparan yang mempunyai skala lingkaran-lingkaran konsentris, seperti pada gambar 2.21

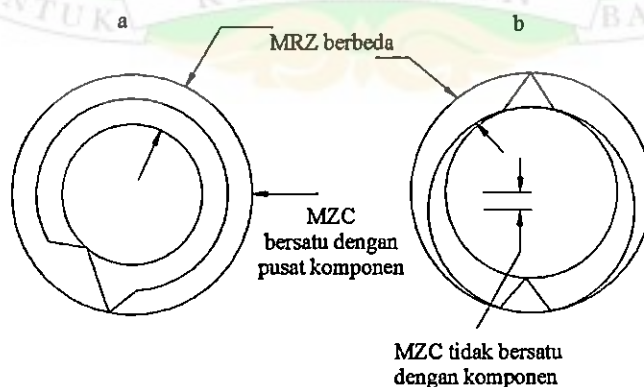


Gambar 2.21 Pemakaian mistar lingkaran transparan untuk menentukan MRZ. pergeseran titik tengah dilakukan dengan memperhatikan lebar celah yang terjadi.

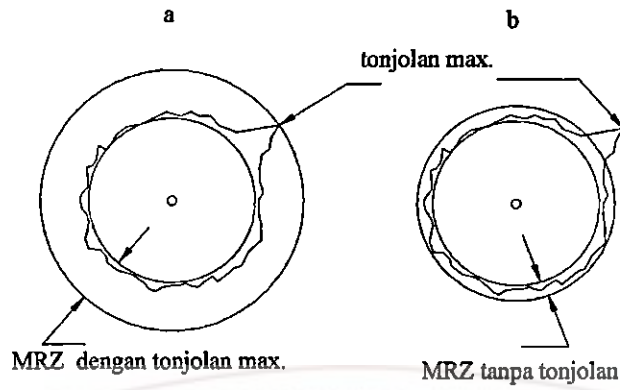
Jika kualitas yang diinginkan tidak dipermasalahkan, maka penentuan harga ketidakbulatan berdasarkan lingkaran luar minimum atau lingkaran dalam maksimum dapat dipilih karena lebih mudah menentukannya.

Kelemahan dari parameter-parameter di atas:

- Harga ketidakbulatan tersebut tidak memberikan informasi atas bentuk profil kebulatan atau jumlah tonjolan.
- MRZ tidak selalu sama dengan jarak antara tonjolan tertinggi dengan lekukan terendah, tergantung pada posisi sudut relatif antara tonjolan dan lekukan, perhatikan gambar 2.22
- Adanya goresan atau kotoran pada permukaan objek ukur akan menyebabkan perubahan yang cukup besar bagi parameter kebulatannya.



Gambar 2.22 Pengaruh posisi tonjolan



Gambar 2.23 Pengaruh tonjolan ekstrim



III. METODOLOGI

3.1 Objek Penelitian

Material benda kerja yang akan digunakan adalah polimer jenis *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan sifat sebagai berikut :



- *Density* (kg/m^3) 1330
- *Surface Hardness* (BHN) 20
- *Tensile Strength* (MPa) 48
- *Flexural Modulus* (GPa) 3,4
- *Elongation at Break* (%) 200

Gambar 3.1 Benda kerja

3.2 Peralatan yang dipergunakan

1. Mesin



Spesifikasi:

G. Breda

Type : R35 1000 year 1990

Sn : 243

massa : 1210 kg

n max : 1500 rpm

f max : 0.2 mm/rev

motor : 3/1.8 hp

dimensi : 1500 x 620 x 170 mm

Penyimpangan :

Run out : 0.025 mm

Spindle : 0

Meja : 0.05 mm

Gambar 3.2 Mesin Gurdi Radial

Mesin perkakas yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah mesin Gurdi Radial yang ada di Laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.

2. Pahat

Pahat yang dipakai dalam penelitian adalah pahat gurdi jenis HSS dengan spesifikasi sebagai berikut:



Spesifikasi:

- diameter 27 mm
- jumlah gigi 2
- V_c max 30 m/min
- f radial 0.2 mm/rev.

Gambar 3.3 Pahat HSS Gurdi

3. Alat Ukur

Setiap alat metrologi yang berada dalam kelompok yang sama dapat dipakai untuk semua jenis pengukuran dan disesuaikan dengan ketelitian yang diinginkan. Ketelitian yang dapat dicapai dengan pemakaian jenis alat tertentu, harus selalu dibandingkan dengan ketelitian pengukuran yang dimaksud. Disamping itu perlu diperhitungkan pengaruh manusia terhadap hasil pengukuran yang harus diizinkan, misalnya ketepatan pembacaan mikrometer tergantung pada sentuhan pemeriksa. Beberapa macam alat ukur yang dipakai dalam pengukuran kebulatan dan ketegaklurusan ini yaitu :

Alat ukur yang digunakan adalah

a. Mistar ukur



Gambar 3.4 Mistar ukur

Mistar dengan kecermatan 0.5 mm, digunakan untuk pengukuran dimensi awal benda kerja sebelum dipotong ataupun setelah dipotong. Proses pengukuran merupakan jenis pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur langsung. Mistar ukur tidak dapat digunakan pada pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi.

b. Dial test indicator (pupitas)

Spesifikasi:

Merek : Mitutoyo
 Resolusi : 0,01 mm
 Tipe : No.513-204F



Gambar 3.5 Pupitas

Pupitas pada umumnya sama dengan jam ukur namun jangkauan pengukurannya lebih kecil. Lintasan sensornya tidak merupakan garis lurus melainkan berupa busur. Agar tidak terjadi kesalahan kosinus maka posisi dari jarum peraba pada pengukuran harus diatur supaya sumbu putarnya sejajar dengan permukaan yang ukur.

c. Alat Ukur Bantu



Spesifikasi :
 Produsen : Mitutoyo

Gambar 3.6 Magnetic stand

Alat ukur bantu yang digunakan untuk pengukuran ketelitian geometrik ini adalah *magnetic stand*. Alat bantu ini berguna sebagai tempat penyangga *dial indicator* dan pupitas.

4. Alat Bantu (*Fixture*)

Alat bantu pemegang (pencekam) yang digunakan adalah *universal clamping*, benda kerja diletakkan di atas meja kerja, kemudian *universal clamping* dipasang pada benda kerja dan diset tegak lurus dengan meja mesin. Setelah itu, barulah dilakukan pemotongan.

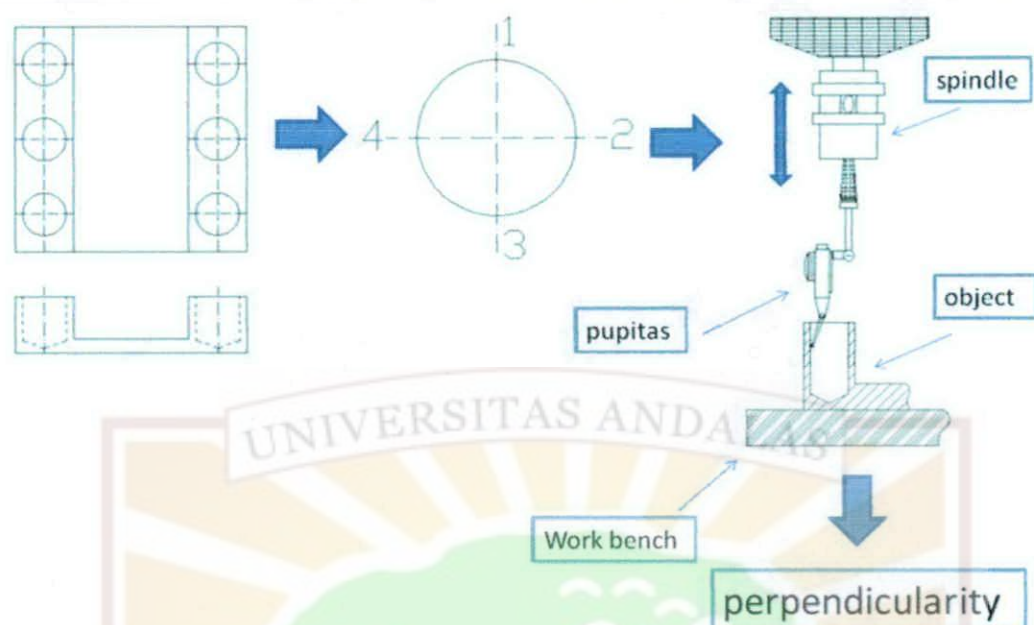


Gambar 3.7: *Universal Clamping*

3.3 Metoda Pengukuran

3.3.1 Pengukuran ketegaklurusan lubang

Pengukuran ketegaklurusan lubang dilakukan pada enam buah lubang pada benda kerja. Untuk mendapatkan keakuratan hasil pengukuran, maka pengukuran dilakukan untuk 4 sisi pengukuran, yang masing-masingnya berjarak 90° . Sedangkan pada masing-masing sisi pengukuran, di ambil 10 sampel pengukuran sepanjang kedalaman lubang, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.8. Sensor *dial test indicator* (pupitas) ditempelkan pada bagian yang akan diukur, dan alat bantu *magnetic stand* diletakkan pada spindel mesin dengan posisi tegak lurus. Kemudian gerakkan spindel mesin naik turun untuk mengukur benda kerja sesuai dengan titik-titik pengukuran yang telah dibuat.



Gambar 3.8 Metoda pengukuran ketegaklurusan

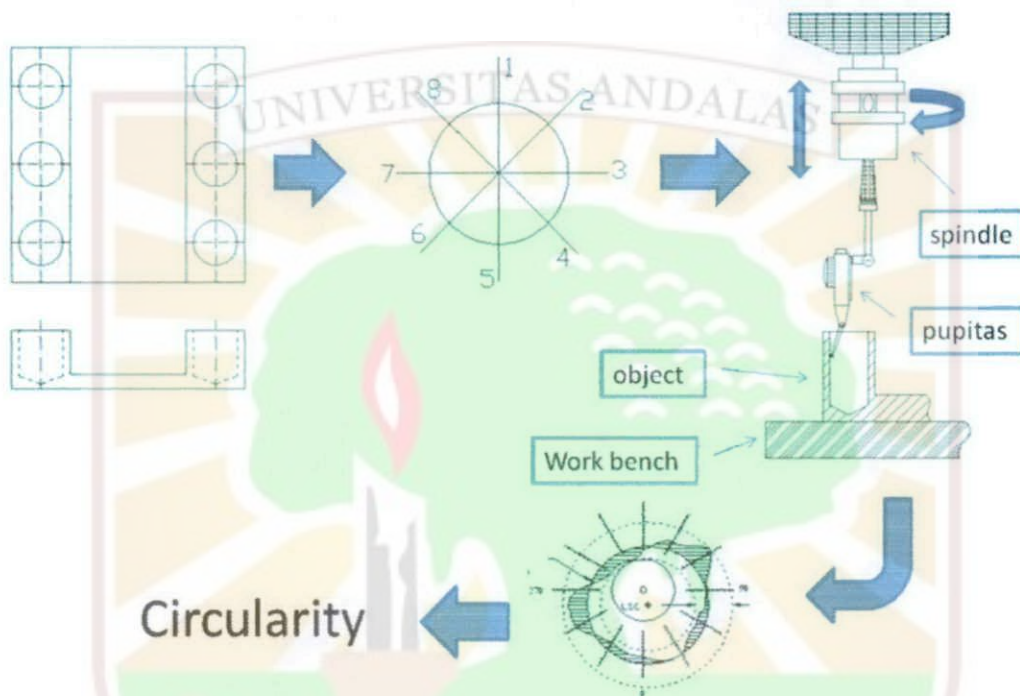
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian untuk Pengukuran Ketegaklurusan Lubang

Parameter mesin	Jumlah pelubangan	Jumlah pengukuran
n = 1150 rpm f = 0,2 mm/rev	Proses pelubangan dilakukan sebanyak 6 kali	Masing-masing lubang diukur pada 4 bidang dan masing-masing bidang diukur 10 titik dengan jarak tertentu Jadi : $4 \times 10 = 40$ kali
total	6 lubang	240 kali

3.3.2 Pengukuran Kebulatan Lubang

Pengukuran kebulatan juga dilakukan dengan menggunakan *dial test indikator* (pupitas). Pengukuran kebulatan dilakukan pada 3 tempat yang berbeda, yaitu pada permukaan lubang, tengah, dan bagian yang mendekati dasar lubang. Hal ini dilakukan untuk menghindari ketidakseragaman profil lubang yang terbentuk selama proses pembuatan lubang yang disebabkan oleh pengaruh defleksi pahat

atau efek *whirling* selama pahat berputar. Sedangkan untuk masing-masing bidang ukur, dibagi lagi menjadi 8 titik sampel yang masing-masing berjarak 45°. Proses pengukuran dilakukan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.9, yang mana spindle diputar sesuai dengan titik-titik yang telah ditentukan, lalu turunkan spindle untuk mengukur kebulatan lubang bagian tengah dan lubang bagian dasar.



Gambar 3.9 Metode pengukuran kebulatan

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian untuk Pengukuran Kebulatan Lubang

Parameter mesin	Jumlah pelubangan	Jumlah pengukuran
n = 1150 rpm f = 0,2 mm/rev	Untuk pelubangan dilakukan sebanyak 6 kali	Masing-masing lubang diukur 3 bidang dan masing-masing bidang diukur 8 titik dengan jarak tertentu Jadi : $3 \times 8 = 24$ kali
total	6 lubang	144 kali

3.4 Pengolahan data

1. Pengolahan Data Ketegaklurusan

Untuk mengetahui penyimpangan dari titik-titik sampel dari kondisi ideal terhadap suatu ketegaklurusan lubang sehingga hasil penelitian ini dapat dianalisa dengan baik, maka data-data yang ada diolah menurut urutan sebagai berikut :

1. Plot data ketegaklurusan lubang yang telah diperoleh pada grafik dengan menggunakan *microsoft office ecxel™*.
2. Tampilkan garis regresi linear pada grafik tersebut. Garis ini adalah merupakan garis kecenderungan yang dibentuk oleh data yang diperoleh pada penelitian. Garis Linear ini dibentuk agar memudahkan dalam mendeteksi berapa besar penyimpangan rata-rata yang terjadi. Dengan langkah yang sama untuk sisi lainnya akan diketahui seperti apa sebenarnya ketegaklurusan lubang ini.

2. Pengolahan Data Kebulatan

Dari data kebulatan yang diperoleh, kemudian data tersebut dirata-ratakan per titik pengukuran dan untuk melihat bagaimanakah bentuk kebulatan lubang yang dihasilkan, maka data yang diperoleh tadi di plot ke dalam grafik menggunakan *Auto CAD®* .Dari grafik dapat kita lihat bentuk geometri kebulatan lubang dan daerah toleransi mesin.

3.5 Prosedur pengujian

Pengujian dilakukan melalui prosedur-prosedur sebagai berikut (Gambar 3.10):

1. Meja kerja dibersihkan dari geram dan kotoran.
2. Ukur penyimpangan mesin (spindel, *run out*, meja)
3. Letakkan benda kerja di atas meja kerja dan gunakan *universal clamping* untuk memasang benda kerja dengan baik.
4. Pasang dan set nol benda kerja.
5. Pastikan seluruh parameter pemesinan telah teratur dengan baik
6. Lakukan proses pemesinan.

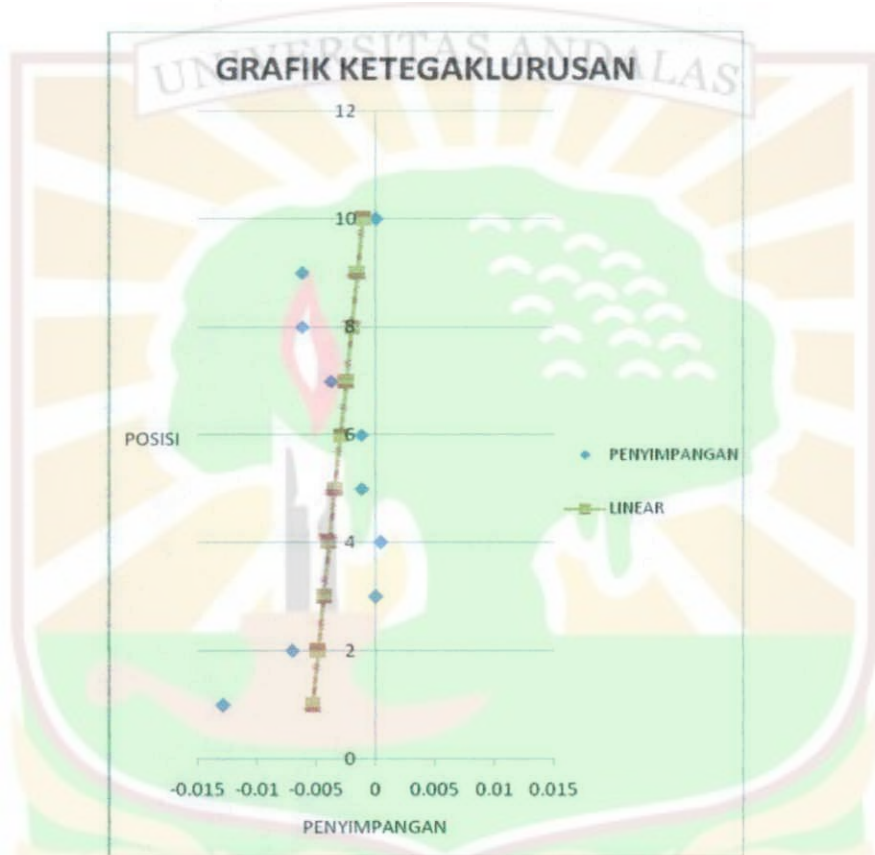
7. Ukur ketegaklurusan dan kebulatan lubang hasil pemesinan.
8. Pengolahan data.
9. Kesimpulan dan saran.



Gambar 3.10 Flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran yang dilakukan didapatkan data yang kemudian diolah menjadi grafik ketegaklurusan dan kebulatan lubang. Grafik ketegaklurusan lubang dapat dilihat pada Grafik 4.1.



Grafik 4.1 ketegaklurusan lubang

Dari grafik ketegaklurusan (Grafik 4.1) yang diperoleh, dapat dilihat bahwa bentuk lubang yang dihasilkan secara umum tidaklah tegak lurus, melainkan cenderung ke arah negatif (pada arah berlawanan dengan lubang terbentuk). Semakin ke arah dasar lubang, maka nilai penyimpangan ketegaklurusan lubangnya semakin besar. Total penyimpangan rata-rata ketegaklurusan lubang yaitu sebesar -0.0038 mm. Dimana dapat dikatakan bahwa kualitas ketegaklurusan lubang yang dihasilkan

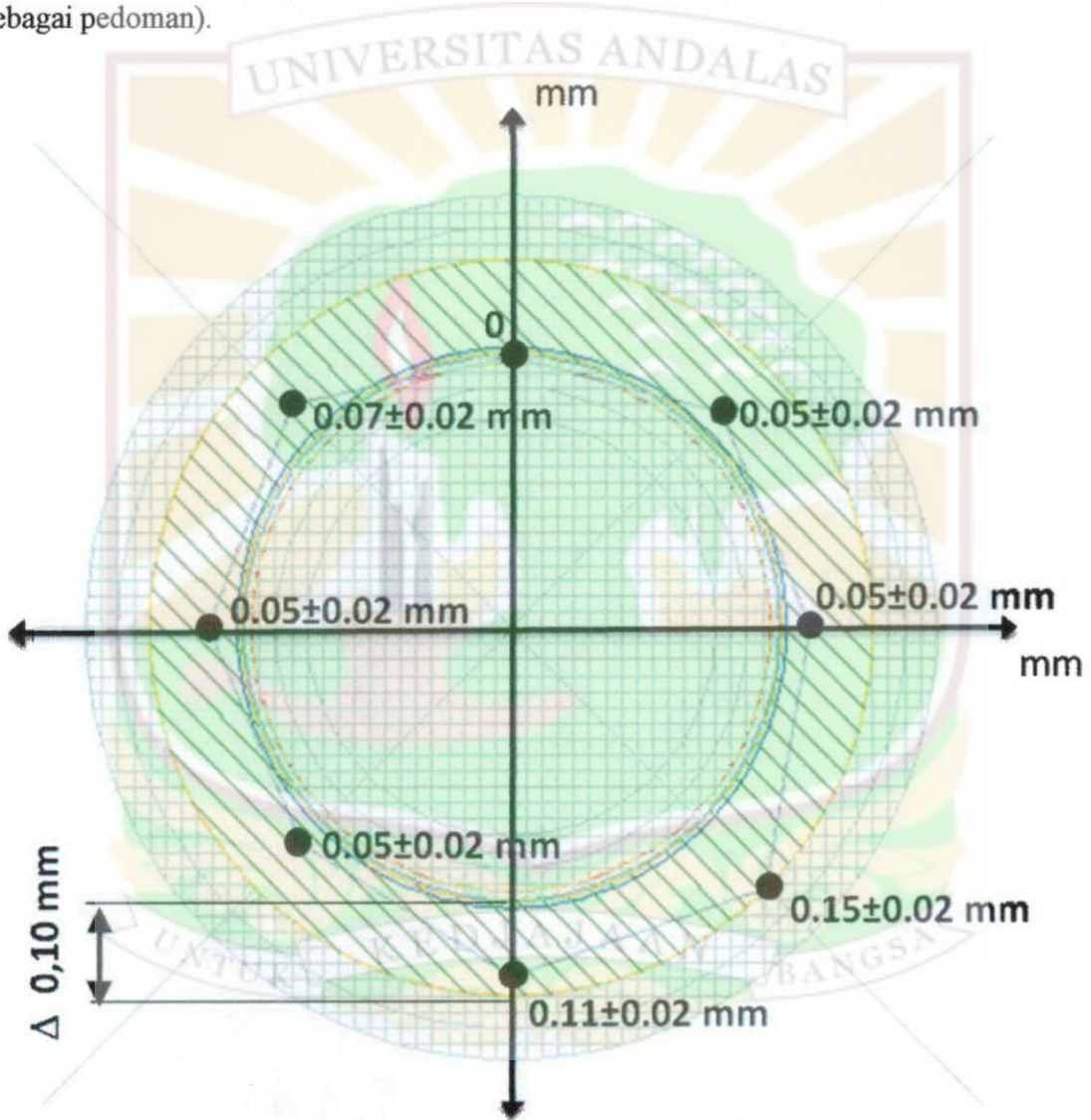
proses gurdi polimer ini sudah cukup baik. Hal ini dapat dikatakan karena titik acuan dipergunakan adalah nilai penyimpangan mesin yaitu sebesar $\pm 0.01\text{mm}$. Hal ini berarti bahwa penyimpangan ketegaklurusan yang dihasilkan proses gurdi polimer ini masih berada pada daerah toleransi yang diijinkan (kalau yang diambil sebagai acuan adalah penyimpangan mesin).

Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa penyimpangan terhadap ketegaklurusan lubang yang terjadi pada proses pembuatan lubang dengan mempergunakan mesin gurdi radial pada material polimer berada di bawah batas penyimpangan yang diijinkan. Disebabkan oleh sifat material polimer yang cenderung lunak, maka penyimpangan yang terjadi lebih disebabkan karena pengaruh *round out* dari pahat dan bukan disebabkan oleh karena pengaruh gaya pemotongan (gaya tekan), seperti yang umumnya ditemui pada proses pembuatan lubang pada material baja.

Kalau dilihat dari kecenderungan penyimpangan yang terjadi, yang mana semakin jauh dari permukaan benda kerja penyimpangannya menjadi semakin besar. Secara umum hal ini lebih disebabkan karena kemungkinan permukaan bidang/ meja kerja terhadap pergerakan pahat tidaklah dapat dikatakan 100% tegak lurus. Selain faktor bidang acuan, kemungkinan lain yang menyebabkan terjadinya penyimpangan ini adalah karena geometri benda kerja itu sendiri. Yang mana permukaan benda kerja, terutama permukaan atas benda kerja yang mengalami proses pelubangan lebih awal, tidak sejajar dengan permukaan meja mesin yang dijadikan sebagai acuan.

Kesimpulannya penyimpangan yang terjadi bukanlah disebabkan oleh faktor-faktor dominan yang dapat menyebabkan terjadi penyimpangan sumbu lubang, seperti karena adanya defleksi (diameter pahat yang digunakan cukup kaku, 27 mm), *sliding* efek pada permukaan material benda kerja pada saat pemotongan atau pelubangan akan segera dilakukan, sehingga pada proses pelubangan untuk material polimer perkakas bantu tuntun (*jig*) lebih berfungsi untuk menjaga ketepatan jarak antar lubang dibandingkan untuk menjaga ketegaklurusan lubang.

Selanjutnya kalau diamati dari kebulatan rata-rata yang dihasilkan selama penelitian dengan mempergunakan mesin gurdi radial pada material polimer setelah data diolah dan disajikan dalam bentuk grafik (Grafik 4.2), terlihat bahwa secara umum lubang yang dihasilkan dengan proses gurdi dengan putaran tertentu memiliki nilai kebulatan yang berada di luar rata-rata toleransi yang diinginkan (toleransi mesin dijadikan sebagai pedoman).



Grafik 4.2 Kebulatan lubang

- Referensi
- Penyimpangan max mesin
- Penyimpangan min mesin
- ketidakbulatan
- Penyimpangan rata-rata 18 titik pengujian

Dari grafik diatas didapat nilai ketidakbulatan lubang yang dihasilkan proses gurdi polimer yaitu sebesar :

$$\begin{aligned}\Delta R &= R_{\max} - R_{\min} \\ &= 0.15 \text{ mm} - 0.05 \text{ mm} \\ &= 0.10 \text{ mm}\end{aligned}$$

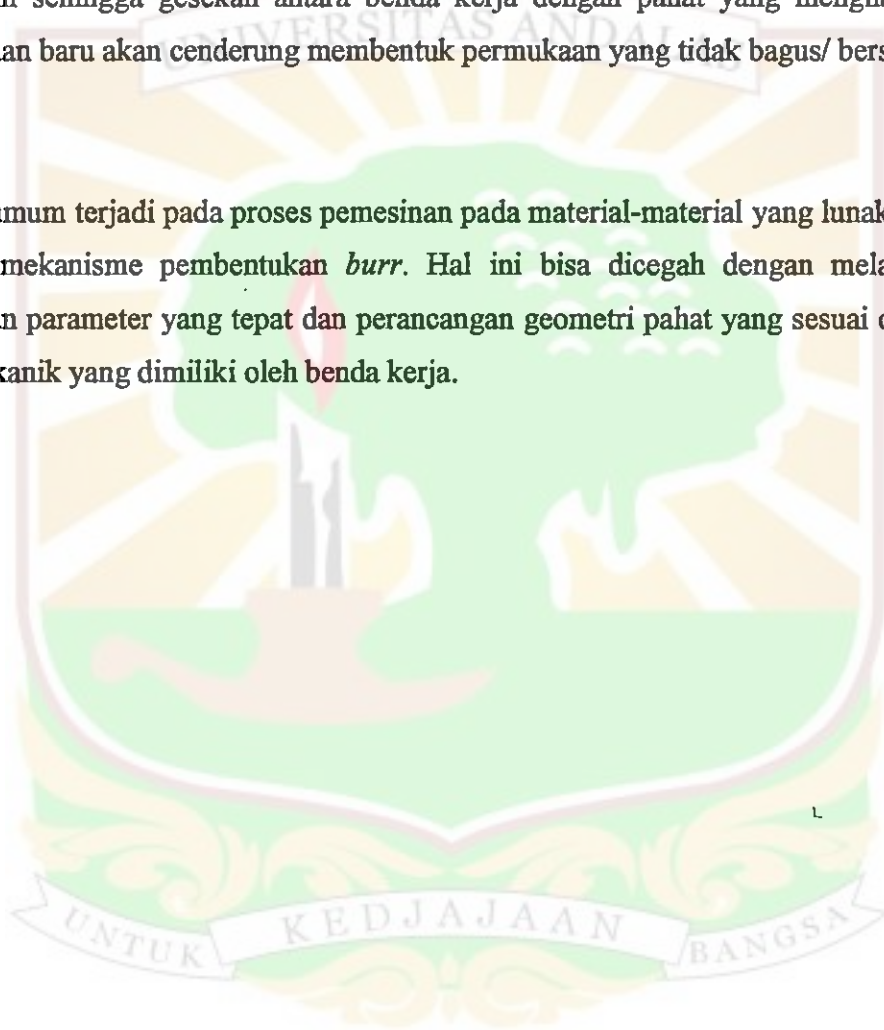
Sedangkan bentuk profil kebulatan yang dihasilkan menyerupai bentuk ellipsis (Lihat Gambar 4.2)

Ketidakbulatan ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan beberapa hal :

1. Material polimer yang cenderung lebih lunak dibandingkan baja sehingga mampu mesinnya juga kurang bagus
2. Geometri pahat yang dipergunakan dalam pembuatan lubang, sama dengan geometri pahat untuk pembuatan lubang dari material baja. Yang mana pada proses pemotongan untuk baja mata potong yang dipergunakan (pertemuan antara bidang geram dan bidang utama) tidak 'tajam' tapi cenderung tumpul. Hal ini disebabkan supaya mata potong tidak cepat haus, sehingga dengan membuat mata potong 'tumpul' maka mata potong mempunyai kekuatan yang cukup untuk bertahan lama dalam proses pelubangan. Sedangkan untuk material sejenis polimer, seharusnya mata potong pahat harus dibuat sedikit lebih 'tajam'.
3. Proses pelubangan yang dilakukan tanpa bertahap, yaitu langsung sebesar 27 mm. Hal ini mungkin saja menyebabkan ketidakbulatan pada lubang yang dihasilkan

Jadi pada proses pelubangan untuk material polimer, kebulatan lubang tidak dapat dijamin berada di dalam batas daerah toleransi, karena beberapa hal yang disebutkan di atas. Selain itu, hal ini juga kemungkinan disebabkan karena proses pemesinan yang dilakukan adalah proses pemesinan tanpa menggunakan pelumas ataupun cairan pendingin sehingga gesekan antara benda kerja dengan pahat yang menghasilkan permukaan baru akan cenderung membentuk permukaan yang tidak bagus/ berserabut (*burr*).

Hal ini umum terjadi pada proses pemesinan pada material-material yang lunak, yang disebut mekanisme pembentukan *burr*. Hal ini bisa dicegah dengan melakukan pemilihan parameter yang tepat dan perancangan geometri pahat yang sesuai dengan sifat mekanik yang dimiliki oleh benda kerja.



DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Eriksen, Else.** 1997. Machining of Short Fibre Reinforced Thermoplastics. Aalborg University, Denmark.
- Hari Poerwanto, Indratmoko.** 2002. Kategori Kimia Polimer. <http://www.chemistry.org/?sect=artikel&ext=50>. Tanggal Akses 24 September 2007
- Hoshi, Tetsutaro,**1994. Technical Manual For Using Production Technology Core Laboratory. HEDS/ PMU. Medan
- Idol, J. D. and Richard L.** 2005. Polymers. ASM International, Materials parks, OH. Rutgers University.
- Kobayashi, Akira.** 1967. Ultraprecision Machining of Plastics. McGraw-Hill, New York.
- Rochim, Taufiq dan Wirjomartono, S.H.** 1985. Spesifikasi Geometris Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas. Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB, Bandung.
- Rochim, Taufiq.** 1993. Teori dan Teknologi Proses Pemesinan. Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung.
- Salles, J. L. C. Dan M. T. T. Goncalves.** 2003. Effects of Machining Parameters On Surface Quality of The Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE). Brazil.
- Surdia, T.** 1984. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita, Jakarta.
- <http://www.plasticmachining.com/magazine/2001-07/PP-PVC.html>. Tanggal Akses 31 Agustus 2007

1. Data Ketegaklurusan

Lubang 1			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
0.03	-0.02	-0.01	-0.02
-0.03	-0.02	-0.01	-0.02
0.02	-0.01	-0.01	-0.02
-0.02	-0.01	0	-0.02
-0.02	-0.01	0	-0.01
-0.01	0	0	-0.01
-0.01	0	0	-0.01
-0.01	0	0	-0.01
-0.01	0	0	-0.01
-0.01	0	0	-0.01
-0.01	0	0	0

Lubang 2			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
-0.04	-0.02	0.03	0
-0.03	-0.01	0.03	0.02
-0.02	0	0.03	0.03
-0.01	0	0.03	0.03
-0.01	0	0.03	0.02
-0.01	0	0.02	0.02
-0.01	0	0.02	0.02
-0.01	0	0.01	0.02
-0.02	-0.01	0	0.01
-0.01	-0.02	0	0
0	0	0	0

Lubang 3			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
-0.07	-0.05	0.07	0.03
-0.06	-0.02	0.07	0.03
-0.05	-0.01	0.06	0.03
-0.04	-0.01	0.05	0.03
-0.03	-0.01	0.04	0.02
-0.03	-0.01	0.03	0.02
-0.02	-0.01	0.02	0.01
-0.01	-0.01	0.01	0
-0.01	-0.01	0	0
0	0	0	0

Lubang 4			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
0	0.02	-0.03	-0.01
0	0.03	-0.01	-0.01
-0.01	0.02	-0.01	-0.01
-0.01	0.02	0	-0.01
-0.02	0.02	0	-0.01
-0.02	0.02	0	-0.02
-0.02	0.01	0	-0.02
-0.01	0	0	-0.02
-0.01	-0.01	0	-0.01
0	0	0	0

lubang 5			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
0	-0.05	-0.08	0.02
0	-0.04	-0.07	0.02
0	-0.02	-0.06	0.02
0	-0.01	-0.05	0.02
-0.01	-0.01	-0.05	0.01
-0.01	0	-0.04	0
-0.03	0.01	-0.03	-0.01
-0.02	0	-0.02	-0.01
-0.02	0.01	-0.02	0
0	0	0	0

lubang 6			
Sisi 1	Sisi 2	Sisi 3	Sisi 4
-0.03	-0.01	-0.03	-0.04
0	0	-0.02	-0.02
0.01	0.01	-0.01	0.01
0.01	0.01	-0.01	0.01
0.01	0.01	-0.01	0.01
0.01	0.01	-0.01	0.01
0.01	0	-0.01	0
0	0	-0.01	-0.01
0	-0.01	-0.01	-0.01
0	0	0	0

2. Data Kebulatan

LUBANG 1		
atas	tengah	bawah
0	0	0
0.04	-0.4	-0.28
0.02	-0.45	-0.62
0.42	-0.2	0
0.64	-0.1	0
0.64	-0.1	0
0.64	0	0
0.64	0	0

lubang 2		
atas	tengah	bawah
0	0	0
0.14	0.6	0.15
0.3	0.5	0.45
0.7	0.54	0.72
0.6	0.39	0.37
0.15	0.06	0.02
0	0	-0.02
-0.05	-0.02	-0.04

lubang 3		
atas	tengah	bawah
0	0	0
-0.02	0	0
0.1	0.08	0.05
0.2	0.14	0.07
0.25	0.15	0.06
0.2	0.13	0.03
0.13	0.09	0.01
0.5	0.05	0.02

lubang 4		
atas	tengah	bawah
0	0	0
0.07	0.1	0.03
0.08	0.1	0.04
0.01	0.08	0.04
0.01	0.05	0.03
0.01	0.04	0
0.01	0.04	0
0	0.03	-0.01

lubang 5		
atas	tengah	bawah
0	0	0
0.13	0.16	0.2
0.1	0.12	0.16
0.07	0.05	0.1
-0.04	-0.05	0.01
-0.03	-0.05	-0.02
0.05	0	0.05
0.07	0.05	0.06

lubang 6		
atas	tengah	bawah
0	0	0
0.01	0	-0.01
-0.02	-0.03	-0.05
-0.06	-0.07	-0.05
-0.09	-0.06	-0.07
-0.08	-0.03	-0.05
-0.04	0.01	-0.02
0	0.02	0