



**PENGARUH ARAH PEMAKANAN TERHADAP
TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL
ALUMINIUM PADA *COVER* MOTOR LISTRIK
HASIL *CNC MILLING***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Febri Putra Effendi

NIM.5201414035

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul pengaruh arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material aluminium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES.

Oleh :

Nama : Febri Putra Effendi
NIM : 5201414035
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Panitia :

Panitia



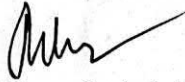
Ruslyanto, S.Pd, M.T.
NIP.197403211999031002

Sekretaris



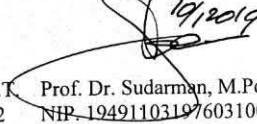
Ruslyanto, S.Pd, M.T.
211999031002

Pembimbing 1



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP. 196601051990021002

Penguji 1



Prof. Dr. Sudarman, M.Pd.
NIP. 194911031976031001

Penguji 2



Drs. Masugino, M.Pd.
NIP. 195207212017091256

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Nur Oudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa : Febri Putra Effendi
NIM : 5201414035
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Pengaruh Arah Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Material Alumunium Pada Cover Motor Listrik Hasil CNC Milling”** ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 11 Desember 2018
Yang Membuat Pernyataan



Febri Putra Effendi
NIM. 5201414035

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Terus belajar, tingkatkan kemampuan, jangan takut gagal.

PERSEMBAHAN

1. Untuk ayahanda tersayang Ayah M. Agus Effendi dan ibunda tersayang Ibu Walmiyati yang senantiasa memberikan doa ikhlas dan menjadi tujuan yang memotivasi di setiap pilihan.
2. Untuk teman-teman yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
3. Untuk Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil variasi arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material aluminium pada hasil CNC *milling*. arah variasi yang digunakan adalah arah pemakanan *one way*, *zigzag* dan *overlap constant spiral*. Penelitian ini dilakukan dengan cara merancang desain cover motor listrik, selanjutnya diteruskan pemograman variasi arah pemakanan dengan menggunakan *software Mastercam X5*. Dalam proses pengerjaan CNC *milling* spesimen diberikan perlakuan yang sama antara lain: kedalaman pemotongan, kecepatan spindle, dan jenis alat pahat yang di gunakan dilanjutkan pengujian pengukuran kekasaran spesimen dengan alat *Surface Roughness Tester*. Untuk pengujian ini dilakukan dengan mengambil 3 sample titik pengerjaan yaitu titik A, titik B, dan titik C disetiap spesimen yang sudah dikerjakan. Dari hasil pengujian yang di peroleh kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode analisis statistik deskriptif. Nilai tingkat kekasaran variasi arah pemakanan *one way* sebesar 0.87 μm . Nilai tingkat kekasaran variasi arah pemakanan *constant overlap spiral* sebesar 0.73 μm dan Nilai tingkat kekasaran variasi arah pemakanan *zigzag* sebesar 0.92 μm .

Kata kunci : Tingkat Kekasaran, Arah Pemakanan, CNC *Milling*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pengaruh Arah Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Material Aluminium Pada *Cover* Motor Listrik Hasil *CNC Milling* ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Serta tidak lupa sholawat serta salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto S.Pd., M. T. , Ketua Jurusan Teknik Mesin, dan Rusiyanto S.Pd., M. T., Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
2. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T., Pembimbing skripsi yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat di hubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulis karya ini.
3. Prof. Dr. Sudarman, M. Pd. dan Drs. Masugino, M. Pd. sebagai penguji skripsi yang telah memberi masukan-masukan yang berguna bagi penulisan karya ilmiah ini.

4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Orang Tua di rumah yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan karya tulis ini.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelajaran dimasa yang mendatang.

Semarang, 11 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penulisan	4
1.6 Manfaat Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Teori	6
2.1.1 Alumunium.....	6
2.1.1.1 Standarisasi Aluminium.....	7
2.1.1.2 Paduan Alumuniun	9

2.1.2 <i>MILLING</i>	9
2.1.2.1 Klasifikasi Proses <i>Milling</i>	10
2.1.2.2 Metode Proses <i>Milling</i>	11
2.1.2.3 Parameter Pada Mesin <i>Milling</i>	12
2.1.3 CNC.....	17
2.1.4 CAD/CAM.....	20
2.1.5 Arah Pemakanan.....	21
2.1.6 Kekasaran Permukaan.....	22
2.1.7 Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	30
2.2 Kajian Penelitian yang Relevan.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	35
3.2 Desain Penelitian.....	35
3.3 Alat dan Bahan.....	36
3.3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian.....	36
3.3.1.1 <i>Software CAD/ Software CAM</i>	36
3.3.1.2 Mesin CNC <i>Milling</i> KaFO Ka-32.....	37
3.3.1.3 <i>Surface Roughness Tester</i>	37
3.3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	38
3.3.2.1 <i>ENDMILL</i>	38
3.3.3.3 Alumunium.....	38
3.4 Parameter Penelitian.....	39

3.4.1 Variabel bebas	39
3.4.2 Variabel terikat	39
3.4.3 Variabel control.....	39
3.5 Teknik Pengumpulan Data	40
3.5.1 Uji Laboratorium.....	40
3.6 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	40
3.7 Prosedur Penelitian	41
3.7.1 Desain Model Spesimen.....	41
3.7.2 Pembuatan Pemograman	41
3.7.3 Proses Pengefraisan.....	41
3.7.4 Pengujian Pengukuran Kekerasan	42
3.7.5 Analisis dan Pembahasan	42
3.7.6 Penarikan Kesimpulan	42
3.8 Data Penelitian.....	43
3.9 Analisis Data.....	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Penelitian.....	45
4.2 Pembahasan	49
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51

LAMPIRAN53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Alumunium.....	6
Gambar 2.2. Tiga klasifikasi proses frais : (a) Frais periperal (<i>slab milling</i>), (b) frais muka (<i>face milling</i>), dan (c) frais jari (<i>end milling</i>).	10
Gambar 2.3. (a)Frais naik (<i>up milling</i>) dan (b) frais turun (<i>down milling</i>).	11
Gambar 2.4. Sistem koordinat Mesin CNC TU-3A.	19
Gambar 2.5. Skema pergerakan koordinat Mesin CNC TU-3A.	19
Gambar 2.6. Arah pemakanan (a) <i>one way</i> (b) <i>zigzag</i> (c) <i>constant overlap spiral</i>	22
Gambar 2.7. Bidang dan profil pada penampang permukaan	23
Gambar 2.8. Kekasaran, gelombang dan kesalahan bentuk dari suatu permukaan	24
Gambar 2.9. Profil suatu permukaan.....	26
Gambar 2.10 Kedalaman total dan kedalaman perataan.....	26
Gambar 2.11. Menentukan kekasaran rata-rata Ra	28
Gambar 2.12. Menentukan kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah	29
Gambar 3.1 Mastercam X5	37
Gambar 3.2 Mesin CNC <i>Milling</i> KaFO Ka-32	37
Gambar 3.3 <i>Surface Roughness Tester</i>	38
Gambar 3.4. <i>ENDMILL</i> HSS	38
Gambar 3.5. Benda Kerja Alumunium	39
Gambar 4.1. Hasil Pengujian Kekasaran Variasi Arah Pemakanan.....	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Paduan Alumunium	9
Tabel 2.2. Cutting Speed untuk Proses frais	14
Tabel 2.3. Feed untuk Proses Frais	15
Tabel 2.4. Toleransi Harga Kekasaran Rata-rata Ra.....	30
Tabel 3.1 Desain Penelitian.....	36
Tabel 3.2 Data hasil pengujian.....	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi dalam dunia permesinan saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Kebutuhan dalam dunia industri yang semakin meningkat memicu berkembangnya teknologi dalam proses pemesinan. Salah satu kemajuan yang dapat dilihat dalam dunia industri adalah kemampuan industrinya dalam membuat produk manufaktur secara efisien. Penggunaan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) *milling* baik untuk keperluan produksi maupun untuk keperluan pendidikan, sangat dibutuhkan untuk mendapatkan suatu produk yang lebih baik. Dalam proses pemesinan atau pengerjaan, waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus lebih cepat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi, parameter proses pemesinan pada CNC *milling* harus terprogram dan di atur untuk mencapai kualitas produk yang baik.

Dalam proses pemesinan secara CNC, hasil yang diharapkan adalah mampu melakukan proses pemesinan secara cepat dan skala yang besar dan spesifikasi geometri yang diharapkan. Kualitas produk manufaktur hasil proses pemesinan selalu dikaitkan salah satunya dengan ketepatan dimensi toleransi dan nilai kekasaran permukaan dari produk hasil proses pemesinan. Oleh karena itu kekasaran permukaan menjadi salah satu standar keakuratan dan kualitas permukaan produk. Sebagai contoh yaitu proses pembuatan *cover* motor listrik. Kekasaran permukaan dari proses pembuatan *cover* motor listrik harus sehalus

mungkin dan dituntut untuk selesai dalam waktu yang cepat. Untuk itu optimasi parameter proses pemesinan pada CNC *milling* perlu dilakukan agar kekasaran permukaan yang di inginkan dapat dicapai.

Kekasaran permukaan produk dipengaruhi oleh parameter pemesinan diantaranya kecepatan potong (*cutting-speed*), kecepatan/laju pemakanan (*feedrate*), kedalaman pemotongan (*depth of cut*), arah pemakanan, jenis material benda kerja, material pahat potong, geometri pahat potong, dan sebagainya. Karakteristik suatu kekasaran permukaan memegang peranan penting dalam proses produksi karena hal ini berhubungan dengan kualitas produk yang akan dipasarkan.

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas maka Penulis beranggapan tentang kualitas produk baik yang dihasilkan arah pemakanan yang berbeda pada pengujian *cover* motor listrik material alumunium nilai tingkat kekasaran yang dihasilkan dari Mesin CNC *milling* maka mengakibatkan berbeda nilai kekasaran yang di hasilkan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, diketahui permasalahan utama yang berhubungan dengan pengaruh arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan pada tutup motor listrik hasil CNC *milling* material alumunium, antara lain yaitu:

1. kecepatan potong (*cutting-speed*)
2. kecepatan/laju pemakanan (*feedrate*)
3. kedalaman pemotongan (*depth of cut*)

4. arah pemakanan atau arah penyayatan
5. jenis material benda kerja
6. material pahat potong

1.3 Pembatasan Masalah

Agar masalah yang dikaji tidak meluas, maka dalam penelitian ini penulis memfokuskan untuk melakukan penelitian tingkat kekasaran material alumunium untuk pembuatan *cover* motor listrik dengan variasi arah pemakanan yaitu arah pemakanan *zigzag*, arah pemakanan *one way* dan arah pemakanan *constant overlap spirial*. Penelitian ini tanpa memperhatikan faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan khususnya untuk kecepatan putar, *feeding* dan diameter alat potong.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan batasan masalah yang telah dikemukakan, maka rumusan yang akan diteliti yaitu:

1. Bagaimana hasil arah pemakanan *one way* terhadap kekasaran permukaan material alumunium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*?
2. Bagaimana hasil arah pemakanan *zigzag* terhadap kekasaran permukaan material alumunium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*?
3. Bagaimana hasil arah pemakanan *constant overlap spirial* terhadap kekasaran permukaan material alumunium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*?

4. Arah pemakanan manakah yang terbaik untuk pembuatan produk *cover* motor listrik?

1.5 Tujuan Penelitian

Suatu penelitian akan lebih mudah apabila mempunyai tujuan yang jelas.

Maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil arah pemakanan *one way* terhadap kekasaran permukaan material aluminium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*.
2. Mengetahui hasil arah pemakanan *zigzag* terhadap kekasaran permukaan material aluminium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*.
3. Mengetahui hasil arah pemakanan *constant overlap spirial* terhadap kekasaran permukaan material aluminium pada *cover* motor listrik hasil CNC *milling*.
4. Mengetahui arah pemakanan manakah yang terbaik untuk produk *cover* motor listrik.

1.6 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan akan mempunyai manfaat praktis dan teoritis.

1. Manfaat Teoritis
 - a. Ikut berkontribusi dalam bidang ilmu pengetahuan tentang manufaktur dengan mempelajari cara kerja mesin CNC *milling*.
 - b. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dibidang teknologi terutama pada CNC *milling*.

- c. Untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh cutting arah terhadap kekasaran permukaan material aluminium pada tutup motor listrik.

2. Manfaat Praktis

- a. Membantu mengembangkan kemajuan teknologi motor listrik di Teknik Mesin Unnes
- b. Memberikan informasi pengaruh arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan material aluminium.
- c. Memberikan informasi tentang penggunaan mesin CNC Milling.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Alumunium

Alumunium merupakan salah satu material yang sering digunakan di industri. Karena memiliki sifat yang ringan, ketahanan terhadap korosi yang tinggi, densitasi yang rendah, dapat dibentuk dengan baik, serta memiliki daya konduktivitas yang tinggi, baik konduktivitas panas maupun listrik. Kalpakjian,S. dan Schmid (2009:531) mengemukakan bahwa inti penting dari aluminium dan paduannya adalah rasio kekuatan-beratnya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi oleh banyak bahan kimia, konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, tidak beracun, reflektifitas, penampilan, dan kemudahan kemampuan formabilitas dan machinability. Material alumunium sering digunakan di dalam bidang yang luas bukan hanya di industri tapi juga dipakai diberbagai bidang termasuk peralatan rumah tangga dan juga sering digunakan untuk keperluan material pembuatan sepeda motor, mobil pesawat terbang, kapal laut, kereta, konstruksi dan masih banyak lagi.



Gambar 2.1. Alumunium

2.1.1.1 Standarisasi Aluminium

Sunaryo (2008: 14) mengemukakan Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan.

Adapun cara – cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan sebagai berikut :

1. Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx.
2. Cupper 2xxx
3. Manganase 3xxx
4. Silicon 4xxx
5. Magnesium 5xxx
6. Magnesium dan silicon 6xxx
7. Zincum 7xxx
8. Elemen – elemen yang lain 8xxx

Sistem angka

- (a) Angka pertama : menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
- (b) Angka kedua : menunjukkan sifat khusus misalnya : angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.

- (c) Dua angka terakhir : tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

Contoh pembacaan

ASTM 2017	artinya	Adalah paduan aluminium – copper tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu
ASTM 2117	artinya	Adalah paduan aluminium – magnesium tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al - Mg
ASTM 5056	artinya	Adalah paduan aluminium – magnesium dengan perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Mg
ASTM 1030	artinya	Adalah aluminium murni tanpa perhatian khusus, dengan kadar aluminium sebesar 99,30%
ASTM 1130	artinya	Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30%
ASTM 1230	artinya	Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30

2.1.1.2 Paduan Alumunium

Umumnya semua jenis logam memiliki kegunaan yang sempit pada kondisi murni, karena memiliki sifat yang tunggal. Oleh karena itu dengan menambahkan elemen lain pada suatu material akan merubah sifat fisik maupun mekanik dari suatu material sehingga material tersebut lebih dapat diaplikasikan diberbagai keadaan, begitu juga dengan aluminium.

Tabel 2.1. Paduan Alumunium
Sumber: Sunaryo (2008:20)

No	Nama Aluminium	Keterangan
1	Hydronalium :	Logam tersebut terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis magnesium sebesar 4% sampai dengan 10% pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat tahan terhadap air laut
2	Silumin	Silumin terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis silikon (Si) sebesar 12% sampai dengan 13% pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat mudah dituang dan dalam penggunaannya digunakan untuk komponen mobil, saluran air dan komponen – komponen kamera
3	Duralumin	Duralumin terbentuk dari penambahan unsur paduan jenis Cuppri (Cu) sebesar 1,5 %, mangan sebesar 1,5 % dan magnesium sebesar 2,5 % pada aluminium murni, sehingga logam tersebut mempunyai sifat kekerasan dan ductility yang baik dan dalam penggunaannya digunakan untuk bahan – bahan konstruksi

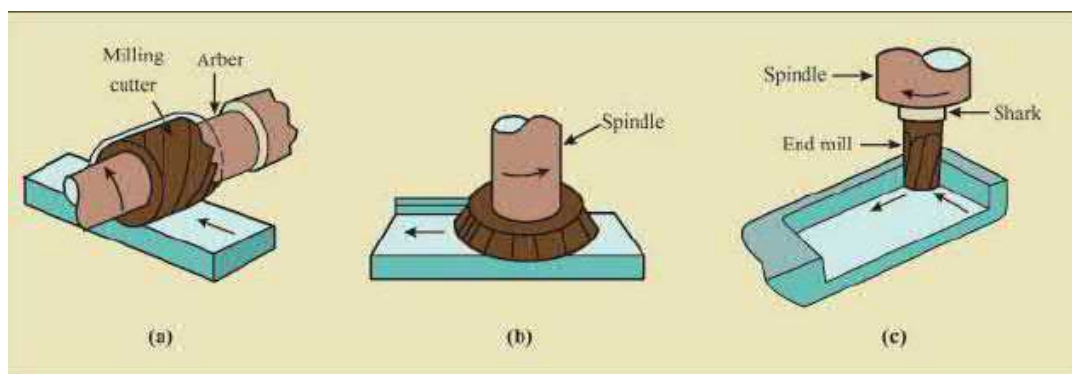
2.1.2 MILLING

Proses pemesinan *milling* (frais) adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa

berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk.

2.1.2.1 Klasifikasi Proses *Milling*

Proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau, arah penyayatan, dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Tiga klasifikasi proses frais : (a) Frais periperal (*slab milling*), (b) frais muka (*face milling*), dan (c) frais jari (*end milling*).

a. Frais Periperal (*Slab Milling*)

Proses frais ini disebut juga *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

b. Frais Muka (*Face Milling*)

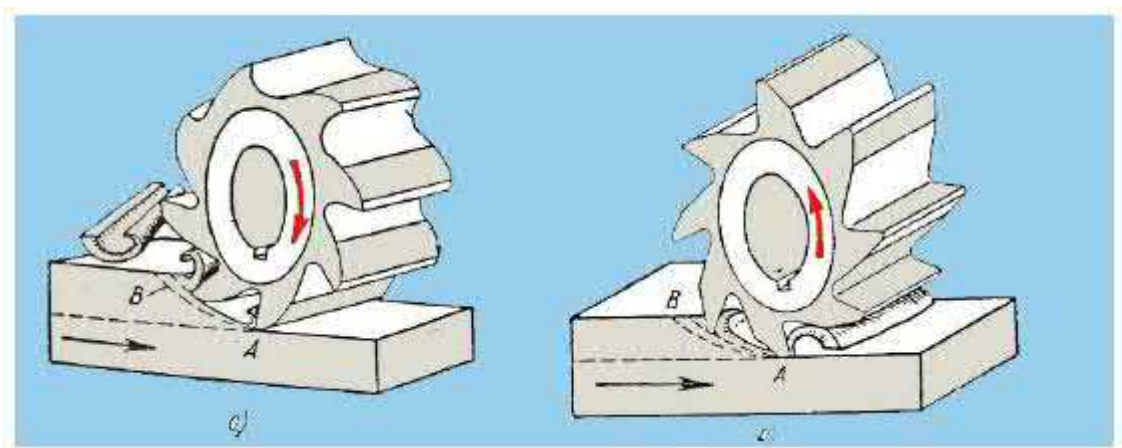
Pada frais muka, pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses frais dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau.

c. Frais Jari (*End Milling*)

Pisau pada proses frais jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau.

2.1.2.2 Metode Proses *Milling*

Metode proses frais ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja Mesin Frais terhadap putaran pisau (Gambar 2.3.). Metode proses frais ada dua yaitu frais naik dan frais turun.



Gambar 2.3. (a)Frais naik (*up milling*) dan (b) frais turun (*down milling*).

a. Frais Naik (*Up Milling*)

Frais naik biasanya disebut frais konvensional (*conventional milling*). Gerak dari putaran pisau berlawanan arah terhadap gerak makan meja Mesin Frais (Gambar 2.3.). Sebagai contoh, pada proses frais naik apabila pisau berputar searah jarum jam, benda kerja disayat ke arah kanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan minimal kemudian menebal. Proses frais ini sesuai untuk Mesin Frais konvensional/manual, karena pada mesin konvensional *backlash* ulir transportirnya relatif besar dan tidak dilengkapi *backlash compensation*.

b. Frais Turun (*Down Milling*)

Proses frais turun dinamakan juga climb milling. Arah dari putaran pisau sama dengan arah gerak makan meja Mesin Frais. Sebagai contoh jika pisau berputar berlawanan arah jarum jam, benda kerja disayat kekanan. Penampang melintang bentuk beram (*chips*) untuk proses frais naik adalah seperti koma diawali dengan ketebalan maksimal kemudian menipis. Proses frais ini sesuai untuk Mesin CNC *milling*, karena pada mesin CNC gerakan meja dipandu oleh ulir dari bola baja, dan dilengkapi *backlash compensation*. Untuk Mesin Frais konvensional tidak direkomendasikan melaksanakan proses frais turun, karena meja Mesin Frais akan tertekan dan ditarik oleh pisau.

2.1.2.3 Parameter Pada Mesin *Milling*

Parameter pemotongan diperlukan agar proses produksi dapat berlangsung sesuai dengan prosedur perencanaan. Parameter-parameter pemotongan yang

penting untuk diperhatikan dalam proses frais meliputi: kecepatan potong, putaran spindle, kedalaman pemakanan, gerak makan per gigi, kecepatan penghasilan geram dan waktu pemesinan. Penentuan rasio kecepatan antara gerak benda kerja dan putaran pisau sangat penting diperhatikan. Jika langkah pemakanan benda kerja terlalu pelan waktu akan terbuang banyak dan pisau fraispun akan cepat tumpul dan menurunkan umur pahat. Jika pemakanan benda kerja terlalu cepat pisau frais bisa cepat rusak, dan tentu memerlukan waktu lebih banyak untuk menggantinya.

1. Kecepatan potong/cutting speed

Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain:

1. material benda kerja yang akan difrais
2. material pisau frais
3. diameter pisau
4. kehalusan permukaan yang diharapkan
5. kedalaman pemotongan yang ditentukan
6. Rigiditas benda kerja dan mesin.

Untuk benda kerja yang berbeda kekerasannya, strukturnya dan kemampuan pemesinaanya diperlukan penentuan cutting speed yang berbeda.

Tabel 1 berikut menunjukkan cara penentuan cutting speed:

Tabel 2.2. Cutting Speed untuk Proses frais

Material	High-speed steel cutter		Carbide cutter	
	ft/min	m/min	ft/min	m/min
Machine steel	70-100	21-30	150-250	45-75
Tool steel	60-70	18-20	125-200	40-80
Cast iron	50-80	15-25	125-200	40-80
Bronze	65-120	20-35	200-400	80-120
Aluminium	500-1000	150-300	1000-2000	150-300

Cutting speed dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan :

$$v = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000 \text{ m/min},$$

Keterangan:

v = *cutting speed* (m/menit)

d = diameter pisau frais (mm)

n = putaran spindel utama (rpm)

2. Penentuan putaran Pisau

Terdapat tiga faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan putaran pisau frais antara lain:

1. Material yang akan di frais
2. Bahan pisau frais
3. Diameter pisau frais

3. *Feed* (gerak pemakanan).

Feed dapat dinyatakan sebagai rasio gerak benda kerja terhadap gerak putar pisau frais. Dalam menentukan *feed*, faktor yang harus diperhatikan adalah:

1. Kedalaman pemakanan
2. Tipe pisau frais
3. Bentuk pisau frais
4. Material benda kerja
5. Kekuatan dan keseragaman benda kerja
6. Tipe permukaan *finishing* yang diharapkan
7. *Power* dan rigiditas mesin

Tabel 2.3. *Feed* untuk Proses Frais

APPROXIMATE MAXIMUM FEED PER TOOTH FOR VARIOUS CUTTERS WORK MATERIAL AND APPROXIMATE MAXIMUM BRINELL HARDNEES										
Typt of Cutter	Alu- minium	Brass 110	Bronze 130	Steel Mild 150	Steel Med. 180	Steel Tough 200	Steel Alloy 250	Cast Iron 150	Cast Iron 200	Cast Iron 250
Face	0.55	0.55	0.45	0.28	0.23	0.20	0.18	0.45	0.38	0.33
Slab	0.43	0.43	0.35	0.23	0.18	0.15	0.13	0.35	0.30	0.25
Slot S&F	0.33	0.33	0.28	0.18	0.15	0.13	0.10	0.28	0.23	0.20
End	0.28	0.28	0.23	0.13	0.13	0.10	0.10	0.23	0.20	0.15
Form	0.15	0.15	0.13	0.10	0.07	0.07	0.05	0.13	0.13	0.10
Saw	0.15	0.13	0.10	0.07	0.07	0.05	0.05	0.10	0.10	0.07

4. Kedalaman pemotongan

Pemotongan dalam proses frais meliputi pemotongan kasar (*roughing*) dan pemotongan halus (*finishing*). Pada pemotongan kasar dalam pemotongan dapat ditentukan pada kedalaman maksimal (lebih dalam). Pada pemotongan yang berat dapat digunakan pisau dengan gigi helik dan jumlah gigi yang lebih sedikit.

Pemotongan dengan jumlah gigi potong lebih sedikit akan menghasilkan pemotongan yang lebih kuat dan lebih mempunyai kelonggaran yang lebih besar daripada banyak gigi.

Pemotongan halus (*finishing*) dilakukan secara ringan (*light*) daripada pemotongan kasar. Kedalaman pemotongan pada pemakanan kasar biasanya tidak lebih dari 1/64 inchi (0,39 mm). Pada pemakanan halus, *feeding* (gerakan pemakanan) harus dikurangi dan putaran pisau dipercepat, sedangkan pada pemotongan kasar sebaliknya, yaitu *feeding* diperbesar dan putaran pisau diperlambat.

5. Gerak makan per gigi, Fz

$$Fz = vf / z \cdot n \text{ mm/gigi}$$

Fz = gerak makan per gigi

vf = kecepatan makan (mm/putaran)

z = jumlah gigi pisau frais

n = putaran spindel mesin (rpm).

6. Waktu pemotongan

$$tc = lt/vf \text{ min}$$

keterangan:

$$lt = lv + lw + ln \text{ (mm)}$$

$lv = 1$, untuk mengefrais datar

$lv \geq 0$, untuk mengefrais tegak

$ln \approx d/2$, untuk mengefrais tegak 5

7. Kecepatan penghasilan geram

$$Z = (vf.a.w) / 1000 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Proses frais bisa dilakukan dengan banyak cara menurut jenis pahat yang digunakan dan bentuk benda kerjanya. Selain itu jenis mesin frais yang bervariasi menyebabkan analisa proses frais menjadi rumit. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bukan hanya kecepatan potong dan gerak makan saja, tetapi juga cara pencekaman, gaya potong, kehalusan produk, getaran mesin dan getaran benda kerja.

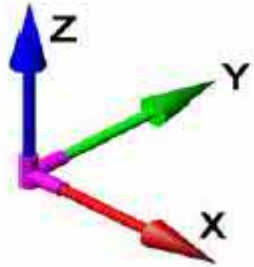
2.1.3 CNC

Menurut Sumbodo (2008:404) CNC (*Computer Numerically Control*) yaitu mesin yang dapat berkerja melalui pemograman yang dilakukan dan dikendalikan melalui komputer. Sistem CNC ini digunakan untuk mengendalikan mesin dengan jumlah produk masal, ketelitian tinggi dan kecepatan yang tinggi pula. Mesin CNC merupakan penyempurnaan sistem pengoperasian mesin dari cara konvensional (menggunakan tenaga manusia) menjadi menggunakan kendali elektronika (*automation*). Berkembangnya Mesin CNC, maka benda kerja yang rumit sekalipun dapat dibuat secara mudah dalam jumlah yang banyak. Maka proses dalam penelitian ini dinilai sangat tepat menggunakan Mesin CNC dibanding Mesin Konvensional. Kemampuan pengendali CNC saat ini dapat mengendalikan lebih dari tujuh sumbu (*axis*). CNC terdiri menjadi dua, yaitu CNC *turning* dan CNC *milling*.

Menurut Widarto (2008:378) CNC milling dibedakan menjadi 2 yaitu TU (*Training Unit*) dan PU (*Production Unit*). Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. *CNC Milling Training Unit* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (External Programing Sistem). Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak. Sedangkan Mesin *CNC Milling Production Unit* dipergunakan untuk produksi massal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya. Gerakan Mesin *CNC Milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

Dalam proses *milling*, hasil yang dicapai selain ukuran yang presisi adalah harga kekasaran. Dari harga kekasaran permukaan ini dapat dilakukan evaluasi apakah produk yang dibuat tersebut diterima atau tidak. Semakin rendah harga kekasaran yang dihasilkan, maka kriteria benda tersebut semakin baik. Jika harga kekasaran yang diperoleh semakin tinggi maka akan berdampak kepada komponen atau elemen mesin yang saling bergesekan. Gesekan akan meningkat jika kualitas permukaan tidak halus. Kualitas permukaan yang halus akan membuat sedikit gesekan dari pada permukaan yang kasar.

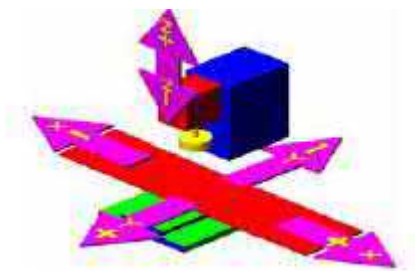
2.1.4.1 Prinsip Kerja Mesin Frais CNC TU 3 Axis



Gambar 2.4. Sistem koordinat Mesin CNC TU-3A.

- a) Sumbu X untuk arah gerakan horizontal.
- b) Sumbu Y untuk arah gerakan melintang.
- c) Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal.

Mesin Frais CNC TU-3A menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat Cartesius, (Gambar 2.5.). Prinsip kerja mesin CNC TU-3A adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau / pahat berputar. Untuk arah gerak persum-buan Mesin Frais CNC TU-3A tersebut diberi lambang pesumbuan sebagai berikut :



Gambar 2.5. Skema pergerakan koordinat Mesin CNC TU-3A.

2.1.4 CAD/CAM

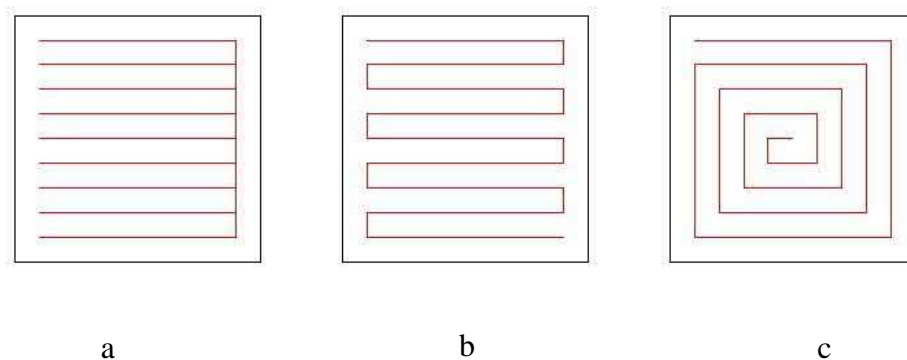
Menurut Sumbodo, dkk (2008:353) CAD dalam keteknikan artinya mendesain menggunakan sistem grafis komputer untuk membuat desain mekanis (mesin/komponen mesin), rangkaian elektronik dan arsitektur/teknik sipil. Pada umumnya CAD dikenal pula sebagai metode menggambar komponen atau lainnya dengan bantuan software computer. Perusahaan atau industri menggunakan CAD untuk mendesain produk yang dihasilkan. Penguasaan CAD penting dalam dunia teknik dan seorang yang ahli CAD banyak dibutuhkan dalam dunia industri karena teknologi CAD menjadi dasar untuk beragam kegiatan keteknikan seperti gambar, desain, analisa, dan proses manufaktur. Karena dikerjakan dengan bantuan komputer, maka suatu desain atau gambar dapat dianalisa, direvisi dimodifikasi dengan lebih mudah.

Proses pemograman ini menggunakan software CAM (*Computer-aided manufacturing*). CAM adalah penggunaan software komputer untuk mengontrol tools mesin ataupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses permesinan. Definisi ini bukan satu-satunya definisi CAM, CAM pun berarti penggunaan komputer yang berfungsi untuk membantu dalam semua perencanaan manufaktur, termasuk didalamnya perencanaan, manajemen, transportasi dan penyimpanan. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan proses produksi yang lebih cepat, serta ukuran yang presisi dan konsistensi material pada komponen dan tools. Yang mana pada beberapa kasus, dapat mengurangi kebutuhan material mentah (hemat material) dan juga konsumsi energi. CAM merupakan proses setelah pemodelan menggunakan CAD atau juga CAE (*Computer-Aided*

Engineering). Model yang telah dibuat menggunakan Software CAD/CAE kemudian diolah oleh Software CAM untuk akhirnya menjadi perintah untuk mengontrol tools di mesin. Secara sederhana, CAM dikenal sebagai alat pemrograman *Numerical Control* (NC), dimana gambar dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D) yang dibuat menggunakan *software* CAD kemudian diolah menjadi G-Code, M-code dan lain-lain. Pada penelitian kali ini menggunakan *software mastercam*. *Mastercam* adalah perangkat lunak komputer berbasis CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*). Aplikasi ini digunakan untuk mendesain dan membuat program CNC untuk proses pemesinan. *Mastercam* memiliki beberapa fungsi antara lain untuk menggambar (*design*), proses bubut (*Lathe*), proses frais (*Mill*), proses *wire cutting*.

2.1.5 Arah Pemakanan

Dalam *software mastercam* terdapat beberapa metode penyayatan atau yang sering disebut arah pemakanan. Arah pemakanan sangat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran hasil dari proses pengerjaan dan berpengaruh terhadap waktu pengerjaan. Menurut Syafa'at, dkk (2016:4) CAM mempunyai beberapa *toolpath* untuk proses *rough milling* ataupun *finish milling*, tetapi pada penelitian ini hanya menggunakan *rough milling* dan *finish milling* dengan arah pemakanan *one way*, *zigzag* dan *constant overlap spiral*.



Gambar 2.6. Arah pemakanan (a) *one way* (b) *zigzag* (c) *constant overlap spiral*

Arah pemakanan *one way* yaitu pahat potong hanya menyayat lurus membentuk garis lurus seperti gambar 2.6. (a). Sedangkan arah pemakanan *zigzag* yaitu pahat potong menyayat lurus bolak-balik membentuk garis *zigzag* seperti gambar 2.6. (b). Arah pemakanan *constant overlap spiral* yaitu pahat potong menyayat melingkar seperti membentuk obat nyamukatau membuat garis *spiral* seperti gambar 2.6. (c).

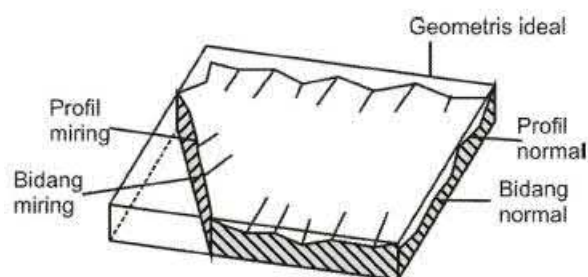
2.1.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan secara luas di industri biasanya digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran dari permukaan suatu benda. Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya.

Menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Kekasaran terdiri dari ketidak teraturan tekstur permukaan yang diakibatkan oleh kekasaran benda, yang pada

umumnya mencakup ketidak teraturan selama proses produksi. Jika ditinjau skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan merupakan suatu karakteristik geometri golongan mikrogeometri, yang termasuk golongan makrogeometri adalah merupakan permukaan secara keseluruhan yang membuat bentuk atau rupa yang spesifik, misalnya permukaan lubang, permukaan poros, permukaan sisi dan lain-lain yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk dan posisi (Chang Xue, 2002). Ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk.

Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Untuk mengukur dan menganalisis suatu permukaan dalam tiga dimensi adalah sulit. Oleh karena itu, untuk mempermudah pengukuran maka penampang permukaan perlu dipotong. Cara pemotongan biasanya ada empat cara yaitu pemotongan normal, serong, singgung dan pemotongan singgung dengan jarak kedalaman yang sama. Garis hasil pemotongan inilah yang disebut dengan istilah profil, dalam kaitannya dengan permukaan. Dalam analisisnya hanya dibatasi pada pemotongan secara normal.

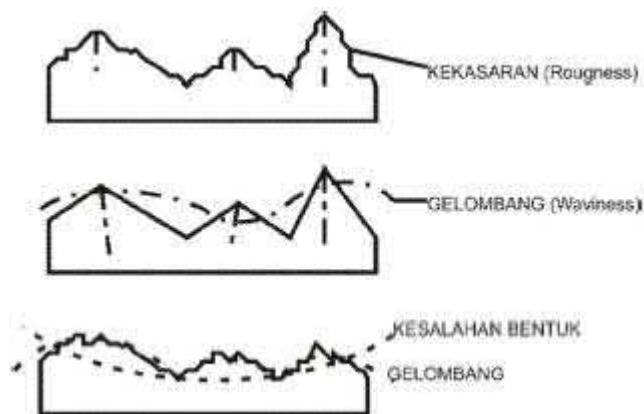


Gambar 2.7. Bidang dan profil pada penampang permukaan

Sumber : Munadi (1980 : 224)

Dengan melihat profil ini maka bentuk dari suatu permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*). Permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pisau potong dalam proses pembuatannya.

Sedangkan permukaan yang bergelombang mempunyai bentuk gelombang yang lebih panjang dan tidak teratur yang dapat terjadi karena beberapa faktor misalnya posisi senter yang tidak tepat, adanya gerakan tidak lurus (non linier) dari pemakanan (*feed*), getaran mesin, tidak imbangnya (*balance*) batu gerinda, perlakuan panas (*heat treatment*) yang kurang baik, dan sebagainya. Dari kekasaran (*roughness*) dan gelombang (*waviness*) inilah kemudian timbul kesalahan bentuk.



Gambar 2.8. Kekasaran, gelombang dan kesalahan bentuk dari suatu permukaan

Sumber : Munadi (1980 : 224)

Sebelum membicarakan parameter-parameter permukaan perlu dibicarakan terlebih dulu mengenai profil permukaan.

1. Profil Geometris Ideal

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

2. Profil Referensi

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristis dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan bentuk profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran.

3. Profil Terukur

Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.

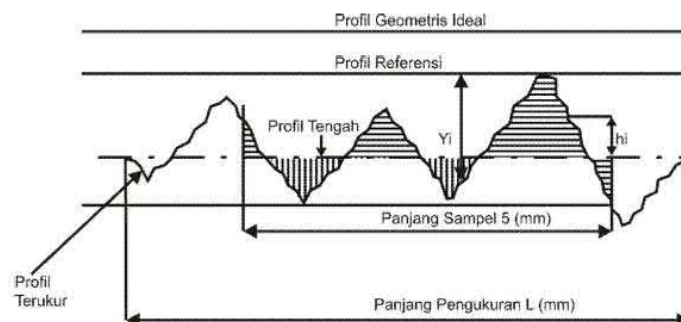
4. Profile Dasar

Profil dasar adalah profil referensi yang digeserkan kebawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

5. Profile Tengah

Profil tengah adalah profil yang berada ditengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil

terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan kebawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama yaitu atas dan bawah.



Gambar 2.9. Profil suatu permukaan

Sumber : Munadi (1980 : 227)

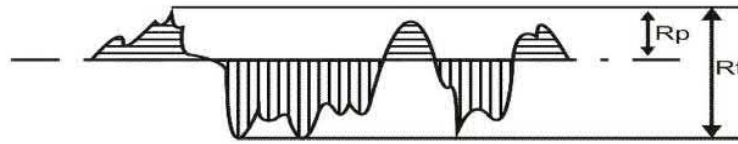
Beberapa parameter yang bisa dijabarkan dari profil-profil yang telah disebutkan diatas antara lain adalah:

6. Kedalaman Total (R_t)

Kedalaman total ini adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar. Satuannya adalah dalam micron (μm).

7. Kedalaman Perataan (R_p)

Kedalaman perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Bila juga dikatakan bahwa kedalaman perataan merupakan jarak antara profil tengah dengan profil referensi.



Gambar 2.10. Kedalaman total dan kedalaman perataan

Sumber : Munadi (1980 : 229)

8. Kekasaran Rata-rata Aritnetis (Ra)

Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah.

$$Ra = \frac{1}{s} \int_0^{-2} ht^2 \cdot dx \text{ (}\mu\text{m)}$$

Menentukan kekasaran rata-rata (Ra) dapat pula dilakukan secara grafis.

Adapun caranya adalah sebagai berikut :

Pertama, gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.

Kedua, ambil sampel panjang pengukuran sepanjang L yang memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

Ketiga, ambil luasan daerah A di bawah kurve dengan menggunakan planimeter atau dengan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis center C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus yang besarnya adalah :

$$Hm = \frac{\text{daerah A}}{L}$$

Keempat, sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah diatas (P1 +

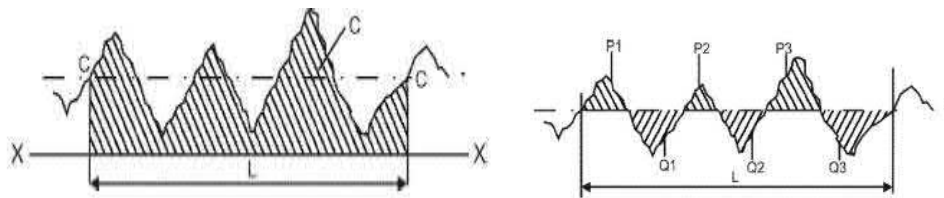
P2 + ... dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah (Q1 + Q2 + ... + dan seterusnya). Dengan demikian maka Ra dapat ditentukan besarnya yaitu :

$$Ra = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{10000}{V_v} (\mu\text{m})$$

Dimana :

Vv = perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam milimeter

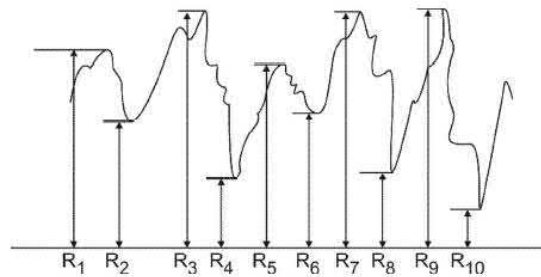
L = panjang sampel pengukuran dalam milimeter



Gambar 2.11. Menentukan kekasaran rata-rata Ra

Sumber : Munadi (1980 : 229)

Kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah, Rz sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis Ra, tetapi cara menentukan Rz adalah lebih mudah daripada menentukan Ra. menunjukkan cara menentukan Rz. Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah



Gambar 2.12. Menentukan kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah

Sumber : Munadi (1980 : 237)

Kemudian buat garis lurus horisontal di bawah profil permukaan. Tarik garis tegak lurus dari masing-masing ujung puncak dan lembah ke garis horisontal. Dengan cara ini maka diperoleh harga R_z yang besarnya adalah:

$$R_z = \frac{1}{5} (R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9 + Pa) - \frac{1}{5} (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10}) \times \frac{1000}{V_v}$$

9. Toleransi Harga R_a

Harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a mempunyai harga toleransi kekasaran. Masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk R_a biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah. Tabel 2. menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.4. Toleransi Harga Kekasaran Rata-rata Ra
(Sumber: Pratama, 2016:5)

Kelas Kekasaran	Harga C.I.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi N	Panjang Sampel (mm)
N1	1	0,0025	0,02 – 0,04	0,08
N2	2	0,05	0,04 – 0,08	
N3	4	0,0	0,08 – 0,15	0,25
N4	8	0,2	0,15 – 0,3	
N5	16	0,4	0,3 – 0,6	
N6	32	0,8	0,6 – 1,2	
N7	63	1,6	1,2 – 2,4	
N8	125	3,2	2,4 – 4,8	0,8
N9	250	6,3	4,8 – 9,6	
N10	500	12,5	9,6 – 18,75	2,5
N11	1000	25,0	18,75 – 37,5	
N12	2000	50,0	37,5 – 75,0	8

2.1.7 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Penelitian ini untuk pengukuran kekasaran permukaan menggunakan alat ukur surface roughness tester. Prinsip kerja pada alat ini yaitu adanya detektor yang berupa jarum untuk meraba permukaan yang akan diukur. Jarum tersebut bergerak sepanjang ukuran yang telah ditetapkan pada saat pengaturan awal, sehingga akan didapat beberapa titik sesuai pengaturan yang diinginkan. Proses pengukuran dilakukan dengan mengambil 3 sample titik pengerjaan yaitu titik A, titik B, dan titik C disetiap benda ujicoba, jadi didapat 9 sample titik pengerjaan dimana pada setiap titik diambil tiga goresan dan sudah diambil nilai rata – ratanya (Irawan, 2016: 86). Posisi pengetesan dilakukan terhadap bidang lengkung pada setiap benda ujicoba untuk mendapatkan perbandingan kekasaran permukaan antara pengerjaan dengan arah pemakanan *one way*, arah pemakanan *zigzag* dan arah pemakanan *constant overlap spirial*. Hasil dari pengukuran tersebut akan

muncul dalam bentuk print out setelah alat ukur berhenti sejenak yang berupa grafik maupun angka.

2.16 Kajian Penelitian yang Relevan

Andri Mardiansyah (2014) menganalisa kekasaran permukaan benda kerja dengan variasi jenis material dan alat potong. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu nilai kekasaran permukaan terendah adalah 3,166 μm pada sudut 225° dikedalaman potong (a) 0,25 mm, menggunakan pahat potong widia pada material benda kerja baja AISI 1045. Kemudian nilai kekasaran permukaan terbesar adalah 7,610 μm pada sudut 45° dikedalaman potong (a) 0,75 mm, menggunakan pahat potong yang sama dengan material benda kerja baja VCN. Sedangkan kekasaran terendah menggunakan pahat bubut sandvik adalah 3,814 μm pada sudut 0° dikedalaman potong (a) 0,75 mm pada material benda kerja VCN. Sememntara itu kekasaran terbesar adalah 7,551 μm pada sudut 90° dikedalaman potong (a) 0,25 mm dengan material alat potong sandvik pada material baja AISI 1045.

Ana Wilda Widianoro (2017) pengaruh jenis material pahat potong dan arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja ems 45 pada proses cnc *milling*. Adapun hasil penelitian yang dilakukan yaitu terdapat pengaruh antara jenis material alat potong terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*; 2) terdapat pengaruh antara variasi arah pemakanan terhadap kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses CNC *Milling*; 3) tidak ada pengaruh antara jenis material alat potong dan variasi arah pemakanan terhadap

kekasaran permukaan baja EMS 45 pada proses *CNC Milling*.

Eyup Bagci dan Seref Aykut (2006) telah melakukan penelitian yang berjudul *A Study Of Taguchi Optimization Method For Identifying Optimum Surface Roughness In Cnc Face Milling Of Cobalt-Based Alloy (Stellite 6)*. Penelitian ini telah membahas penerapan metode Taguchi untuk menyelidiki efek pemotongan parameter di permukaan Nilai kekasaran di permukaan material. Dalam proses pengefraisan permukaan, kondisi pemotongan pun berbeda kecepatan potong, kedalaman potong, dan nilai laju umpan. Seperti yang ditunjukkan pada. Penelitian ini, metode Taguchi memberikan sistematika dan efisien metodologi untuk optimasi desain pemotongan parameter dengan efek yang jauh lebih sedikit daripada yang paling banyak dibutuhkan teknik optimasi.

Moch Yunus, dkk (2012) dengan judul *Analisa Parameter Kekasaran Permukaan Bahan Alumunium Jenis Al Mg Si 3.6082 Din 1725 Pada Proses Pemesinan Cnc Milling* menyimpulkan bahwa pertama nilai kekasaran permukaan (R_a) terbukti dipengaruhi oleh *cutting speed* (n), *feed rate* (f) serta *depth of cut* (a). kedua model persamaan regresi linier $Y = 0,880 - 0,001 n - 0,004 f + 0,316 a$, cocok untuk memprediksi nilai kekasaran hasil pemesinan CNC Milling untuk bahan alumunium jenis Al Mg Si 3.6082 DIN 1725 dengan pahat/cutter HSS diameter 40 mm. ketiga besarnya R_2 adalah 0,698 atau 69,8 %, artinya bahwa besarnya nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) 69,8 % dipengaruhi oleh variabel independen *cutting speed*, *feed rate* dan *dept of cut* sedangkan 30,2 % dipengaruhi oleh variabel lain selain variabel independen tersebut.

Irawan (2016) dengan judul Pengaruh Teknik Penyayatan Pahat *Milling* Pada Cnc *Milling* 3 Axis Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Berkontur menyimpulkan bahwa pertama terdapat pengaruh nilai kekasaran pada setiap metode pemakanan dalam proses perbedaan disebabkan karena setiap metode pemakanan mempunyai alur penyayatan yang berbeda. Kedua pada proses pemesinan *milling* CNC 3 Axis nilai kekasaran yang terkecil adalah metode *3D offset finishing*. Karena pada metode *3D offset finishing* mempunyai alur pemakanan mengikuti arah dari bentuk benda kerja. Sedangkan pada metode *Raster one way* dan *raster two way* hanya membentuk alur lurus. Ketiga kekasaran permukaan (Ra) rata – rata terendah pada benda uji coba *core* dengan nilai kekasaran $0.899\mu\text{m}$ dan waktu penyayatan tercepat yaitu pada *1jam 08menit* menggunakan teknik penyayatan *3D offset finishing*.

Routara, dkk (2009) melakukan penelitian tentang *Roughness Modeling And Optimization In CNC End Milling Using Response Surface Method: Effect Of Workpiece Material Variation*. Hasil penelitian ini mengembangkan model kekasaran untuk lima parameter kekasaran yang berbeda dan untuk tiga benda kerja yang berbeda menggunakan metode surface response. Model respon orde kedua telah divalidasi dengan analisis varian. Ditemukan bahwa semua tiga pemotongan parameter (kecepatan spindle, kedalaman cut dan laju umpan) dan Interaksi mereka berpengaruh signifikan terhadap kekasaran Parameter yang dipertimbangkan dalam penelitian ini meskipun Pengaruh bervariasi dengan sifat benda kerja. Demikian Model permukaan respon spesifik terhadap parameter kekasaran dan juga bahan benda kerja. Akhirnya, usaha telah dilakukan untuk

memperkirakan yang optimum kondisi permesinan untuk menghasilkan permukaan terbaik kualitas dalam kendala eksperimental.

Imam Syafa'at, dkk (2016) dengan judul Pengaruh Arah Pemakanan Dan Sudut Permukaan Bidang Kerja Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45c Pada Mesin Frais Cnc Menggunakan *Ballnose Endmill*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Pergeseran alat potong dengan variasi arah pemakanan dengan jarak yang konstan apabila bertemu dengan sudut permukaan bidang kerja yang berbeda akan menghasilkan perbedaan jarak pergeseran alat potong yang sesungguhnya yang menyebabkan mempengaruhi nilai kekasaran. Dari ketiga arah pemakanan terhadap sudut permukaan bidang kerja, nilai kekasaran yang paling kecil (halus) terjadi pada sudut permukaan bidang kerja 30° dengan arah pemakanan searah 45° yaitu sebesar $0.85 \mu\text{m}$.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh arah pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan material aluminium pada *cover* motor listrik hasil *CNC milling* dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi arah pemakanan *one way* menghasilkan nilai kekasaran dengan rata-rata sebesar 0.87 μm .
2. Variasi arah pemakanan *zigzag* menghasilkan nilai kekasaran dengan rata-rata sebesar 0.92 μm .
3. Variasi arah pemakanan *constant overlap spiral* menghasilkan nilai kekasaran dengan rata-rata sebesar 0.73 μm .
4. arah pemakanan terbaik yang digunakan untuk membuat produk *cover* motor listrik pada *CNC milling* yaitu arah pemakanan *constant overlap spiral*.

5.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang dikemukakan diatas, penulis menyarankan agar dalam proses pemesinan *CNC milling* untuk permukaan material aluminium pada pembuatan *cover* motor listrik atau benda yang berkontur yang agar menggunakan arah pemakanan *constant overlap spirial* agar untuk mendapatkan nilai kekasaran yang terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonov dan Yeni Oktariani. 2016. Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. Vol. 5. No. 1:9-15.
- Bagci, Eyup dan Seref Aykut. 2006. *A Study Of Taguchi Optimization Method For Identifying Optimum Surface Roughness In Cnc Face Milling Of Cobalt-Based Alloy (Stellite 6)*. *Jurnal Int J Adv Manuf Technol*. 29: 940–947.
- Chang-Xue. 2002. *Surface Roughness Predictive Modeling: Neural Networks versus Regression*. *Department of Industrial & Manufacturing Engineering, College Engineering and Technology*. Bradley University: Illinois USA.
- Irwan. 2016. Pengaruh Teknik Penyayatan Pahat Milling Pada Cnc Milling 3 Axis Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Berkontur. *Jurnal JTM*. Vol. 5. No.5 :81-89.
- Kalpakjian, S. dan Steven R. Schmid. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. New York: Prentice Hall
- Mardiansyah, Andri. 2014. Analisis Kekasaran Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material Dan Pahat Potong. Program Studi Teknik Mesin S1. Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu.
- Munadi, Sudji. (1988). *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan
- Pratama, A. 2016. Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Tarik Baja AISI 4140. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin* : 1-11
- Routara.B. C., A. Bandyopadhyay dan P. Sahoo. 2009. *Roughness Modeling And Optimization In CNC End Milling Using Response Surface Method: Effect Of Workpiece Material Variation*. *Jurnal Int J Adv Manuf Technol*. 29: 940–947.
- Saputro, Herman dan Sunaryo. 2014. Karakteristik Tingkat Kekerasan Permukaan Baja ST 40 Hasil pemesinan CNC Milling Zk 7070 Efek dari Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*) dan Awal Waktu Pemberian Pendingin. Pendidikan Teknik Mesin UNS. Surakarta.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung : Alfabeta.
- Sumbodo, Wirawan, dkk .2008. *Teknik Produksi Mesin Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Direktorat Jenderal

Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

- Sunaryo, H. 2008. Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Syafaat, Imam, Wahid , M. Abdul dan Respati , Bondan. 2016. Pengaruh Arah Pemakanan Dan Sudut Permukaan Bidang Kerja Terhadap Kekasaran Permukaan Material S45C Pada Mesin Frais CNC Menggunakan Ballnose Endmill. *Jurnal Momentum*. Vol. 12. No.1:1-8.
- Widiantoro, Ana Wilda, dkk. 2017. Pengaruh Jenis Material Pahat Potong Dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Ems 45 Pada Proses CNC Milling. *Jurnal Sainteknol*. Vol. 15. No. 1:13-23.
- Widarto. (2008). Teknik Pemesinan Jilid 1. (1, Ed.). Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Yunus, Moch, Didi Suryana dan Mulyadi. 2012. Analisa Parameter Kekasaran Permukaan Bahan Alumunium Jenis Al Mg Si 3.6082 Din 1725 Pada Proses Pemesinan Cnc Milling. *Jurnal Austent*. Vol. 4. No. 1:1-6.
- Zubaidi, A., Indra, S., & Darmanto. (2012). Terhadap Kekasaran Permukaan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Fcd 40 Pada Mesin Bubut Cnc, 8(1), 40–47.