

SKRIPSI

***LEVELING* MESIN PERKAKAS DAN KEKASARAN
PERMUKAAN BENDA KERJA**

(Studi Kasus Pada Mesin *Freis* di PT. Sinar Harapan Teknik)



Oleh
M. SYAH JOHAN
NPM G1C007034

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
BENGKULU
2014**

SKRIPSI

LEVELING MESIN PERKAKAS DAN KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA **(Studi Kasus Pada Mesin *Freis* di PT. Sinar Harapan Teknik)**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Bengkulu



Oleh
M. SYAH JOHAN
NPM G1C007034

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
BENGKULU
2014**

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini yang mengambil topik getaran dengan judul **“*Leveling* Mesin Perkakas dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja (Studi Kasus Pada Mesin *Freis* di PT. Sinar Harapan Teknik)”** tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis sebagai acuan di dalam naskah dan buku sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka.

Bengkulu, Agustus
2014

M. SYAH JOHAN

Persembahan

Skripsi ini kupersembahkan kepada :

- ❖ *Agama Islam, Bangsa dan Negaraku*
- ❖ *Ibu dan Ayah tercinta yang tak henti-hentinya mencurahkan segenap kasih sayang dan do'a dan cucuran keringat untuk keberhasilanku*
- ❖ *Adikku Nur Dian To yang cerewet, semoga dapat sukses kedepannya.*
- ❖ *Desi Wahyunita, Amd, Ak seseorang yang selalu memberi inspirasi dan motivasi yang memberikan arti dalam hidupku.*
- ❖ *Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2007, Rekan Pecel Lele (Jegong, Kocol, Semprol, Timbul, Kiting, Dancuk, Ndut, Tek, Lebong), Rekan asisten lab. Produksi, senior dan juniorku di Teknik Mesin UNIB yang telah berperan membantu.*
- ❖ *Almamter ku*

KATA PENGANTAR

Segala puji beserta syukur atas kehadiratnya sepantasnya penulis panjatkan kepada Allah SWT dengan berbagai karunia dan pentunjuknya sehingga dapat memberikan kesanggupan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul ***“Leveling Mesin Perkakas dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja (Studi Kasus Pada Mesin Freis di PT. Sinar Harapan Teknik)”***. Penyusunan tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan studi Sarjana Teknik penulis di Universitas Bengkulu Program Studi Teknik Mesin.

Dalam proses pengerjaan penulisan dan penyusunannya, telah sangat banyak pihak yang telah membantu penulis dalam merampungkannya. Sehingga izinkanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang dengan iklasnya membantu penulis :

1. Bapak Dr. Eng, Hendra, S.T., M.T., selaku Pembimbing dari penulis yang telah menyempatkan banyak waktunya untuk membimbing penulis dalam penulisan dan memberikan masukan-masukan.
2. Bapak Hendri Van Hoten S.T., M.T., selaku Pembimbing pendamping yang telah banyak membantu dan memberi masukan kepada penulis.
3. Bapak Angky Puspawan S.T., M.Eng., selaku Ketua prodi teknik mesin universitas Bengkulu .
4. Bapak Hendri Hestiawan S.T., M.T., M.M., selaku Ketua Penguji yang telah memberikan waktu dan menguji penulis.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin beserta Staf yang telah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Ibu dan Ayah yang dengan segala sabarnya menasehati serta memberikan masukan dan arahan kepada penulis serta doa yang tiada hentinya.
7. Adik ku Nurdian To yang telah memberikan semangatnya.
8. Rekan-rekan Pecel Lele, Saprol, Tek, Jegong, Timbul, Kiting, Ndut, Kocol, Cok, dan Lebong yang menjadi penyemangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

9. Desi Wahyunita, Amd, Ak yang selalu berikan semangat dan dukungannya selama ini.
10. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2007 dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan informasi sehingga terselesaikanya Tugas Akhir ini.

Semoga semua jasa dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dari semua yang telah membantu mendapatkan balasan yang sepadan oleh Allah SWT.

Penulis sangat menyadari sekali bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih sagat banyak sekali terdapat kesalahan dan kejanggalan dimana-mana, semuanya dibatasi oleh ketidaksempurnaan yang dimiliki penulis sebagai manusia biasa. Oleh karena, penulis sangat mengharapkan sekali datangnya kritikan dan saran dari rekan-rekan maupun pembaca yang mudah-mudahan dapat menyempurnakan dari Tugas Akhir ini, agar kelak nantinya dapat lebih bermanfaat bagi kita semua yang membacanya.

Bengkulu, Agustus 2014

Penulis

ABSTRAK

Mesin Freis (milling), merupakan salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk melakukan penyayatan terhadap benda kerja dengan mata pahatnya yang berputar pada sumbunya, permukaan yang dipotong menggunakan mesin Freis dapat berbentuk bidang datar, menyudut, atau melengkung. Alat tersebut membutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi agar hasil yang didapatkan pun menjadi lebih presisi dan akurat. Maka dari itu sebaiknya perlu dilakukan suatu proses pengujian terhadap ketelitian geometrik dari mesin perkakas tersebut.

Salah satu pengujian mesin perkakas yang sangat berpengaruh terhadap kualitas dari produk yang dihasilkan adalah penyelarasan (Level) dan simpang putar (Run out). Dengan melakukan penyelarasan (Level) pada mesin perkakas kita dapat mengetahui daerah-daerah yang telah mengalami puntiran akibat pembebanan saat kerja, menghindari bidang referensi terpuntir (twisting), dan menghindari pembebanan statik maupun dinamik yang tidak seimbang pada tumpuan maupun bidang-bidang lintasan yang dapat mengakibatkan keausan.

Dari pengujian kedataran pada mesin freis diketahui untuk nilai run out spindel pahat memiliki nilai nol, sedangkan nilai kedataran meja kerja mesin freis memiliki nilai yang bervariasi antara -0,01 mm sampai dengan 0,01mm. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa meja mesin freis tidak rata. Bervariasinya nilai kedataran meja mesin freis, berpengaruh juga terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Nilai kekasaran permukaan yang tertinggi adalah sebesar 3,668 μm dan nilai kekasaran permukaan yang terendah adalah sebesar 1,953 μm .

Kata kunci : mesin freis, kedataran, kekasaran permukaan

ABSTRACT

Frais machine (milling), is one of the machine tools used to make the cutting against the workpiece with the eyes of a his chisel spin on its axis, the surface of which is cut using the machine may take the form of flat fields Frais, curved, or angled. The tool requires a high level of precision so that the results obtained were to be more precise and accurate. Therefore we suggest to do a process of testing the accuracy of the geometric engine of the gadget.

One of the testing machine tool that is very influential to the quality of the resulting product is the alignment (Level) and Run out. By doing the alignment (Level) on machine tools we can find out the areas that have been subjected to twist's as a result of the imposition of work, avoid a field reference is twisting, and avoiding the imposition of static as well as dynamic unbalanced on the object or the path fields can lead to wear and tear.

leveling testing of the engine is known to value frais run out workman spindle has zero value, while the value of the leveling work table that have a value of frais machine elegant variation between -0.01 mm up to 0,01mm. From these values can be summed up under the table uneven frais machine. Variation between value leveling table machine frais, also influential to the value of the kekesaran surface of the workpiece to be produced. The highest surface roughness value is 3,668 μm and the lowest surface roughness value was 1,953 μm .

Keywords: frais machine, leveling, surface roughness

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN URAIAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMBANG	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Sistematika penulisan.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Mesin <i>Freis</i> (<i>Milling</i>)	5
2.1.1 Jenis-Jenis Mesin <i>Freis</i>	6
2.1.2 Klasifikasi Proses <i>Freis</i>	8
2.1.3 Metode Proses <i>Freis</i>	9
2.1.4 Peralatan Pemegang Pisau <i>Freis</i>	12
2.1.5 Pencekam dan Pemegang pada Mesin <i>Freis</i>	13
2.1.6 Elemen Dasar pada Proses <i>Freis</i>	14
2.2. Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas	16

2.2.1 Standar Pengetesan Mesin Perkakas	16
2.2.2 Tahapan Pengujian Ketelitian Mesin Perkakas	18
2.3. Penyelarasan (<i>Level</i>)	18
2.3.1 Alat Ukur Spirit Level	19
2.4. Permukaan Dan Profil	21
2.4.1 Parameter Kekasaran Permukaan	22
2.4.2 Penulisan Kekasaran Permukaan Pada Gambar	24
2.4.3 <i>Surface Roughness Tester</i>	25
2.5 Simpangan Putar (<i>Run Out</i>)	26
2.5.1 Metode Pengukuran <i>Run Out</i>	26
2.5.2 Jam Ukur (<i>Dial Indikator</i>)	27
2.6 Dudukan Bantalan Shredder	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir	30
3.2 Alat Dan Bahan Pengujian	31
3.2.1 Mesin <i>Freis</i> (<i>Chin Yuan Hsing</i>)	31
3.2.2 <i>Surface Roughness Tester</i>	33
3.2.3 <i>Spirit Level</i>	33
3.2.4 <i>Dial indikator</i>	34
3.2.5 Dudukan <i>Shredder</i>	34
3.3 Prosedur Pengujian	35
3.4 Pengambilan Data	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Kedataran Meja Menggunakan Spirit Level Dengan Posisi Horizontal Dan Vertikal	39
4.2. Hasil Pengujian <i>Run Out</i> Pada Spindel Menggunakan <i>Dial Indikator</i>	48
4.3. Perhitungan Teoritik Proses Permesinan Dudukan <i>Shredder</i>	50
4.4. Proses Permesinan Dudukan Shredder	52
4.5. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Pada Dudukan	

<i>Shredder</i>	54
4.6. Hubungan Antara Kedataran Meja Dengan Kekasaran Permukaan	56

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mesin <i>Freis Universal</i>	5
Gambar 2.2	Mesin <i>Freis</i> Tipe <i>Coloumn And Knee</i>	6
Gambar 2.3	Mesin <i>Freis</i> Tipe <i>Bed</i>	7
Gambar 2.4	Mesin <i>Freis</i> Tipe Khusus (<i>Special Purposes</i>)	7
Gambar 2.5	Mesin <i>Freis CNC</i> Tipe <i>Bed</i>	8
Gambar 2.6	<i>Freis</i> periperal (<i>Slab Milling</i>)	8
Gambar 2.7	<i>Freis</i> Muka (<i>Face milling</i>)	9
Gambar 2.8	<i>Freis</i> Jari (<i>End Milling</i>).....	9
Gambar 2.9	<i>Freis</i> Naik (<i>Up Milling</i>)	10
Gambar 2.10	<i>Freis</i> Turun (<i>Down Milling</i>).....	10
Gambar 2.11	Pisau <i>Freis</i> Identik Dengan Beberapa Pahat Bubut	11
Gambar 2.12	Jenis Serta Bentuk Pisau <i>Freis</i> Horizontal Dan Vertikal ..	11
Gambar 2.13	Skematik <i>Arbor</i> Mesin <i>Freis</i>	12
Gambar 2.14	(A) <i>Kolet Pegas</i> (B) <i>Kolet Solid</i>	12
Gambar 2.15	(A) Pemegang Pisau <i>Freis</i> Ujung (<i>End Mill</i>), (B) Pemegang Pisau <i>Shell End Mill</i> , (C) Kepala Bor (<i>Offset Boring Head</i>)	13
Gambar 2.16	<i>Ragum Sederhana Dan Ragum Universal</i>	14
Gambar 2.17	Gelembung Pada <i>Spirit Level</i>	20
Gambar 2.18	<i>Spirit Level</i>	20
Gambar 2.19	Tabel Ketidak Teraturan Suatu Profil	21
Gambar 2.20	Bentuk Profil Kekasaran Permukaan	23
Gambar 2.21	Lambang Kekasaran Permukaan.....	24
Gambar 2.22	<i>Stylus Surface Roughness Tester</i>	25
Gambar 2.23	<i>Surface Roughness Tester</i>	26
Gambar 2.24	Pengukuran <i>Run Out</i>	27
Gambar 2.25	<i>Dial Indicator</i>	28
Gambar 2.26	<i>Dial Gauge</i>	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	30

Gambar 3.2	Mesin <i>Freis</i>	32
Gambar 3.3	TR 200 <i>Surface Roughness Tester</i>	33
Gambar 3.4	<i>Spirit Level</i>	34
Gambar 3.5	<i>Dial Indicator</i>	34
Gambar 3.6	Dudukan <i>shredder</i>	35
Gambar 3.7	Pengukuran <i>Level</i>	36
Gambar 3.8	Pengukuran <i>Run Out</i> Vertikal.....	37
Gambar 3.9	Pengukuran <i>Run Out</i> Horizontal	38
Gambar 3.10	Pengukuran Kekasaran Permukaan	38
Gambar 4.1	Nilai Kedataran Rata-Rata Horizontal	45
Gambar 4.2	Nilai Kedataran Rata-Rata Vertikal	47
Gambar 4.3	Pengukuran <i>Run Out</i> Pada Spindel Vertikal.....	49
Gambar 4.4	Pengukuran <i>Run Out</i> Pada Spindel Horizontal.....	49
Gambar 4.5	Sudut Pengukuran <i>Run Out</i>	49
Gambar 4.6	Kekasaran Permukaan Dudukan <i>Shredder</i>	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Angka kekasaran permukaan	24
Tabel 2.2	Komposisi FCD 40	29
Tabel 3.1	Spesifikasi Mesin <i>Freis Chin Yuan Hsing</i>	31
Tabel 3.2	Spesifikasi Mesin <i>Freis Chin Yuan Hsing</i>	32
Tabel 3.3	Spesifikasi TR 200 <i>Surface Roughness Tester</i>	33
Tabel 3.4	Spesifikasi Dimensi Komponen	35
Tabel 4.1	Nilai Kedataran Horizontal (Kepekaan <i>Spirit Level</i> 0,1 mm/m)	40
Tabel 4.2	Nilai Kedataran Vertikal (Kepekaan <i>Spirit Level</i> 0,1 mm/m)..	42
Tabel 4.3	Nilai Rata-Rata Kedataran Horizontal	44
Tabel 4.4	Nilai Rata-Rata Kedataran Vertikal	46
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Proses Permesinan Dudukan <i>Shredder</i>	54
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Dudukan <i>Shredder</i>	54

DAFTAR LAMBANG

d	=	<i>Diameter Pahat</i>
n	=	<i>Kecepatan Spindel</i>
a	=	<i>Kedalaman Potong</i>
f	=	<i>Gerak Makan</i>
l_t	=	<i>Panjang Pemotongan</i>
V_c	=	<i>Kecepatan Potong</i>
V_f	=	<i>Kecepatan Makan</i>
t_c	=	<i>Waktu Pemotongan</i>
z	=	<i>Jumlah Mata Pahat</i>
Z	=	<i>Kecepatan Menghasilkan Geram</i>
R_a	=	<i>Kekasaran Permukaan Aritmatik</i>
R_t	=	<i>Kekasaran Permukaan Total</i>
R_p	=	<i>Kekasaran Permukaan Perataan</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan perkembangan dunia perindustrian seperti saat ini maka kebutuhan akan mesin perkakas pun semakin meningkat. Hal tersebut berimbas juga pada kemajuan mesin-mesin yang digunakan untuk melakukan suatu proses pemesinan, sehingga mesin-mesin yang digunakan dalam melakukan proses pemesinan dituntut mampu melakukan pekerjaan dengan cepat dan mampu melakukan proses dalam skala yang besar tanpa mengabaikan ketelitian atau kelayakan dari hasil proses pemesinan itu sendiri. Alat-alat yang biasa digunakan dalam melakukan proses pemesinan salah satunya adalah mesin *Freis (milling)*, merupakan salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk melakukan pemotongan terhadap benda kerja dengan mata pahatnya yang berputar pada sumbunya, permukaan yang dipotong menggunakan mesin *Freis* dapat berbentuk bidang datar, menyudut, atau melengkung. Alat tersebut membutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi agar hasil yang didapatkan pun menjadi lebih presisi dan akurat.

Maka dari itu sebaiknya perlu dilakukan suatu proses pengujian terhadap ketelitian geometrik dari mesin perkakas tersebut. Salah satu pengujian mesin perkakas yang sangat berpengaruh terhadap kualitas dari produk yang dihasilkan adalah penyelarasan (*Level*) dan simpang putar (*Run out*). Dengan melakukan penyelarasan (*Level*) pada mesin perkakas kita dapat mengetahui daerah-daerah yang telah mengalami puntiran akibat pembebanan saat kerja, menghindari bidang referensi terpuntir (*twisting*), dan menghindari pembebanan statik maupun dinamik yang tidak seimbang pada tumpuan maupun bidang-bidang lintasan yang dapat mengakibatkan keausan. Dengan mengetahui poin-poin tersebut kita dapat mengetahui berapa besar penyimpangan yang terjadi pada mesin perkakas dan mengambil tindakan lebih lanjut jika penyimpangan yang terjadi melewati batas toleransi yang diizinkan.

Selain *Level* kita juga perlu melakukan pengujian simpang putar (*run out*), karena jika komponen tersebut sudah berputar tidak dalam lintasannya atau terjadi penyimpangan putar yang melebihi dari batas toleransi yang diizinkan dapat berpengaruh pada tingkat ketelitian dari mesin perkakas tersebut. Mengingat bahwa pentingnya proses *Level* dan *run out* dilakukan terhadap suatu mesin perkakas karena dapat berpengaruh pula pada kualitas yang didapatkan pada proses pemesinannya, maka di perlukan pula suatu proses pengukuran *kekasaran permukaan* pada benda kerja yang dihasilkan dari proses pemesinan mesin perkakas tersebut, supaya benar-benar diketahui apakah mesin perkakas tersebut masih dalam kondisi yang baik atau telah terjadi penyimpangan, karena dalam perancangan komponen mesin memerlukan kwalitas permukaan yang tinggi.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui cara melakukan pengecekan kondisi ketelitian geometrik mesin perkakas kedataran (*Level*) dan *Run out*.
2. Mengetahui cara melakukan pengukuran kekasaran permukaan.
3. Menghitung proses pemesinan yang dilakukan.
4. Mencari pengaruh dari ketelitian geometrik mesin perkakas terhadap kekasaran permukaan.

1.3. Rumusan Masalah

Hasil pemesinan mesin perkakas sangat berpengaruh terhadap ketelitian dimensi dan kekasaran permukaannya. Sehingga sangat diperlukan pengecekan berkala terhadap ketelitian geometriknnya, dengan melakukan pengetesan mesin perkakas dapat dilihat tingkat ketelitian mesin tersebut apakah masih dalam kompensasi atau telah melewati sehingga dapat dilakukan perbaikan dan penggantian terhadap komponennya.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya cangkupan terhadap penelitian ini, maka diperlukan suatu pembatasan agar masalah tidak melebar.

1. Pengujian yang dilakukan adalah pengecekan kondisi ketelitian geometrik mesin perkakas bukan perbaikannya.
2. Pengukuran *level* dilakukan pada meja mesin *freis*, sedangkan *run out* dilakukan pada *spindel*.
3. Pengukuran kekasaran permukaan hasil pemesinan dilakukan pada dudukan bantalan *shredder*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diambil dari penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat mengetahui lebih lanjut mengenai ketelitian geometrik mesin perkakas.
2. Dapat mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan kesalahan geometrik.
3. Dapat memberikan wawasan bagaimana cara melakukan pengujian *Level* dan *run out* pada mesin perkakas.
4. Mengetahui cara melakukan pengukuran kekasaran permukaan dan menghitung kekasaran permukaan yang didapat.
5. Mengetahui proses pemesinan *freis* dan menghitung prosesnya.
6. Mengetahui pengaruh ketelitian geometrik terhadap kekasaran permukaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini, terdiri dari lima bab dan dilengkapi dengan lampiran. Pada Bab I, merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, batasan masalah topik yang dipilih serta sistematika penulisan yaitu untuk mencerminkan isi dari laporan. Pada Bab II, Berisi tentang tinjauan pustaka mengenai teori dasar, yang di dalamnya berisi ilmu-ilmu dasar yang diperlukan untuk menunjang tema penelitian yang dipilih. Isi dari bab ini yaitu *Level* mesin perkakas dan pengukuran kekasaran benda kerja pada mesin *Freis*.

Bab selanjutnya adalah Bab III yaitu metodologi penelitian yang berisikan diagram alir penelitian, langkah-langkah yang ditempuh dalam mengerjakan penelitian ini. Pada Bab IV merupakan hasil dan pembahasan yang menjelaskan tentang hasil yang dicapai dari penelitian ini. Dari hasil yang diperoleh kemudian dipaparkan dalam sub-bab pembahasan. Pembahasan yang dilakukan merupakan rangkuman dari hasil-hasil yang diperoleh. Kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya, dipaparkan pada bab penutup yaitu Bab V.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin *Freis* (*milling*)

Proses pemesinan *Freis* (*milling*) merupakan suatu proses pemotongan benda kerja dengan menggunakan mata potong yang berputar. Proses pemotongan dengan menggunakan gigi potong yang banyak mengitari pisau ini dapat menghasilkan proses pemesinan yang lebih cepat. Permukaan yang mampu dipotong oleh mesin *Freis* adalah bidang datar, menyudut ataupun melengkung. Permukaan pada benda kerja dapat juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk.



Gambar 2.1 Mesin *Freis* Universal

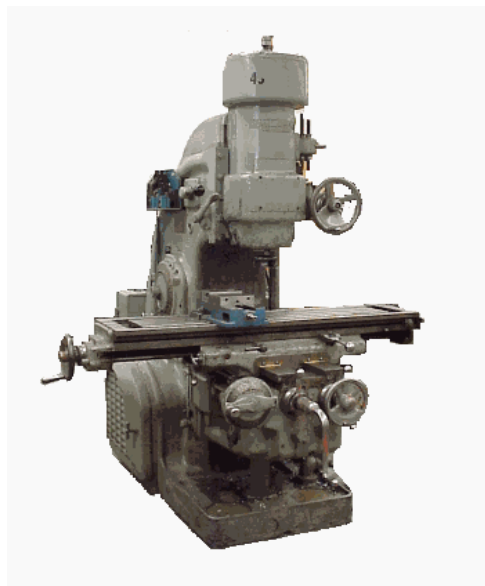
Mesin *Freis* ada yang dikendalikan secara mekanis (*konvensional manual*) posisi *spindel* ada dua macam yaitu horizontal dan vertikal, pada mesin *Freis* konvensional manual juga dituntut kemampuan dan keterampilan dari operatornya. Sedangkan pada mesin *Freis* CNC hampir semuanya merupakan mesin *Freis* vertikal.

2.1.1 Jenis-Jenis Mesin *Freis*

Ada tiga jenis mesin *Freis* (*milling*) yang digunakan dalam proses pemesinan yaitu :

1. ***Column And Knee Milling Machines***

Mesin *Freis* tipe *column and knee* dibuat dalam bentuk mesin *Freis* vertikal dan horizontal, mampu melakukan berbagai jenis pemesinan adalah keuntungan utama pada mesin jenis ini. pada mesin jenis ini meja (*bed*), sadel, dan lutut (*knee*) dapat digerakkan. Beberapa aksesoris seperti cekam, meja putar, dan kepala pembagi menambah kemampuan dari mesin *Freis* ini. Akan tetapi mesin ini memiliki kekurangan dalam hal kekakuan dan kekuatan pemotongannya.



Gambar 2.2 Mesin *Freis* Tipe *Coloumn and Knee* ^[1]

2. ***Bed Type Milling Machines***

Mesin *Freis* tipe *bed* (*bed type*) memiliki produktivitas yang lebih tinggi dari pada jenis mesin *Freis* yang pertama. Kekakuan mesin yang baik, serta tenaga mesin yang biasanya relatif besar, menjadikan mesin ini banyak digunakan pada perusahaan manufaktur, mesin *Freis* tipe ini telah banyak yang dilengkapi dengan pengendali CNC untuk meningkatkan produktivitas dan fleksibilitasnya.



Gambar 2.3 Mesin *Freis* Tipe *Bed* ^[2]

3. *Special Purposes*

Mesin *Freis* tipe khusus ini, biasanya digunakan untuk keperluan mengerjakan satu jenis pemotongan dengan produktivitas/duplikasi yang sangat tinggi misalnya mesin *Freis* profil, mesin *Freis* dengan *spindel* ganda (dua, tiga, sampai lima *spindel*), dan mesin *Freis planer*. mesin *Freis* khusus ini produktivitas mesinnya sangat tinggi, sehingga ongkos produksi menjadi rendah, karena mesin jenis ini tidak memerlukan *setting* yang rumit.



Gambar 2.4 Mesin *Freis* Tipe Khusus (*Special Purposes*)

Selain itu ada juga mesin *Freis* yang jenisnya sama dengan manual, akan tetapi sistem kendalinya CNC (*Computer Numerically Controlled*). maka mesin *Freis* menjadi sangat fleksibel dalam mengerjakan berbagai bentuk benda kerja, efisien waktu dan biaya yang diperlukan, serta produk yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi.



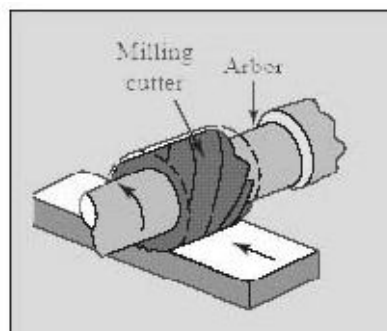
Gambar 2.5 Mesin *Freis* CNC Tipe Bed ^[3]

2.1.2 Klasifikasi Proses *Freis*

Klasifikasi mesin *Freis* menurut jenis pisau, arah pemotongan, dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja dapat dibagi tiga jenis yaitu :

1. *Freis* Periperal (*Slab milling*)

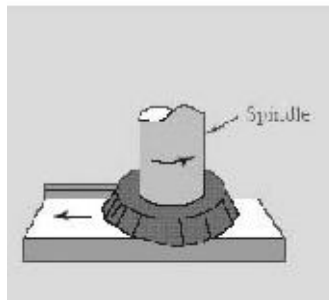
Pada *Slab Milling* pengerjaan permukaan yang di*Freis* dihasilkan oleh gigi pisau yang terdapat pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang dipotong.



Gambar 2.6 *Freis* Periperal (*Slab Milling*) ^[4]

2. Freis Muka (Face Milling)

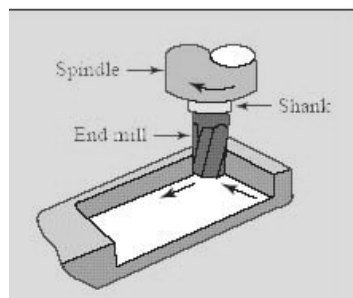
Pada *Face milling* pisau dipasang pada *spindel* yang sumbu putarnya tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan dipotong oleh ujung serta selubung pisau.



Gambar 2.7 Freis Muka (Face milling) ^[5]

3. Freis Jari (End Milling)

Proses *End milling* pisaunya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk dapat menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak selubung pisau dan ujung badan pisau.



Gambar 2.8 Freis Jari (End Milling) ^[6]

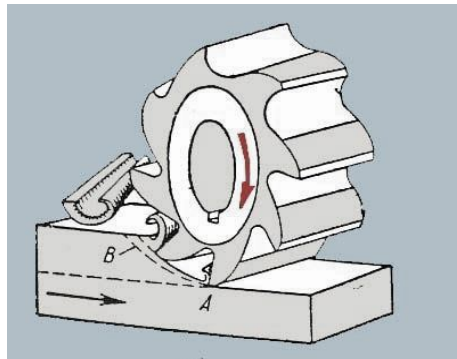
2.1.3 Metode Proses Freis

Metode dalam proses *Freis* ditentukan dari arah relatif gerak makan meja mesin *Freis* terhadap putaran pisau. Metode proses *Freis* ada dua jenis yaitu :

1. Freis Naik (Up Milling)

Up milling biasa disebut *Freis Konvensional (conventional milling)*. Gerakan putaran pisau berlawanan arah terhadap gerak makan meja *Freis*. Contoh, pada proses *up milling* apabila pisau berputar searah jarum jam, benda kerja dipotong kearah

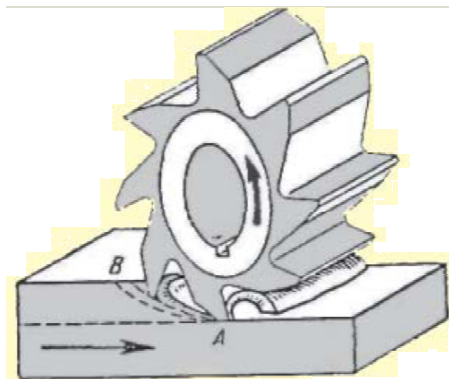
kanan. Penampang melintang bentuk geram (*chips*) untuk proses *up milling* adalah seperti koma diawali dengan ketebalan minimal kemudian menebal. Proses ini sesuai untuk *Freis* konvensional/manual, karena pada mesin konvensional *backlash* ulir transportirnya relatif besar dan tidak dilengkapi *backlash compensation*.



Gambar 2.9 Freis Naik (*Up Milling*) ^[7]

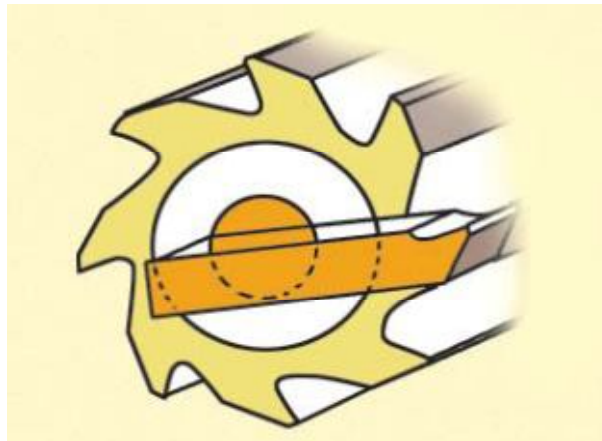
2. Freis Turun (*down milling*)

Down milling biasa disebut juga *Climb Milling*. Arah dari putaran pisau sama dengan arah gerak makan meja mesin *Freis*. Contoh, jika pisau berputar berlawanan arah jarum jam, benda kerja dipotong kekanan. Penampang melintang bentuk geram (*chips*) untuk proses *Freis* naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan maksimal kemudian menipis. Proses *down milling* ini sesuai untuk mesin *Freis* CNC, karena pada mesin CNC gerakan meja dipandu oleh ulir dari bola baja, dan dilengkapi *Backlash Compensation*. *Down milling* tidak cocok untuk mesin *Freis* konvensional karena meja mesin *Freis* dapat tertekan dan ditarik oleh pisau.



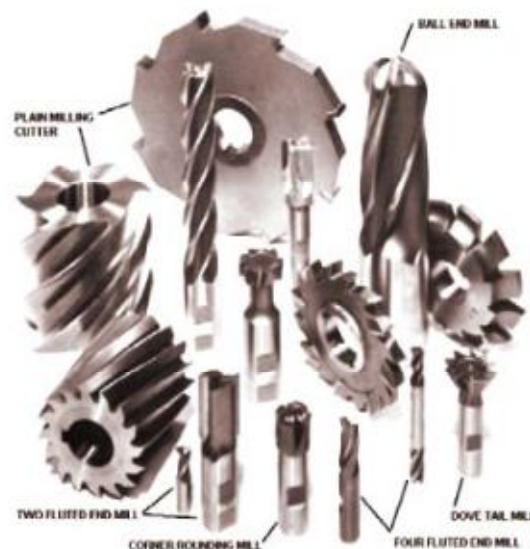
Gambar 2.10 Freis Turun (*down milling*) ^[8]

Pengerjaan proses pemesinan dengan mesin *Freis* merupakan proses pemotongan benda kerja yang sangat efektif, karena pisau *Freis* memiliki sisi potong jamak. Jika dibandingkan dengan pisau bubut, maka pisau *Freis* analog dengan beberapa buah pisau bubut.



Gambar 2.11 Pisau *Freis* Identik dengan Beberapa Pahat Bubut ^[9]

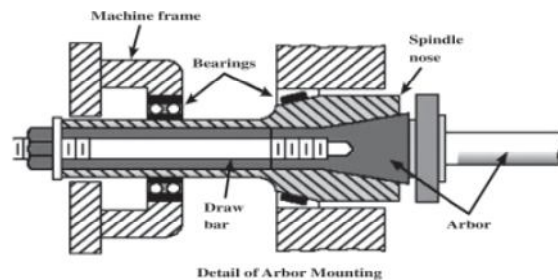
Pisau *Freis* dapat melakukan pemotongan berbagai bentuk benda kerja, sesuai dengan pisau yang digunakan. Mulai dari meratakan permukaan, membuat alur yang lebar, membuat alur tipis dapat dilakukan dengan pisau *Freis*.



Gambar 2.12 Jenis Serta Bentuk Pisau *Freis* Horizontal dan Vertikal ^[10]

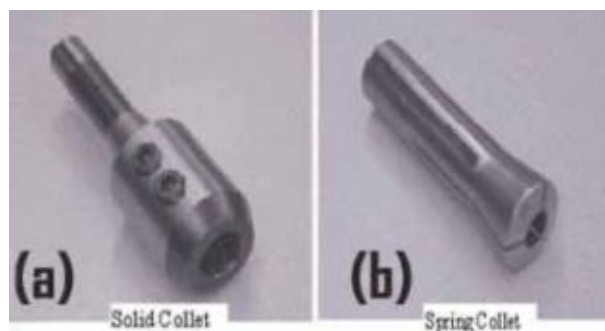
2.1.4 Peralatan Pemegang Pisau *Freis*

Proses pemotongan mesin *Freis* memerlukan alat bantu guna memegang pisau *Freis* dan benda kerja, pisau *Freis* harus dicekam dengan kuat agar pada proses pemotongan dapat berkerja dengan efektif sehingga pada saat proses pemotongan tidak terjadi selip pada pemegangnya. Pada mesin *Freis* konvensional pemegang pisaunya adalah *arbor*, *arbor* pada porosnya diberi alur yang digunakan untuk menempatkan pasak sesuai dengan ukuran alur pasak pada pisau *Freis*. Pasak tersebut dapat mencegah terjadinya selip pada saat pisau *Freis* menahan gaya potong yang relatif besar dan tidak kontinu ketika gigi-gigi pisau melakukan pemotongan pada benda kerja.



Gambar 2.13 Skematik Arbor Mesin *Freis* ^[11]

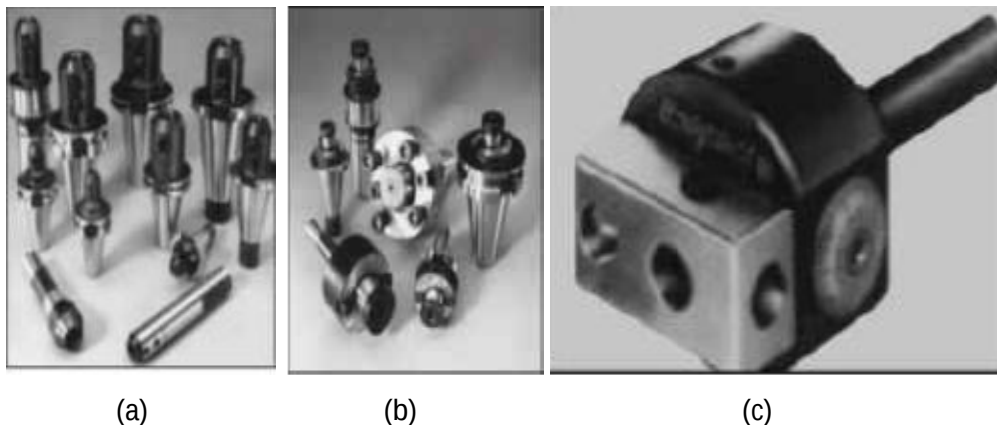
Sedangkan pemegang pisau untuk mesin *Freis* vertikal adalah *kolet*, *kolet* mempunyai fungsi sebagai cekam bagian pemegang (*shank*) pisau. Bentuk *kolet* adalah *silinder* lurus di bagian dalamnya sedangkan pada bagian luarnya berbentuk tirus. Pada sisi *kolet* terdapat alur tipis sehingga pada saat *kolet* dimasuki pisau dapat dengan mudah memegang pisau.



Gambar 2.14 (a) Kolet Pegas (b) Kolet Solid ^[12]

Setelah kolet dimasukkan ke kolet kemudian kolet tersebut dimasukkan kedalam pemegang pisau (*tool holder*). Karena bentuk kolet pada bagian luar berbentuk tirus maka pemegang pisau akan menekan kolet dan benda kerja dengan sangat kuat sehingga tidak terjadi selip pada saat pisau menerima gaya potong yang besar.

Pemegang pisau (*tool holder*) standar digunakan untuk memegang pisau *Freis* ujung (*end mill*). Beberapa proses *Freis* juga memerlukan sebuah cekam (*chuck*) untuk memegang pisau *Freis*. Pemegang pisau ini ada dua jenis yaitu dengan ujung tirus morse (*morse taper*) dan lurus. Pemegang pisau yang lain adalah kepala bor. Kepala bor ini jarak antara ujung pisau terhadap sumbu bisa diubah-ubah, sehingga dinamakan *offset boring heads*. Pemegang pisau ini biasanya digunakan untuk proses bor (*boring*), perataan permukaan (*facing*), dan pembuatan champer (*chamfering*).



Gambar 2.15 (A) Pemegang Pisau *Freis* Ujung (*End Mill*), (B) Pemegang Pisau *Shell End Mill*, (C) Kepala Bor (*Offset Boring Head*) ^[13]

2.1.5 Pencekam Dan Pemegang pada Mesin *Freis*

Alat pemegang benda kerja pada mesin *Freis* berfungsi untuk memegang benda kerja yang sedang dipotong oleh pisau *Freis*. Pemegang benda kerja ini biasanya dinamakan ragum. Ragum tersebut diikat pada meja mesin *Freis* dengan menggunakan baut T. Jenis ragum cukup banyak, penggunaannya disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang dikerjakan di mesin. Untuk benda kerja berbentuk balok atau kubus ragum yang digunakan adalah ragum sederhana atau

ragum *universal*. Ragum sederhana digunakan bila benda kerja yang dibuat bidang-bidangnya saling tegak lurus dan paralel satu sama lain (kubus, balok, balok bertingkat). Apabila digunakan untuk membuat bentuk sudut digunakan ragum *universal*, atau bila menggunakan ragum sederhana bentuk pisau yang dipakai menyesuaikan bentuk sudut yang dibuat.

Apabila bentuk benda kerja silindris, maka untuk memegang benda kerja digunakan kepala pembagi (*dividing head*). Kepala pembagi ini biasanya digunakan untuk memegang benda kerja silindris.



Gambar 2.16 Ragum Sederhana Dan Ragum *Universal*

Ragum biasa yang dipasang langsung pada meja mesin *Freis* hanya dapat digunakan untuk mengerjakan benda kerja lurus atau bertingkat dengan bidang datar atau tegak lurus. Apabila benda kerja yang dibuat ada bentuk sudutnya, maka ragum diletakkan pada meja yang dapat diatur sudutnya (identik dengan meja sinus).

2.1.6 Elemen Dasar pada Proses *Freis*

Elemen dasar yang digunakan pada proses pemotongan mesin *Freis* umumnya hampir sama dengan elemen dasar pemotongan pada mesin bubut, namun pada proses *Freis* antara slab *milling* (*Freis* datar) dengan *face milling* (*Freis* muka) memiliki perbedaan dalam menghitung waktu pemotongannya.

Elemen dasar proses pemotongan *Freis* :

✚ Kecepatan potong

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

$V_c = \text{kecepatan potong (m/menit)}$

$d = \text{diameter pahat (mm)}$

$n = \text{kecepatan putaran (rpm)}$

$\pi = 3,14$

✚ Gerak makan per gigi

$$f_z = \frac{V_f}{(z \cdot n)} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

$f_z = \text{gerak makan per gigi (m/menit)}$

$V_f = \text{kecepatan makan (mm/putaran)}$

$Z = \text{jumlah gigi (mata potong)}$

$n = \text{kecepatan putaran (rpm)}$

✚ Waktu pemotongan

$$t_c = \frac{l_t}{V_f} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

$t_c = \text{waktu pemotongan (menit)}$

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

$l_w = \text{lebar pemotongan (mm)}$

$l_v = \text{jarak pemotongan sebelum BK (mm)}$

$l_n = \text{jarak pemotongan setelah BK (mm)}$

$V_f = \text{kecepatan makan (mm/putaran)}$

✚ Kecepatan menghasilkan geram

$$Z = \frac{V_f \cdot a \cdot w}{1000} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

$Z = \text{kecepatan menghasilkan geram (cm}^3/\text{menit)}$

$V_f = \text{gerak makan pergigi (mm/r)}$

$a = \text{kedalaman potong (mm)}$

$w = \text{lebar pemotogan (mm)}$

2.2 Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas

Benda kerja dari hasil proses pemesian dapat kita ketahui kualitasnya dari ketelitian dimensi, ketelitian bentuk serta kehalusan dari permukaan benda kerja itu sendiri. Beberapa faktor yang mempengaruhi ketelitian dan kualitas dari benda kerja hasil proses pemesian antara lain :

- ✚ Ketelitian geometrik mesin perkakas
- ✚ Kondisi proses pemotongan
- ✚ Temperatur lingkungan
- ✚ Kondisi pahat
- ✚ Pemasangan benda kerja pada pencekam
- ✚ Gaya-gaya pemotongan

Ketelitian geometrik mesin perkakas yang langsung dapat mempengaruhi kualitas dari benda kerja adalah :

- ✚ Ketelitian permukaan referensi, ketelitian gerak linear
- ✚ Ketelitian putar *spindel*
- ✚ Ketelitian gerak pindah (*displacement accuracy*)

2.2.1 Standar Pengetesan Mesin Perkakas

Dalam mengetahui ketelitian geometrik suatu mesin perkakas maka kita dapat melakukan pengujian menurut prosedur yang berlaku, prosedur standar pengujian kelayakan mesin perkakas (*acceptance-standar*) telah dikembangkan oleh *Schlessinger* sejak tahun 1901. Beberapa negara telah mengembangkan dan membuat prosedur pengujian secara menyeluruh (meliputi aspek getaran, konsumsi daya, kekakuan statik dan dinamik, dan lain-lain), dan mencakup aspek yang belum dikembangkan oleh *G. Schessinger*. Prosedur-prosedur tersebut antara lain :

1. Rekomendasi VDI : 3227, 3228, 3229, 3230 di Jerman
Rekomendasi ini digunakan untuk mesin perkakas khusus, mesin pemindah (*transfer-line*) dan mesin perkakas *universal*.
2. Standar JIS (Japanese Industrial Standards)
Standar ini meliputi aspek pengujian mesin perkakas, antara lain : kebisingan suara (*acoustical noise*), getaran dan juga tes-jalan (*running-test*).
3. Spesifikasi BAS di Swedia
Pengujian mesin perkakas ini mencakup aspek :
 - a. Konsumsi daya dan temperatur Dudukan pada *spindel* utama bila mesin perkakas berputar '*idle*'.
 - b. Tes prestasi kerja proses pemotongan.
 - c. Tes deformasi karena gaya-gaya pemotongan.
 - d. Pengujian ketelitian mesin bubut control numerik (*NC lathes*), mesin bor vertikal maupun yang horizontal.
4. Spesifikasi VUOSO di Cekoslovakia
Standar ini meliputi ketelitian gerak pindah sistem dan kesalahan dinamiknya. Pengujian prestasi kerja meliputi daya pemotongan penuh maupun daya pemotongan terbatas. Parameter dalam tes pemotongan yang ada dalam standar ini berhubungan dengan data oleh *College International Pour l'etudes Scientifique des Techniques de Production Mecanique* atau *the International Institution for Production Engineering Research (CIRP)*.
5. Standar GOST 7599 di Rusia
Standar ini meliputi persyaratan umum mesin perkakas yang ditinjau dari aspek keamanannya, umur, keandalan dan kondisi teknik saat pengiriman mesin perkakas. Prosedur pengujian ini meliputi: kehilangan daya sewaktu mesin perkakas berputar tanpa memotong (*idle-running*), proses pemotongan dengan daya penuh, temperatur dudukan pada *spindel* utama. Walaupun telah mengalami pengembangan dan perbaikan tetapi umumnya prosedur pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas masih berdasarkan pada prosedur pengujian yang telah dikembangkan oleh G. Schlesinger. [Nasril, 2004.]

2.2.2 Tahapan Awal Pengujian Ketelitian Mesin Perkakas

Pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas bertujuan untuk :

1. Tes Kelaikan (*acceptance-test*)

Pengujian kelaikan dilakukan ditempat pabrik pembuat mesin perkakas, data hasil pengujian harus berada dalam batas-batas penyimpangan atau toleransi yang diijinkan sesuai dengan kelas kualitas dari mesin dan data ditulis pada lembar uji (*test-chart*) yang disertakan pada mesin yang bersangkutan. Tes kelaikan dilakukan sesuai dengan prosedur standar dan lembar uji menunjukkan bahwa pabrik pembuatan mesin perkakas dapat menjamin kualitas mesin yang dijual.

2. Pemeliharaan (*maintenance*) mesin perkakas

Mesin perkakas yang telah digunakan dalam selang waktu tertentu akan mengalami keausan atau faktor lain yang dapat menyebabkan perubahan pada komponen-komponen mesin perkakas. Data hasil pengujian ketelitian geometrik dapat dijadikan petunjuk apakah besarnya penyimpangan telah melewati toleransi yang di berikan atau belum, dengan mengetahuinya maka pemakai mesin perkakas dapat mengambil tindakan lajut pada mesin tersebut.

3. Evaluasi rekondisi (*rehabilitasi*) mesin perkakas

Dalam hal ini, data hasil pengujian ketelitian geometrik dapat menjadi tolak ukur keberhasilan rehabilitasi suatu mesin perkakas. Data hasil rehabilitasi dapat dijadikan pedoman bagi usaha rehabilitasi tersebut dan data pengujian setelah rehabilitasi bisa memperlihatkan perbaikan-perbaikan yang dicapai untuk memperbaiki kualitas mesin perkakas.

2.3. Penyelarasan (*Level*)

Level merupakan suatu kegiatan pengetesan mesin perkakas yang bertujuan untuk mengetahui keadaan dari mesin tersebut, dengan melakukan *Level* kita dapat mengetahui apakah mesin tersebut masih dalam kondisi yang baik atau mesin tersebut dalam kondisi yang buruk. Jika data hasil pengujian menunjukkan hasil yang buruk maka kita dapat mengambil tindakan lebih lanjut. Proses ini sangat dipenting karena jika mesin perkakas dalam keadaan tidak selaras akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.

Sebelum pengujian ketelitian geometrik dimulai perlu diperhatikan terlebih dahulu keadaan penempatan mesin perkakas tersebut pada fondasinya. Tempat tumpuan mesin perkakas diatur sedemikian rupa sehingga bidang

referensinya tidak mengalami puntiran (*twisting*) dan sebisa mungkin pada kondisi yang datar. Karena penempatan yang tidak baik dapat mengakibatkan puntiran pada bidang referensinya dan bisa berakibat buruk misalnya :

1. Dalam pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas penempatan peralatan ukur maupun alat bantu adalah pada bidang referensi tersebut. Keadaan bidang referensi yang terpuntir mengakibatkan turunnya keandalan hasil pengukuran.
2. Pembebanan statik maupun dinamik yang tidak seimbang pada tempat tumpuan maupun bidang-bidang lintasan (misalnya: lintasan lurus) dapat mengakibatkan keausan yang tidak merata maupun gerakan yang tersendat(*slick-slip*).

Untuk menghindari hal ini maka dalam penempatan mesin perkakas itu perlu terlebih dahulu diselaraskan (*Level*). Penyelarasan mesin perkakas dikerjakan dengan mempergunakan *water pass* (*Spirit Level*) yang diletakkan pada tempat-tempat tertentu sesuai dengan bidang referensi pada mesin perkakas.

2.3.1 Alat Ukur *Spirit Level*

Dalam melakukan pengukuran geometrik suatu mesin perkakas pasti melibatkan pemakaian alat ukur atau pun alat bantu. Alat ukur dalam melakukan pengukuran ketelitian geometrik berfungsi sebagai pengukur besaran kesalahan pada objek ukur yang selanjutnya data hasil pengukurannya diolah sedemikian rupa sehingga akan didapatkan ketelitian geometrik dari mesin perkakas.

Spirit Level merupakan suatu alat yang terdiri dari suatu tabung berisi cairan gelembung dan tabung tersebut dipasang pada suatu dasar besi cor, fungsi dari alat ini dapat membaca perubahan kemiringan pada suatu bidang atau komponen, perubahan ketinggian pada gelembung air tersebut menunjukkan besarnya kemiringan yang terjadi pada komponen yang dilakukan pengujian. proses kalibrasi *Spirit Level* dilakukan pada meja datar, kesalahan yang sering terjadi pada penggunaan *sprit level* adalah kurang telitinya mata operator dalam melihat beda ketinggian gelembung air.



Gambar 2.17 Gelembung *Spirit Level*

Alat ukur *Spirit Level* digunakan untuk mengukur kelurusan dan kedataran pada suatu bidang atau objek uji sehingga memerlukan suatu pengolahan data. *Spirit Level* mengukur besaran angular dan datanya bersifat mandiri, besaran angular diolah dengan data yang ada di ubah menjadi besaran linear.



Gambar 2.18 *Spirit Level*

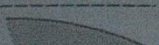
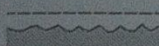
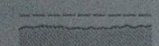
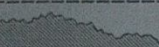
Spirit Level yang digunakan untuk pengukuran mesin perkakas harus memiliki ketelitian antara 0,005 mm/1000 mm sampai 0,01 mm/1000 mm. Sensitivitas *Spirit Level* dinyatakan oleh perpindahan gelembung minimal satu divisi untuk kemiringan 0,05mm/1000 mm. Kedataran bidang *Spirit Level* harus memenuhi syarat sebagai berikut: 0,004 mm untuk $L \leq 250$ mm atau 0,006 mm untuk $250 \text{ mm} < L \leq 500$ mm.

2.4 Permukaan dan Profil

Karena ketidaksempurnaan alat ukur dan cara pengukuran maupun cara evaluasi hasil pengukuran maka suatu permukaan sesungguhnya (*real surface*) tidaklah dapat dibuat tiruan/ duplikatnya secara sempurna. Tiruan permukaan hasil pengukuran hanya bisa mendekati bentuk/ konfigurasi permukaan sesungguhnya dengan kata lain dapat disebut permukaan terukur (*measured surface*). Karena dalam pembuatan sebuah komponen dapat terjadi penyimpangan maka permukaan geometri ideal (*geometrically ideal surface*), yaitu permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna tidak lah dapat dibuat. Dalam prakteknya, seorang perancang akan menuliskan syarat permukaan pada gambar teknik. Suatu permukaan yang disyaratkan pada gambar teknik ini disebut sebagai permukaan nominal (*nominal surface*).

Karena kesulitan dalam mengukur dan menyatakan besaran yang diukur dari suatu permukaan secara tiga dimensi maka dilakukan pembatasan. Permukaan hanya dipandang sebagai penampang permukaan yang dipotong (yang ditinjau relative terhadap permukaan dengan *geometric ideal*) secara tegak lurus (*normal*), serong (*oblique*) atau singgung (*tangensial*).

Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat, seperti yang dapat dilihat pada Tabel yang terlihat pada Gambar 2.19

Tingkat	Profil terukur; bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1		Kesalahan bentuk (<i>form error</i>)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pengepakan benda kerja,
2		Gelombang (<i>waviness</i>)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan.
3		Alur (<i>grooves</i>)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan).
4		Serpihan (<i>flakes</i>)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses electroplating.
			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 sampai dengan 4.

Gambar 2.19 Tabel Ketidakteraturan Suatu Profil

Permukaan merupakan suatu titik yang memisahkan antara suatu benda dengan sekelilingnya. Bentuk dari permukaan suatu benda memegang peranan penting dalam melakukan perancangan sebuah benda. Karena permukaan suatu benda berkaitan dengan gesekan, keausan, pelumasan dan lain sebagainya. Dalam merancang sebuah benda salah satu hal penting yang juga perlu di perhatikan adalah kekerasan permukaannya,. Kekerasan permukaan sebuah produk tidak harus memiliki nilai yang kecil atau halus, tetapi terkadang sebuah produk memerlukan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai dengan fungsinya. Namun terkadang dalam praktek di lapangan, di dapati nilai kekasaran permukaan dari sebuah produk tidak sesuai dengan yang di harapkan.

Hal-hal yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan sebuah produk tidak sesuai dengan yang di harapkan, di karenakan oleh beberapa faktor seperti, pemilihan mata pahat yang kurang tepat atau pahat yang digunakan sudah aus sehingga berpengaruh pada kemampuan pahat tersebut untuk memotong. Selain itu, kesalahan proses atau tahapan yang dilakukan dalam proses pemesinan untuk membentuk atau membuat sebuah produk juga sangat berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan sebuah benda.

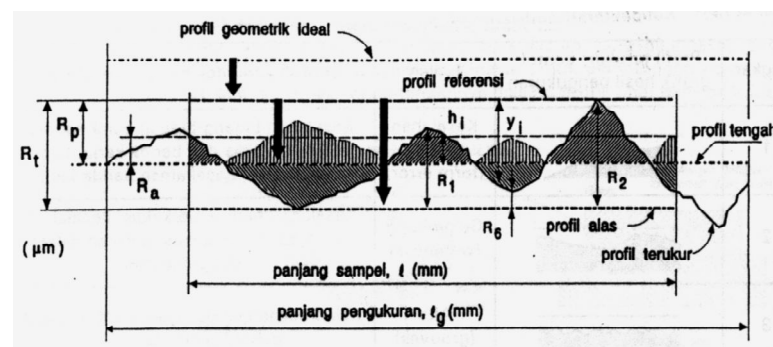
Tingkat pertama merupakan ketidak teraturan makrogeometri. Tingkat kedua yang disebut dengan gelombang (*Vaviness*) merupakan ketidak teraturan yang periodic dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dari kedalamanya (amplitudonya). Tingkat ketiga atau alur (*grooves*) serta tingkat keempat yang disebut dengan serpihan (*Flakes*). Kedua-duanya lebih dikenal dengan kekasaran (*roughness*). Dalam banyak hal ke empat tingkatan ketidak teraturan konfigurasi suatu permukaan jarang ditemukan secara terpisah/ tersendiri melainkan kombinasi beberapa tingkat ketidakteraturan tersebut.

2.4.1 Parameter kekasaran permukaan

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/ peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum

jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel. Pada Gambar 2.20 ditunjukkan bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain, seperti :

1. Profil *geometric* ideal adalah garis permukaan sempurna yang dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur .
2. Profil terukur adalah garis permukaan yang terukur .
3. Profil referensi/ puncak/ acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidak teraturan bentuk permukaan .
4. Profil alas adalah garis yang berada dibawah yang menyinggung terendah .
5. Profil tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam .



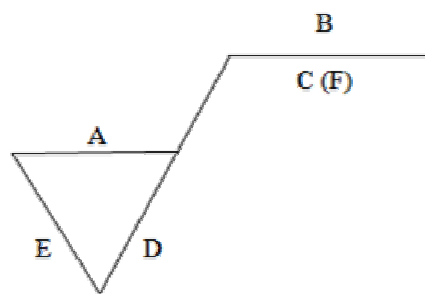
Gambar 2.20 Bentuk Profil Kekasaran Permukaan [Taufiq Rochim,2001]

Dari gambar diatas, dapat didefinisikan beberapa parameter kekasarn permukaan, yaitu :

1. Kekasaran total (R_t) merupakan jarak antara garis referensi dengan garis alas.
2. Kekasaran perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata antara garis referensi dengan garis terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) merupakan nilai rata-rata aritmatik antara garis tengah dan garis terukur.

2.4.2 Penulisan Kekasaran Permukaan Pada Gambar Teknik

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan simbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.21



Keterangan :

- A. Nilai kekasaran permukaan (R_a).
- B. Cara pengerjaan produksi.
- C. Panjang sampel.
- D. Arah pengerjaan.
- E. Kelebihan ukuran yang dikehendaki.
- F. Nilai kekasaran permukaan lain jika diperlukan.

Gambar 2.21 Lambang Kekasaran Permukaan

Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (R_a). Nilai R_a telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Angka Kekasaran Permukaan

Kelas Kekasaran	Harga R_a (μm)	Toleransi (μm) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	0,25
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

2.4.3 Surface Roughness Tester

Surface roughness tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran suatu permukaan benda. Setiap komponen atau benda mempunyai permukaan yang berbeda dan bervariasi menurut strukturnya ataupun menurut dari hasil proses pemesinannya. Kekasaran (*roughness*) dapat didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran permukaan yang dinyatakan dalam *roughness average (Ra)*, merupakan parameter kekasaran yang paling banyak digunakan. *Ra* merupakan rata-rata aritmatika dan suatu penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata.

Pengukuran kekasaran permukaan didapatkan dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indicator pengukur kekasaran permukaan benda yang diuji. Prinsip kerja dari alat *surface roughness tester* adalah dengan menggunakan *transduser* dan diolah dengan *mikroprocessor*. Alat ini dapat digunakan di lantai dan semua posisi baik horizontal, vertikal, dan lain-lain.



Gambar 2.22 Stylus Surface Roughness Tester

Cara menggunakan alat ini ketika pengukuran permukaan, sensor ditempatkan pada permukaan komponen yang akan diukur dan kemudian dengan menekan tombol *play* pada *surface roughness tester stylus* akan meluncur sepanjang permukaan seragam dengan mengemudi mekanisme yang terdapat di dalam *surface roughness tester*. Nilai pengukuran yang didapatkan akan muncul pada *display*. Sensor mendapatkan kekasaran permukaan dengan *probe* tajam *built-in*, *surface roughness tester* kompatibel dengan empat standar dunia antara lain ISO, DIN, ANSI, dan JIS sehingga tidak diragukan lagi ketepatan dan ketelitiannya dalam pengukuran.



Gambar 2.23 Surface Roughness Tester

2.5 Simpangan Putar (*Run out*)

Dalam mesin perkakas pada umumnya terdapat komponen-komponen rotasi, seperti poros *spindel* dan poros ulir (*lead screw*). Kesalahan simpangan putar pada umumnya berasal dari :

1. Eksentrisitas sumbu putar komponen rotasi
2. Ketidakbulatan komponen rotasi
3. Ketidak sempurnaan Dudukan komponen rotasi

2.5.1 Metode Pengukuran *Run out*

A. Bidang luar

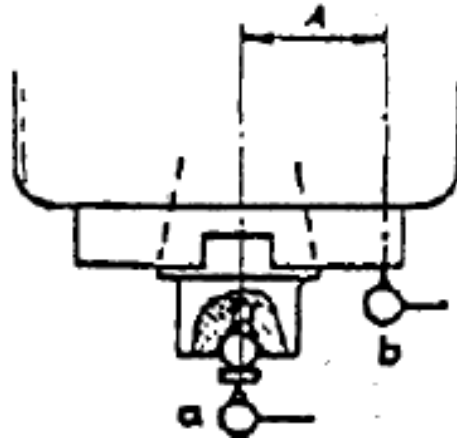
Stylus alat ukur diatur sedemikian rupa sehingga ujung *stylus* tersebut dapat menyentuh sekeliling permukaan *spindel* yang akan diukur, sedangkan batang pemegang dari alat ukur dipasang kaku pada bagian yang diam relatif terhadap komponen rotasi. Setelah itu lakukan pengamatan sementara *spindel* diputar perlahan, lalu *spindel* diputar kembali berlawanan arah.

Jika ada pergerakan aksial pada sumbu ini, maka diameter permukaan lingkaran akan semakin bervariasi. Hal ini menyebabkan hasil pembacaan *run out* seakan-akan semakin besar. Akibatnya permukaan konis hanya boleh digunakan jika kemiringannya tidak terlalu tajam.

B. Bidang dalam

Pengukuran *run out* bagian dalam umumnya mengalami kesulitan dalam peletakan alat ukur. Untuk menghindari hal tersebut maka digunakan mandrel tes yang dipasang pada bagian dalam, sehingga alat ini akan mewakili permukaan yang akan diukur. Untuk mempertinggi keandalan hasil pengukuran *run out* maka pengukuran ini

dilaksanakan dalam empat tahap yang masing-masing posisi dibedakan oleh posisi mandrel sejauh 90° relatif terhadap permukaan dalam yang diukur.

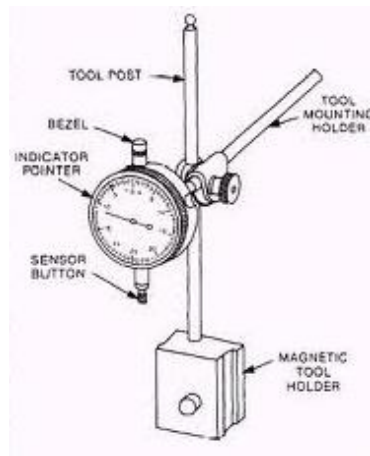


Gambar 2.24 Pengukuran *run out* [Darto, 2002.]

Kasus khusus dapat terjadi bila secara kebetulan *stylus dial indicator* terletak pada bidang yang melalui titik potong antara sumbu geometrik dengan sumbu putar mandrel tes sehingga tidak ada *run out* yang terukur oleh *dial*. Untuk menghindari hal tersebut maka pada setiap tahap pengukuran, *dial indicator* diletakkan pada dua tempat yang berbeda yaitu pada posisi A dan posisi B. Hasil akhir pengukuran adalah rata-rata dari dua pengukuran tersebut.

2.5.2 Jam Ukur (*Dial Indicator*)

Dial indicator adalah alat ukur yang digunakan untuk memeriksa penyimpangan yang sangat kecil, digunakan untuk mengukur kebengkokan pada poros, *run out*, kesejajaran, kerataan dan lain-lain. *Dial indicator* merupakan alat ukur yang mengukur besaran linear yang menunjukkan besar relatif antara pengukuran sekarang dengan alat sebelumnya atau relatif terhadap penetapan nol yang telah dilakukan sebelumnya. *Dial indicator* terdiri atas jam ukur (*dial gauge*), blok alas magnet, batang penyangga, penjepit, dan baut penjepit.



Gambar 2.25 Dial indicator

Dial indicator bekerja dengan konsep mekanik (per dan roda gigi) sehingga perlu diperhatikan hal-hal berikut:

1. Kurva kesalahan.
2. Harga maksimum histerisisnya.
3. Gaya tekan pada langkah awal dan akhir *stylus*
4. Perubahan gaya lokal pada plunyer.
5. Mampu ulang bila digunakan terbalik.

Alat ukur *dial indicator* memiliki 2 skala yaitu skala besar dan skala yang lebih kecil. Pada skala yang besar bernilai 0,01 mm, jadi ketika jarum panjang berputar satu kali penuh maka menunjukkan pengukuran sejauh 1 mm. Sedangkan pada skala yang kecil merupakan penghitung putaran dari jarum panjang pada skala yang besar. Skala dan ring *dial indicator* dapat berputar ke angka 0 agar lurus dengan jarum penunjuk.



Gambar 2.26 Dial Gauge

Dial indicator skala dan ringnya dapat diputar ke angka 0 agar dapat lurus dengan penunjuk, penghitung putaran ukur jam berfungsi menghitung jumlah putaran penunjuk. Dalam melakukan pengukuran menggunakan *dial indicator* permukaan komponen harus bersih agar tidak mengganggu *stylus* di saat pembacaan. Langkah pertama yang dilakukan pengukuran menggunakan *dial indicator* letakkan *block* alas diatas permukaan dan kunci magnetnya agar landasan kuat mengunci, kemudian sentuhkan *stylus dial* pada permukaan komponen atur dan kunci batang *dial* agar pada saat pengukuran batang tidak ikut bergerak, lalu putar ring atau komponen sampai menemukan titik nol, putar secara perlahan dan baca jumlah pergerakan atau hasil dari pengukuran. Jika pada pengukuran geometrik yang standar maka *dial indicator* yang digunakan kecermatan atau ketelitiannya adalah 0,01 mm, sedangkan jika untuk pengukuran yang membutuhkan ketelitian yang lebih tinggi dan teliti dapat menggunakan *dial indicator* yang kecermatannya 0,001 mm.

2.6 Dudukan Bantalan *Shredder*

Material dudukan *Shredder* yang digunakan adalah FCD 40, material ini masuk dalam jenis besi cor karena ditinjau dari kandungan *carbon (C)* yang terdapat didalamnya lebih dari 2 %. Material ini memiliki kekuatan tarik sebesar 40 kg/mm². Adapun prosentase komposisi meterial FCD 40 seperti dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi FCD 40

Jenis Unsur	Prosentase %
<i>Carbon</i>	3,3-3,9
<i>Silisium</i>	2,2-2,9
<i>Mangan</i>	0,2-0,6
<i>Fosfor</i>	0,02-0,1
<i>Belerang</i>	0,0-0,015

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Pengujian

Langkah-langkah atau tahapan yang dilakukan dari awal hingga penyusunan skripsi dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan literatur tentang pengetesan mesin perkakas (mesin *milling*) berupa buku-buku, jurnal dan sumber lain yang berhubungan dengan pengetesan mesin perkakas *milling*. Tempat pengetesan mesin perkakas *milling*, tipe mesin perkakas dan alat ukur pengetesan mesin perkakas.

Sebelum pengetesan mesin perkakas dilakukan pengamatan dilapangan mengenai mesin yang digunakan, karakterisitik geometri mesin perkakas, keandalan dan ketelitian mesin perkakas berupa kedataran, *run out*,

ketegaklurusan dan kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesian. Setelah pengamatan dilakukan pengujian pengetesan mesin perkakas *milling* dengan menggunakan alat ukur seperti *dial indicator*, *Spirit Level* dan *surface roughness tester*. Selanjutnya data yang diperoleh dianalisis dengan memperhatikan hubungan antara hasil pengetesan mesin perkakas dengan kekasaran permukaan.

3.2 Alat dan Bahan Pengujian

Mesin perkakas yang akan digunakan dalam pengujian pengetesan mesin perkakas dan ketelitian geometriknya adalah mesin *Freis (milling)* dengan spesifikasi terlihat pada Tabel 3.1. Pengetesan mesin perkakas *milling* menggunakan beberapa alat ukur untuk mengetahui kedataran dan *run out* seperti *dial indicator* dan *Spirit Level*. Untuk kualitas geometrik hasil pemotongan benda kerja (Dudukan *Shredder*) diukur dengan *surface roughness tester* (pengukuran kekasaran permukaan). Alat pendukung lainnya adalah magnet penjepit atau Dudukan alat ukur.

3.2.1 Mesin *Freis*

Mesin *Freis* yang digunakan untuk pengujian pengetesan mesin perkakas (ketelitian geometriknya) adalah mesin *Freis* yang diproduksi oleh *Chin Yuan Hsing Machine Industrial Co.Ltd Plano Miller Model CHM – 4020* (taiwan). Gambar 3.2 menunjukkan mesin *milling* yang digunakan di PT. Sinar Harapan Teknik. Berikut Spesifikasi Mesin:

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin *Freis* Chin Yuan Hsing

10 HP HEAD RPM			
SPEED		50HZ	60HZ
CHANGE		4P	4P
A	H	508	615
	L	338	410
B	H	248	300
	L	165	200
C	H	110	135
	L	72	90

Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Chin Yuan Hsing

X Axis travel (mm)	6000
Y Axis travel (mm)	2000
Z Axis travel(head) (mm)	(std) (10 HP)300(15) (HP)400 or 600(opt)
Distance between the column (mm)	2050
Spindle nose to table surface (mm)	1500
Table size (mm)	6000 x 2000
Vertical head motor (HP)	10(std)/15(opt)
Side head motor (HP)	10
Diving system (mm)	Ball screw
Machine weight (kgs)	29000
Machine size (mm)	L : 10980, W: 4500, H : 3980
Vertical head left / right motor (HP)	2
Beam up / Down motor	3
Cutting feed rate (mm)	Variable speed



Gambar 3.2 Mesin Freis

3.2.2 Surface Roughness Tester

Alat ukur TR 200 *surface roughness tester* ini digunakan untuk pengukuran kekasaran permukaan pada penelitian ini, kekasaran permukaan setiap komponen mempunyai bentuk yang bervariasi dengan menggunakan alat ukur *surface roughness tester* kita dapat mengetahui nilai kekasaran atau nilai rata-rata permukaan tersebut. TR 200 *surface roughness tester* dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.

Spesifikasi alat:

Tabel 3.3 Spesifikasi TR 200 Surface Roughness Tester

Merek TR 200	
Ketelitian	0,001 μm
Range	40 μm
Berat	480 gr
Standar	ISO



Gambar 3.3 TR 200 Surface Roughness Tester

3.2.3 Spirit Level

Spirit Level merupakan alat ukur yang terdiri dari tabung berisi cairan gelembung dan tabung tersebut dipasang pada suatu dasar besi cor. Alat ukur ini dapat membaca perubahan kemiringan pada suatu bidang komponen dengan melihatnya pada perbedaan tinggi pada tabung. Pada pengujian ini alat ukur *Spirit Level* digunakan untuk melakukan penyelarasan meja mesin *Freis*, panjang total *Spirit Level* yang digunakan dalam pengujian ini adalah 200 mm dengan ketelitian 0,1 mm/meter. dimensi dari meja mesin perkakas yang diuji kedatarannya adalah 6000 x 2000 mm.



Gambar 3.4 Spirit Level

3.2.4 Dial Indicator

Dial indicator merupakan alat ukur pembanding, yang digunakan untuk mengukur kebengkokan, *run out*, ketegaklurusan dan kerataan. Prinsip kerja dari alat ukur ini secara mekanik dimana gerak linier sensor diubah menjadi gerak rotasi dari jarum penunjuk pada piringan yang berskala melalui perantara batang bergigi dan susunan roda gigi. Alat ukur *dial indicator* pada pengujian ini digunakan untuk pengukuran *run out* pada *spindel* sehingga dapat diketahui apakah telah terjadi penyimpangan pada putaran *spindel* melalui angka yang ditunjukkan pada *dial indicator*.



Gambar 3.5 Dial Indicator

3.2.5 Dudukan Shredder

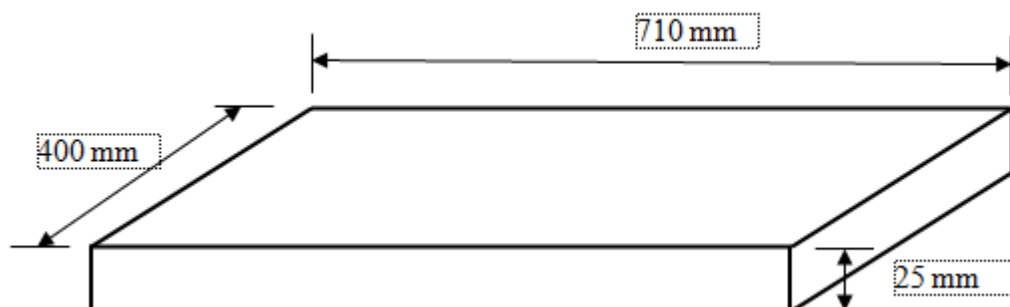
Dudukan *shredder* ini merupakan komponen yang akan diuji kekasaran permukaannya, setelah melalui proses pemesinan dengan menggunakan mesin

Freis yang telah di *Level*. Dudukan shredder ini dibuat oleh PT. Sinar Harapan Teknik menggunakan besi cor. Dudukan *shredder* sebelum diproses dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut.

Spesifikasi dimensi komponen:

Tabel 3.4 Spesifikasi Dimensi Komponen

Dimensi	Sebelum	Sesudah
Panjang	720 mm	710 mm
Lebar	410 mm	400 mm
Tebal	30 mm	25 mm



Gambar 3.6 Dudukan Shredder

3.3 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur yang dilakukan dalam melakukan pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas adalah persiapan alat-alat yang akan digunakan melakukan pengukuran seperti *dial indicator*, *Spirit Level* dan TR 200 *surface roughness tester* untuk pengujian *run out*, *Level* dan kekasaran permukaan.

Beberapa alat bantu lain seperti meteran untuk membantu membagi-bagi titik pengukuran, spidol untuk menandai titik-titik yang telah di bagi untuk tempat uji. Dan juga kain untuk membersihkan tempat yang akan dilakukan pengujian.

3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data pengujian geometrik pertama adalah penyelarasan (*Level*), sebelum melakukan pengambilan data *Level* ini mesin *Freis* baiknya dilakukan pemanasan terlebih dahulu agar temperatur mesin perkakas sama dengan temperatur kerja. Setelah itu kalibrasi alat ukur dan bersihkan meja mesin perkakas. Beri tanda pada bidang-bidang meja yang akan diuji, meja mesin memiliki panjang 6000 mm dan lebar 2000 mm. Pengukuran dilakukan disetiap 200 mm sehingga titik sepanjang meja sebanyak 30 titik, dan 10 titik pengukuran pada lebar meja sehingga pengukuran kedataran meja sebanyak 300 titik kemudian diulang kembali berlawanan arah dengan pengukuran pertama agar didapat histerisisnya. Jadi total pengukuran kedataran pada setiap permukaan meja mesin posisi horizontal dan vertikal serta pengukuran histerisisnya sebanyak 600 titik pengukuran. Dalam pengambilan data *Level* mesin tidak boleh melakukan kerja ataupun terletak komponen lain karena dapat berpengaruh terhadap hasil pengujian.



Gambar 3.7 Pengukuran *Level*

Selanjutnya adalah pengukuran *run out* pada *spindel* mesin *Freis*, pada pengujian *run out* ini alat ukur yang digunakan adalah *dial indicator*. Pada pengukuran *run out* ini sama dengan *Level* mesin terlebih dahulu dipanaskan dan mesin juga tidak boleh dalam keadaan bekerja, karena dapat mempengaruhi pengukuran. Pada *spindel* mesin *Freis* diberi tanda empat titik pengukuran yang akan diuji simpangan putarnya, untuk langkah pengambilannya naikan meja mesin *Freis* dan beri tambahan komponen pada meja untuk dudukkan *dial indicator*. Lalu atur dan sentuhkan *stylus dial indicator* pada *spindel* dan kunci *dial* agar pada saat proses pengukuran berlangsung tidak bergerak. Lalu putar *spindel* secara perlahan dan baca nilai yang didapat pada tiap titik yang telah ditandai, dan putar ulang *spindel* secara perlahan berlawanan arah dengan putaran pertama agar diketahui nilai histerisisnya. Begitu juga dengan *spindel* yang berada disamping namun tidak memerlukan landasan bantuan untuk *dial* cukup dengan mengatur meja mesin *Freis*.



Gambar 3.8 Pengukuran *Run Out* Vertikal



Gambar 3.9 Pengukuran *Run Out Horizontal*

Berikutnya adalah pengukuran kekasaran permukaan terhadap komponen yang telah dilakukan proses pemesinan dari mesin *Freis* yang sudah dilakukan pengujian *Level* dan *run out*. Pada pengukuran kekasaran permukaan ini menggunakan alat TR 200 *surface roughness tester*, sebelum melakukan pengukuran komponen dibersihkan terlebih dahulu agar tidak ada kotoran yang mengganggu pada saat *stylus* bergerak dan membaca kekasaran komponen tersebut. Karena komponen mempunyai panjang 710 mm dan lebar 400 mm maka pada bidang rata komponen diberi tanda sebanyak 20 titik pengukuran, saat melakukan pengukuran *stylus* disentuhkan pada bidang komponen yang diberi titik dan pegang alat ukur jangan sampai bergerak karena jika alat ukur bergerak maka data kekasaran akan sulit didapatkan.



Gambar 3.10 Pengukuran Kekasaran Permukaan