

**ANALISIS KUALITAS LUBANG MATERIAL *CARBON FIBER*
REINFORCED POLYMER MENGGUNAKAN PAHAT
ENDMILL TWO FLUTE DI BAWAH PENGARUH VARIABEL
PERMESINAN**

*QUALITY ANALYSIS OF MATERIAL HOLES *CARBON FIBER*
REINFORCED POLYMER USING *TWO FLUTE END MILL* UNDER THE
EFFECT OF MACHINE VARIABLES*

FORMANTO PALILING



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**ANALISIS KUALITAS LUBANG MATERIAL *CARBON FIBER*
REINFORCED POLYMER MENGGUNAKAN PAHAT
ENDMILL TWO FLUTE DI BAWAH PENGARUH VARIABEL
PERMESINAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin/ Konstruksi Mesin

Disusun dan diajukan oleh

FORMANTO PALILING

Kepada

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

TESIS

ANALISIS KUALITAS LUBANG MATERIAL CARBON FIBER REINFORCED POLYMER MENGGUNAKAN PAHAT ENDMILL TWO FLUTE DI BAWAH PENGARUH VARIABEL PERMESINAN

Disusun dan diajukan oleh

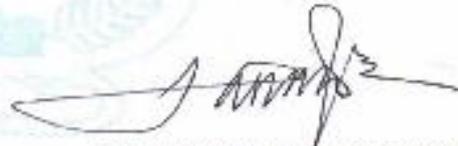
Formanto Paliling
Nomor Pokok D022171005

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 24 November 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,



Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT.
Ketua



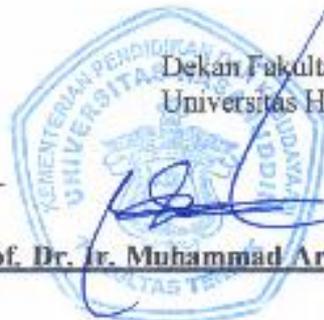
Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.
Anggota



Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : Formanto Paliling
Nomor mahasiswa : D022171005
Program studi : Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 November 2020

Yang menyatakan



Formanto Paliling
Formanto Paliling

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan perkenaan-Nya sehingga karya tulis tesis yang berjudul “Analisis Kualitas Lubang Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* Menggunakan Pahat *End Mill Two Flute* Dibawah Pengaruh Variabel Permesinan” ini dapat diselesaikan.

Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, M.T. dan Dr. Hairul Arsyad, S.T.,M.T. atas segala pengorbanan waktu, tenaga dan pikiran yang begitu besar dalam sumbangsih terhadap penelitian ini.

Tulisan ini menyangkut tentang kualitas hasil pengeboran pada material *CFRP* dengan menggunakan pisau *endmill two flute*. Saya berharap dari penelitian ini dapat diperoleh pengetahuan baru tentang metode pengeboran material CFRP dengan berbagai variasi parameter permesinan dan parameter pengujian sebagai salah satu acuan dalam pengetahuan dalam permesinan komposit terutama pada material CFRP.

Saya sadar bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran demi perkembangan ilmu pengetahuan .Semoga tulisan saya ini dapat bermanfaat untuk kita terutama demi kemajuan ilmu pengetahuan.

Makassar, 24 November 2020

Formanto Paliling

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Serat Karbon	8
2.1.1 Pengertian Serat Karbon	8

2.1.2	Komponen Material Penyusun	11
2.2	Komposit	12
2.2.1	Pengertian Komposit	12
2.2.2	Klasifikasi Komposit	13
2.2.3	Sifat Komposit	20
2.2.4	Sifat Material Komposit	22
2.2.5	Kelebihan Material Komposit	23
2.2.6	Kekurangan Material Komposit	24
2.2.7	Kegunaan Material Komposit	24
2.3	Polimer Sebagai Matrik	25
2.4	Pemesinan	27
2.4.1	Pemesinan Komposit <i>CFRP</i>	28
2.5	Mesin <i>CNC</i>	30
2.5.1	Mesin <i>CNC Milling</i>	31
2.6	Parameter Pemotongan Pada <i>Milling</i>	31
2.6.1	<i>Milling Cutter</i>	33
2.6.2	<i>End Mill Cutters</i>	34
2.6.3	<i>Solid End Mill</i>	34
2.7	Kekasaran Permukaan	36
2.7.1	Permukaan dan Parameter-Parameter Kekasaran Permukaan ...	37
2.7.2	Toleransi Harga Ra	40
2.8	Penyimpangan	41
2.9	Delaminasi	42

2.9.1 Faktor Delaminasi	43
2.9.2 Delaminasi Masuknya Mata Bor	43
2.9.3 Delaminasi Saat Tertembus Mata Bor	45
2.10 Metode Taguchi	45

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	47
3.1.1 Lokasi.....	47
3.1.2 Waktu.....	47
3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	48
3.3 Alat dan Bahan	49
3.2.1 Alat	49
3.2.2 Bahan	52
3.4 Prosedur Penelitian	53
3.4.1 Pembuatan Komposit (Metode <i>Press</i> Hidrolik)	53
3.4.2 Proses Pemesinan	54
3.5 Pengujian Material <i>CFRP</i>	56
3.5.1 Penyimpangan.....	56
3.5.2 Kekasaran	59
3.5.3 Delaminasi.....	62
3.6 Teknik Analisa Data	64

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Parameter Pemotongan Mesin Frais	66
4.2 Deskripsi Hasil Penelitian	66

4.3 Pengukuran Diameter Lubang Hasil Permesinan	67
4.4 Parameter Nilai Kualitas Lubang berdasarkan variabel pengujian terhadap Feed Rate (mm/min), Kecepatan Spindel, dan Diameter Endmill Two Flute	68
4.4.1 Penyimpangan	69
4.4.2 Faktor Delaminasi.....	74
4.4.3 Kekasaran	82
4.5 Analisa Menggunakan Metode Taguchi	84
4.5.1 Penyimpangan	85
4.5.2 Delaminasi	87
4.5.3 Kekasaran	89

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

ABSTRAK

FORMANTO PALILING. Analisis Kualitas Lubang Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* Menggunakan Pahat *Endmill Two Flute* di Bawah Pengaruh Variabel Permesinan (dibimbing oleh **Ahmad Yusran Aminy** dan **Hairul Arsyad**).

Pada saat ini *CFRP* merupakan bahan yang paling banyak dipergunakan karena sifat mekanik yang dimilikinya. Meskipun banyak kelebihan sifat mekaniknya, ada berbagai masalah pada saat proses pengerjaan permesinan. Seperti sirkularitas, delaminasi dan kekasaran hasil permesinan. Penelitian ini bertujuan menganalisa (1) pengaruh *feed rate* terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan *endmill two flute*, (2) menganalisa pengaruh kecepatan spindel terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan *endmill two flute*, dan (3) menganalisa pengaruh diameter *endmill two flute* terhadap kualitas lubang material *CFRP*. Pengujian yang dilakukan yaitu sirkularitas (penyimpangan), delaminasi, dan kekasaran. Hasil pengujian kemudian dianalisa menggunakan metode Taguchi. Hasil analisa menunjukkan bahwa untuk pengujian sirkularitas (penyimpangan) variabel yang paling berpengaruh adalah diameter daripada variabel *feed rate* dan kecepatan spindel, dengan nilai sirkularitas terendah 0,021 pada kondisi permesinan (40 mm/min, 1000 RPM, dan 6 mm) . Kemudian untuk delaminasi sisi masuk, yang paling berpengaruh adalah diameter dengan nilai delaminasi terendah 1,042 pada kondisi permesinan (60 mm/min, 2000 RPM dan 8 mm) sedangkan delaminasi sisi keluar yang paling berpengaruh adalah kecepatan spindel dengan nilai delaminasi terendah 1,047 pada kondisi permesinan (60 mm/min, 2000 RPM, 8 mm). Untuk pengujian kekasaran yang paling berpengaruh adalah diameter dengan nilai kekasaran terendah 3,838 μm pada kondisi pemotongan (40 mm/min, 1000 RPM dan 10 mm).

Kata Kunci : *Carbon Fiber Reinforced Polymer, Endmill Two Flute, Permesinan*

ABSTRACT

FORMANTO PALILING. Quality Analysis Of Material Holes Carbon Fiber Reinforced Polymer Using Two Flute End Mill Under The Effect Of Machine Variables (**Ahmad Yusran Aminy** and **Hairul Arsyad**).

Currently, CFRP is the material most widely used because of its mechanical properties. Despite the many advantages of its mechanical properties, there are various problems during the machining process, such as circularity, delamination, and roughness when machining is carried out. This study aims to (1) analyze the effect of the feed rate on the quality of the hole in CFRP material using a two-flute endmill, (2) to analyze the effect of spindle speed on the quality of the hole in CFRP material using a two-flute endmill, and (3) to analyze the effect of a two-flute endmill diameter on the quality of the hole CFRP material. The tests carried out were circularity, delamination, and roughness. The test results were then analyzed using the Taguchi method. The analysis results show that the most influential circularity variables are diameter than feed rate and spindle speed, with the lowest circularity value of 0.021 in machining conditions (40 mm/min, 1000 RPM, and 6 mm). Then for the entry side delamination, the most influential thing was the diameter with the lowest delamination value of 1,042 with machining conditions (60 mm/min, 2000 RPM, and 8 mm), while the most influential exit side delamination was the spindle speed with the lowest delamination value of 1,047 with machining conditions (60 mm/min, 2000 RPM, 8 mm). For roughness testing, the most influential was the diameter with the lowest roughness value of 3,838 μm with machining conditions (40 mm/min, 1000 RPM, and 10 mm).

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Polymer, Endmill Two Flute, Machining

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Sifat Mekanik beberapa Serat	22
2. Toleransi harga kekasaran rata-rata <i>Ra</i>	40
3. Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya	41
4. Proses Variabel Permesinan	55
5. Korelasi antara <i>feed rate</i> , kecepatan spindel, dan diameter <i>endmill two flute</i> terhadap penyimpangan, delaminasi dan kekasaran	68
6. Korelasi standar kriteria <i>ISO 286</i> terhadap penyimpangan	69
7. Korelasi Kriteria Pengerjaan <i>Milling</i> terhadap kekasaran	82
8. Setting parameter dan level eksperimen	85
9. <i>Orthogonal array</i> L_{27} berdasarkan metode <i>Taguchi</i>	85
10. Hasil transformasi <i>orthogonal array</i> L_{27} untuk penyimpangan	86
11. Hasil transformasi <i>orthogonal array</i> L_{27} untuk delaminasi	88
12. Hasil transformasi <i>orthogonal array</i> L_{27} untuk Kekasaran	90

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Serat karbon	9
2. <i>Continous Fiber Composite</i>	14
3. <i>Woven fiber composite</i>	14
4. <i>Chopped Fiber Composite</i>	14
5. <i>Hybrid Composite</i>	15
6. <i>Particulate Composite</i>	15
7. <i>Laminated Composites</i>	16
8. Macam-macam proses pemesinan: Bubut (<i>turning</i> atau <i>lathe</i>), frais (<i>milling</i>), sekrap (<i>planning, shaping</i>), gurdi (<i>drilling</i>), gerinda (<i>grinding</i>), bor (<i>boring</i>), pelubang (<i>punching press</i>) dan gerinda permukaan (<i>surface grinding</i>)	28
9. <i>End Mill</i> tunggal dan ganda, serta <i>Tapered End Mill</i>	35
10. Desain <i>Cutter End Mill</i>	35
11. Desain Sisi Potong <i>Cutter End Mill</i>	36
12. Geometri Sisi Potong <i>Cutter End Mil</i>	36
13. Bentuk profil kekasaran permukaan	38
14. Skema Pengukuran Faktor Delaminasi (<i>Fd</i>)	43
15. Delaminasi pada saat masuknya mata bor	44
16. Delaminasi Saat Tertembus Mata Bor	45
17. Diagram Alir Penelitian	48
18. Timbangan Digital	49
19. Cetakan spesimen	49
20. Gerinda Potong	49
21. Amplas	50
22. Pahat <i>End Mill two Flute</i> diameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm	50
23. <i>CNC Milling TU – 3A</i>	51
24. <i>Press Hidrolik</i>	51
25. Serat Karbon <i>Tipe Twill 3K 240 gsm</i>	52
26. Resin Epoksi dan <i>Hardener USA</i>	52
27. <i>Wax</i>	52
28. Arah orientasi serat $0^0/90^0$ dan $40^0/130^0$ material <i>CFRP</i>	53
29. Spesimen dengan variasi diameter pahat 6,8 dan 10 (mm)	55
30. Gambar Hasil Scan	56
31. Gambar salah satu contoh lubang ke 10 hasil pengeboran dengan diameter endmill 8 mm	57
32. Manual <i>measurement</i>	57
33. <i>Circle</i>	57
34. Gambar topografi hasil radius pengukuran penyimpangan	58

35. Tab data <i>measurements</i> hasil pengukuran	58
36. Contoh hasil Pengolahan data microsoft excel pada diameter 8 mm	59
37. (a) Gambar scan sisi atas hasil pemotongan material	
(b) Gambar scan dinding sisi tengah hasil pemotongan material	59
38. Gambar proses <i>scanning</i> mikroskop optik	60
39. Proses <i>scan</i> perangkat lunak kekasaran material CFRP	60
40. Pengambilan foto topografi dan informasi hasil pengujian kekasaran	61
41. Gambar hasil pengujian kekasaran (Ra)	61
42. Gambar Hasil Scan	62
43. Gambar salah satu contoh lubang ke 10 hasil pengeboran dengan diameter <i>endmill</i> 8 mm	63
44. Manual <i>Measurement</i>	63
45. <i>Circle</i>	63
46. Gambar topografi hasil radius pengukuran delaminasi	64
47. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap penyimpangan pada pengeboran diameter dengan endmill 6 mm	70
48. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap penyimpangan pada pengeboran diameter dengan endmill 8 mm	71
49. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap penyimpangan pada pengeboran diameter dengan endmill 10 mm	72
50. Grafik Pengaruh Diameter (mm), Kecepatan Spindel (<i>RPM</i>), <i>Feed rate</i> (mm/min) terhadap penyimpangan	73
51. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap delaminasi pada pengeboran dengan diameter endmill 6 mm	76
52. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap delaminasi pada pengeboran dengan diameter endmill 8 mm	77
53. Gambar fotografi pengaruh kecepatan spindel dan feed rate terhadap delaminasi pada pengeboran dengan diameter <i>endmill</i> 10 mm	79
54. Grafik Pengaruh Diameter (mm), <i>feed rate</i> (mm/min), kecepatan spindel (RPM) terhadap delaminasi sisi masuk dan sisi keluar	81
55. Grafik Pengaruh Diameter (mm), <i>feed rate</i> (mm/min), kecepatan spindel (RPM) terhadap Kekasaran (μm)	84
56. Hasil simulasi metode Taguchi berdasarkan hasil pengujian penyimpangan material CFRP	87
57. Hasil simulasi metode Taguchi berdasarkan hasil pengujian delaminasi material CFRP	89
58. Hasil simulasi metode Taguchi berdasarkan hasil pengujian kekasaran material CFRP	91

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

1. HASIL TAGUCHI PENYIMPANGAN, DELAMINASI DAN KEKASARAN
2. GAMBAR AUTOCAD
3. DATA KEKASARAN
4. ISO 286
5. ISO 1302
6. SPESIFIKASI PAHAT *ENDMILL TWO FLUTE*
7. FOTO KEGIATAN PENELITIAN

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/ singkatan	Keterangan
<i>CFRP</i>	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>
Mm	Milimeter
g/cm ³	Gram per sentimeter kubik
%	Persentase
Mpa	Megapascal
Gpa	GigaPascal
N	Kecepatan spindel
Vc	Kecepatan potong
π	Phi
D	Diameter
Rpm	Revolusi per menit
F	<i>Feed rate</i> (Pemakanan)
f	<i>Feed per tooth</i> (Pemakanan per gigi potong)
z	Jumlah gigi pada alat potong
<i>HSS</i>	<i>High Speed Steel</i>
Mm	Milimikron
Ra	Kekasaran rata-rata aritmatik
IT	<i>International Grade</i>
Fd	Faktor Delaminasi
Dmax	Delaminasi Maksimal
mm/gigi	Milimeter per gigi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Carbon Fiber Reinforced Polimer (CFRP) adalah bahan material komposit yang sangat baik yang dapat menggantikan logam dikarenakan sifat mekanik yang unggul seperti ringan, kekuatan tinggi dan kekakuan, yang sangat baik untuk kelelahan dan ketahanan terhadap korosi, serta ekspansi termal yang rendah, dan redaman yang tinggi (Herbert *et al.*, 2015).

Pada saat ini *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* merupakan sebuah bahan yang paling banyak dipergunakan karena sifat mekanik yang dimilikinya. Penggunaan serat karbon sebagai penguat material komposit ini, sudah banyak bermunculan dan mulai banyak dikembangkan. Pemilihan material *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*, untuk penggunaan industri terjadi karena rasio kekuatan yang tinggi yang dimilikinya dan dapat dibentuk dengan mudah serta dengan biaya yang relatif terjangkau. Karena sifat-sifat positif yang telah disebutkan di atas, maka material ini menjadi material yang paling dominan untuk menggantikan logam-logam konvensional pada umumnya (Qureshi *et al.*, 2017).

Meskipun banyak kelebihanannya seperti kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, ada berbagai masalah seperti pada saat proses

pengerjaan pemesinan. Salah satu proses pemesinan yang paling umum adalah pembuatan lubang pada material *CFRP*. Dalam pengeboran material *CFRP*, Kerusakan paling umum dari lubang material *CFRP* adalah delaminasi, yang dimana dapat dievaluasi dengan faktor delaminasi (Heisel and Pfeifroth, 2012).

Dalam hasil penelitian (Wang *et al.* 2012) tentang delaminasi permukaan dilakukan dengan menganalisis hasil percobaan dari pengamatan dalam pemesinan frais yang divariasikan dengan kecepatan pemotongan dan laju pemakanan pada material *CFRP* hasilnya menunjukkan peningkatan kecepatan dan pemakanan dapat meningkatkan resiko terjadinya delaminasi. Pada tahun 2012 Krishnaraj *et. al*, juga melakukan penelitian berkaitan dengan delaminasi. Parameter kualitas lubang yang dianalisis adalah diameter lubang, penyimpangan, dan delaminasi. dimana variasi kecepatan potong dalam pengoptimalan permesinan dan jenis pahat karbida K20 juga dimasukkan dalam parameter pengamatan hasil pengeboran material *CFRP*.

Penelitian tentang delaminasi pada *CFRP* juga dilakukan oleh Hintze Wolfgang, Hartmann, and Schutte (2011), delaminasi yang terjadi selama pengerjaan *CFRP*, dengan berfokus pada proses *milling*. Penyebaran delaminasi yang diperlihatkan dengan melakukan proses *milling* dalam spesimen *CFRP* yang memiliki orientasi serat berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa delaminasi

sangat tergantung pada orientasi serat dan ketajaman alat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dalam prosedur pemesinan untuk mengurangi adanya delaminasi, diperlukan variabel pemesinan untuk meningkatkan kualitas lubang material *CFRP*.

Davim *et al.*, (2011), juga melakukan teknik optimasi *Taguchi* untuk meminimalkan delaminasi dalam lubang pengeboran kecepatan tinggi pada *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Parameter proses pengeboran yang dievaluasi adalah kecepatan spindel, pemakanan, dan sudut pengeboran. Eksperimen *Taguchi* dilakukan dengan menggunakan bor karbida (K20). Cacat yang diamati pada dalam lubang bor pelat *CFRP* diukur dan dihitung faktor delaminasinya pada eksperimen tersebut. Hasilnya juga memperlihatkan pentingnya menggunakan kecepatan pemotongan yang tinggi untuk meminimalkan cacat delaminasi hal ini tentunya ditandai dengan jenis material pahat yang digunakan (K20). Dalam hasil penelitian di atas juga didukung oleh (Sharajabian, Hadi *and* Farahnakian, 2012) dengan menyelidiki efek dari parameter pemesinan yaitu kecepatan spindel, laju pemakanan selama proses pengeboran material *CFRP*. Dalam penyelidikan tersebut selama proses pengeboran juga diamati bagaimana proses parameter permesinan dapat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan terutama faktor delaminasi yang diamati dari hasil penelitian tersebut.

Penelitian tentang delaminasi juga diteliti (Rahim *et al.*, 2012), dalam penelitian tersebut delaminasi serat yang merupakan cacat utama selama proses pembuatan lubang material *CFRP*. Dimana penelitian tersebut juga meneliti tentang parameter pemotongan terbaik untuk pengoperasian pemesian frais pada *CFRP*. Bahan yang digunakan adalah dua jenis pahat *end mill* dengan 4 alur mata pahat. Hasilnya kemudian hasilnya dapat diukur dengan metode faktor delaminasi (Fd). Pada tahun 2014 (Rahim *et al* melakukan sebuah penelitian baru tentang *helical milling* dimana cacat yang paling umum pada *CFRP* adalah delaminasi, untuk itu pentingnya mengontrol parameter pemesian untuk memastikan kualitas lubang terbaik dimana diperlukan parameter pada penelitian ini yaitu tiga jenis kecepatan pemotongan dengan tingkat laju pemakanan yang divariasikan lalu dianalisis untuk mengetahui tingkat delaminasi dan kualitas lubang material *CFRP*.

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Hintze dan Hartman (2013), Kualitas lubang pada material *CFRP* juga bisa dipengaruhi oleh orientasi serat pada delaminasi. Delaminasi pada material *CFRP* sering diawali dengan tekanan pada pengeboran yang dilakukan selama pengeboran yang dimana hasil dan kualitas pengeboran juga ditentukan jenis pahat yang digunakan. Dari penelitian tersebut juga diteliti oleh Hosokawa *et al.*,(2014), saat melakukan proses frais heliks (*helical milling*) dengan menggunakan

pahat jenis *end mill* untuk menemukan kualitas lubang terbaik juga dipengaruhi oleh faktor orientasi serat pada material *CFRP*. Hal ini juga diperlihatkan dalam sebuah penelitian oleh Aurich *et al.*, (2014) dimana dalam menentukan delaminasi dan kualitas material *CFRP* juga dipengaruhi oleh orientasi serat pada material.

Berdasarkan uraian di atas maka diperlukan suatu penelitian tentang “Analisis Kualitas Lubang Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* Menggunakan Pahat *Endmill Two Flute* Di Bawah Pengaruh Variabel Permesinan”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hasil dari pengaruh proses permesinan terhadap kualitas hasil pengeboran material *CFRP*. Selanjutnya informasi yang dihasilkan dari penelitian ini, dapat menjadi referensi dan bahan pertimbangan bagi para jasa penggiat konstruksi dan industri manufaktur dalam pengeboran material *CFRP*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sesuai dengan apa yang dijelaskan di atas sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *feed rate* terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan pahat *end mill two flute*?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putaran spindle (*RPM*) terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan pahat *end mill two flute*?

3. Bagaimana pengaruh diameter pahat *end mill two flute* terhadap kualitas lubang material *CFRP*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa pengaruh *feed rate* terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan pahat *End Mill two flute*.
2. Untuk menganalisa pengaruh kecepatan putaran spindel (*RPM*) terhadap kualitas lubang material *CFRP* menggunakan pahat *End Mill two flute*.
3. Untuk menganalisa pengaruh diameter pahat *End Mill two flute* terhadap kualitas lubang material *CFRP*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah serat karbon twill 3K 240gsm.
2. *resin epoxy* dan *hardener* (merk *USA*).
3. *Feed rate* (*F*) meliputi 40 mm/min, 50 mm/min, dan 60 mm/min.
4. Kecepatan putaran spindel meliputi 500 rpm, 1000 rpm, 2000 rpm.
5. Diameter pisau endmill 6 mm, 8 mm dan 10 mm.

6. Pengujian meliputi uji kekasaran, uji penyimpangan, dan delaminasi.
8. Ketebalan lapisan serat karbon yang digunakan : 3 lapisan dengan orientasi serat karbon $0^{\circ}/90^{\circ}$ dan $40^{\circ}/130^{\circ}$ dengan selang-seling.
9. Pengukuran suhu pada proses pemesinan tidak dilakukan.
10. Teknik Analisa data menggunakan metode TAGUCHI.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini juga dapat dijadikan referensi sebagai masukan berupa hasil penelitian dalam bidang pemesinan dan material komposit *CFRP*.
2. Sebagai bahan acuan untuk memahami proses pengeboran komposit untuk pengembangan tahap selanjutnya.
3. Penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi peneliti lain sebagai bahan pembandingan penelitian yang berhubungan tentang proses pengeboran material *CFRP* dan variabel pemesinan pahat *endmill*.
4. Penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi industri otomotif maupun manufaktur dalam pembuatan rangka ataupun bahan konstruksi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Serat Karbon

2.1.1 Pengertian Serat Karbon

Serat karbon adalah bagian dari sebuah material komposit. Dalam suatu material yang dibuat dari dua atau lebih material penyusun memiliki perbedaan suatu sifat dan komposisi yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya..

Secara umum karbon ada dalam berbagai macam, bentuk, yakni seperti bubuk karbon, dan karbon seperti gelas hitam sangat keras (Surdia dan Saito, 2000: 371). Jenis dan penggunaan karbon sangatlah luas.

Menurut Sianipar (2009: 21-22), *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* merupakan sejenis plat baja tipis yang didalamnya terdapat serat-serat karbon dan *fiber*. Pemakaian *CFRP* pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

1. Terjadinya kesalahan pada perencanaan.
2. Adanya kerusakan-kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

3. Adanya perubahan fungsi pada sistem struktur dan adanya pemanambahan beban yang melebihi beban rencana.



Gambar 2.1 Serat karbon

Perkuatan tambahan ini telah banyak digunakan diberbagai belahan dunia. Disamping karena bahan tambahan ini sangatlah efektif, juga disebabkan karena keuntungannya lebih dari sistem perkuatan lainnya. Pada serat karbon salah satu jenis *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* yang terbuat dari karbon. Beberapa tahun belakangan ini penggunaan baja dalam beberapa aplikasi sangatlah vital mulai dari tereduksi oleh hadirnya *Carbon Fiber-Reinforced Polymer. Carbon Fiber Reinforced Plate (CFRP)* yang menawarkan beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu: mempunyai kekuatan tarik yang jauh lebih tinggi dari kuat tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) 165.000

MPa, tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan non logam, mempunyai penampang yang kecil dan ringan dengan berat 1,5 gr/cm³, serta mudah pemasangannya (Pangestuti dan Handayani, 2009: 108).

Serat karbon sebagai suatu alternatif serat grafit, grafit karbon atau CF, adalah bahan yang terdiri dari serat yang sangat tipis sekitar 0,005-0,010 mm dan sebagian besar terdiri dari atom karbon. Atom karbon terikat bersama dalam kristal mikroskopis yang lebih kurang sesuai sejajar dengan sumbu panjang dalam serat. Kepadatan suatu serat karbon juga lebih rendah daripada densitas dari baja, sehingga idealnya untuk aplikasi yang memerlukan berat konstruksi yang lebih rendah selain itu sifat dari serat karbon seperti kekuatan tarik tinggi, berat yang rendah membuatnya sangat populer dikedirgantaraan, teknik sipil, teknik mesin, militer, olahraga dan motor, namun relatif mahal jika dibandingkan dengan bahan yang sama seperti *fiberglass* atau plastik. Serat karbon sangat kuat ketika meregangkan atau bengkok, tapi lemah ketika tekanan atau terkena *shock* tinggi (misalnya serat karbon bar sangat sulit untuk menekuk, tetapi akan retak dengan mudah jika dipukul dengan palu). Penggunaan karbon *fiber* memerlukan bahan pengikat agar diperoleh aksi komposit antara material dan karbon *fiber*. (Nasrul Umam, 2015).

2.1.2 Komponen Material Penyusun

Pada material komposit tersusun dua komponen utama yakni matriks dan material penguat (*reinforcement*). *Fiber* karbon bertugas sebagai material penguat pada komposit serat karbon. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan sebuah resin polimer *epoxy*. Matriks resin ini berfungsi untuk mengikat material. Dikarenakan serat karbon hanya tersusun oleh dua material tersebut maka sifat serat karbon juga hanya ditentukan oleh kedua material ini. Faktor utama yang mempengaruhi sifat-sifat karakteristik karbon *fiber*:

1. Tipe serat karbon dan resin yang digunakan.
2. Rasio campuran serat karbon dan resin.
3. Bentuk serat karbon : searah, bersilangan, berkaitan, atau tidak tentu.
4. Kualitas serat : distribusi serat yang merata, ada tidaknya celah.

Bahan baku dalam setiap serat karbon berbeda-beda untuk setiap pabrikan, dan menjadi rahasia dari perusahaan mereka. Namun dapat dipastikan bahwa sekitar dalam 90% karbon fiber dibuat dari bahan dasar *polyacrylonitrile (PAN)*. Sedangkan dalam 10% sisanya diproduksi dari minyak bumi. Semua bahan baku yang digunakan ini merupakan polimer

organik, memiliki karakter ikatan molekul panjang yang tersusun atas atom-atom karbon. (Hadi, 2016).

2.2 Komposit

2.2.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dan kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang sangat berbeda dari material pembentuknya. Material komposit mempunyai sifat dari material umumnya konvensional dari proses pembuatannya melalui pencampuran yang tidak homogen (Widodo, 2007).

Pada material bahan penguat komposit tersebut menggunakan serat khusus, maka serat inilah yang akan menentukan sifat dan karakteristik material komposit tersebut, seperti yang diketahui : kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lain yang dimilikinya. Serat inilah yang dapat menahan pada sebagian besar gaya - gaya yang bekerja pada material komposit tersebut, sedangkan matriks bertugas dan berfungsi melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik dalam mengikat material komposit tersebut. Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material

tersebut yang dapat diatur kekuatannya sesuai dengan kehendak kita. Hal ini dinamakan *tailoring properties* dan ini adalah salah sifat istimewa komposit dibandingkan dengan material konvensional lainnya. Selain itu komposit tahan terhadap korosi yang tinggi serta memiliki ketahanan yang tinggi pula terhadap beban. Oleh karena itu, untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat, kaku dan getas, sedangkan bahan matriks dipilih bahan-bahan yang liat dan lunak. (Hadi, 2001).

2.2.2 Klasifikasi Komposit

Secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam (Jones, 1975), yaitu:

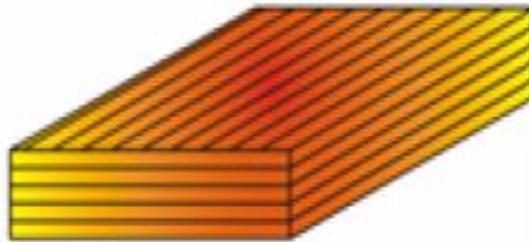
1. Komposit serat (*Fibrous Composites*)

Komposit serat merupakan material yang terdiri dari fiber dan matriks. Secara umum serat yang panjang mempunyai kekuatan yang lebih dibanding serat yang berbentuk curah. Fiber dalam penggunaannya bisa berupa *fibers glass, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide)*, dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak atau dengan orientasi tertentu bahkan juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Serat merupakan material yang mempunyai perbandingan panjang terhadap diameter sangat tinggi serta diameternya berukuran mendekati kristal. serat

juga mempunyai kekuatan dan kekakuan terhadap densitas yang besar (Jones, 1975).

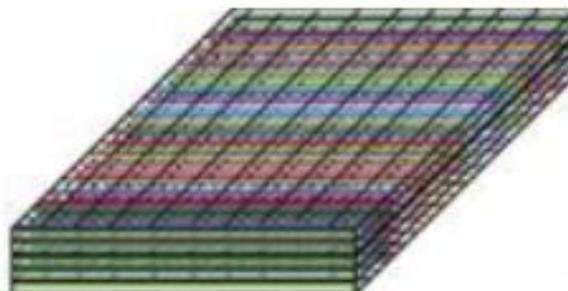
Kebutuhan akan penempatan serat dan arah serat yang berbeda menjadikan komposit diperkuat serat dibedakan lagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

a. *Continuous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue).



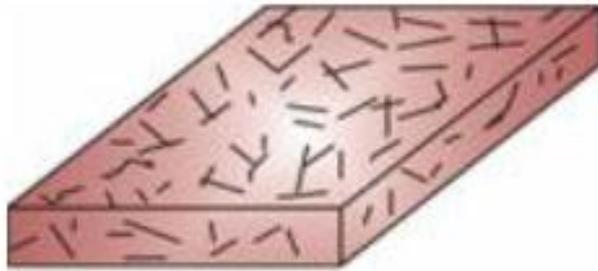
Gambar 2.2 *Continuous Fiber Composite* (Gibson, 1994)

b. *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman).



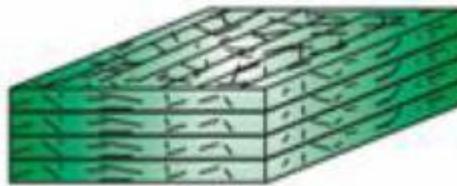
Gambar 2.3 *Woven Fiber Composite* (Gibson, 1994)

c. *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak).



Gambar 2.4 *Chopped Fiber Composite* (Gibson, 1994)

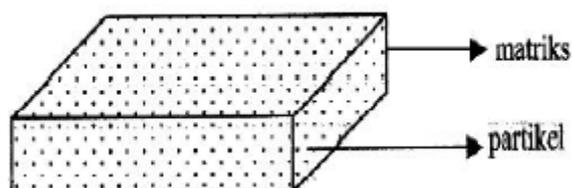
d. *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).



Gambar 2.5 *Hybrid Composite* (Gibson, 1994).

2. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Merupakan komposit penggunaanya partikel serbuk sebagai penguatnya dan bisa terdistribusi merata dalam matriknya.

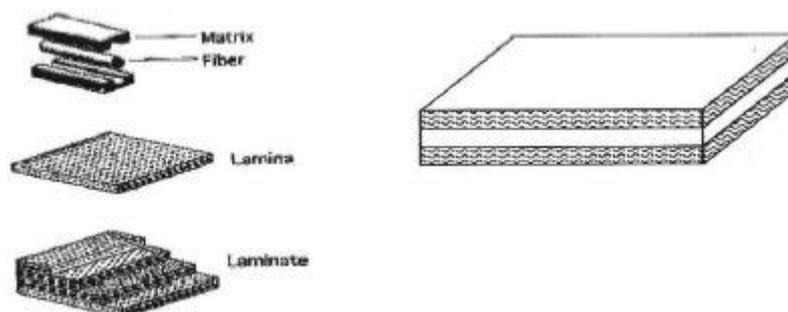


Gambar 2.6 *Particulate Composite* (Porwanto and Johar, 2011).

Komposit ini memiliki bahan penguat yang dimensinya kurang lebih bisa sama, seperti bulat serpih, balok, serta bentuk-bentuk lainnya yang memiliki sumbu hampir sama, yang kerap disebut partikel, dan bisa terbuat dari satu atau lebih material. Partikelnya bisa logam atau mungkin non logam, seperti matriks. Selain itu ada pula polimer yang mengandung partikel yang dimaksudkan memperbesar volume dari material dan bukan untuk kepentingan sebagai bahan penguat (Jones, 1975).

3. Komposit Lapis (*Laminates Composites*)

Merupakan jenis komposit terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.



Gambar 2.7 *Laminated Composites* (Porwanto and Johar, 2011)

Komposit ini terdiri dari bermacam-macam lapisan material dalam satu matriks. Bentuk nyata dari komposit lamina adalah (Jones, 1975).

- Bimetal

Bimetal merupakan lapisan dari dua logam yang mempunyai koefisien ekspansi thermal yang berbeda-beda. Bimetal akan melengkung dengan seiring berubahnya suhu sesuai perancangan, sehingga jenis ini cocok untuk alat ukur suhu.

- Pelapisan material logam

Pelapisan logam dilakukan untuk mendapatkan sifat terbaik dari keduanya.

- Kaca yang dilapisi

Konsep ini sama dengan pelapisan logam. tujuannya agar lebih tahan terhadap kondisi cuaca yang ada

- Komposit lapis serat

Komposit ini dibentuk dari komposit serat kemudian disusun berdasarkan orientasi serat. Komposit jenis ini biasa digunakan untuk panel sayap pesawat dan badan pesawat.

Umumnya material komposit dibagi ke tiga kelompok utama yaitu:

1. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composite – PMC*)

Bahan komposit yang sangat sering digunakan yang biasa

disebut dengan Polimer Berpenguat Serat (*FRP – Fiber Reinforced Polymers or Plastis*), bahan ini menggunakan suatu polimer yang sesuai berdasarkan dari resin yang digunakan sebagai matriksnya, contohnya seperti kaca, karbon dan aramid (*Kevlar*) yang digunakan sebagai suatu penguat/ material kompositnya.

2. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite – MMC*) material ini menggunakan logam seperti aluminium sebagai matrik dan penguatnya dengan serat seperti silikon karbida.

3. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composite – CMC*) Bahan ini menggunakan sebuah keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, bisa juga menggunakan serabut-serabut (*Whiskers*) dimana terbuat dari silikon karbida.

Umumnya material komposit mengandung serat, baik serat pendek maupun serat panjang dengan penggunaan dibungkus dengan matriks. Fungsi serat adalah menahan bahan yang diberikan, fungsi matriks adalah membungkus/melapisi serat sekaligus melindunginya dari kerusakan baik mekanis maupun secara kimia. Selain daripada itu matriks mendistribusikan beban kepada serat (Hadi, 2001).

Jenis-jenis serat dan contoh bahannya yang dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit secara umum yaitu :

1. Serat organik yaitu serat yang berasal dari makhluk hidup dan tumbuh-tumbuhan, serta dapat didaur ulang secara alami, contoh : sabut/ serabut kelapa, ijuk, dan sabut kelapa sawi. Dan berbagai serat yang dihasilkan oleh proses alami.
2. Serat anorganik merupakan serat yang sangat sukar untuk daur ulang secara alami, contoh : asbes, gelas, metal, dan keramik.

Serat organik dan anorganik umumnya digunakan dalam memperoleh bahan material komposit serat. Serat organik seperti *selulosa*, *propylene*, umumnya dikarakteristikan sebagai bahan yang ringan, dan elastik dan peka terhadap panas, sedangkan serat anorganik seperti keramik merupakan suatu serat yang paling tinggi kekuatannya dan serta tahan terhadap panas. Aplikasi dan pemakaian material komposit yang diperkuat dengan serat secara luas dipakai industri otomotif, industri kapal terbang, industri kapal laut, peralatan militer, dan industri perabotan rumah tangga. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan pesat dari material komposit, karena mempunyai beberapa sifat yang unggul, yaitu sebagai isolator yang baik dalam pemanfaatannya. Baik Ketahanannya terhadap air

maupun zat - zat kimia. Dengan demikian bahan material komposit tersebut tidak dapat terkorosi atau berkarat, serta anti rayap dan tahan terhadap kelembaban. Bahan komposit yang terbuat dari alam umumnya memiliki sifat ekonomis atau dengan kata lain berharga murah dan sangat menguntungkan. Maka dari itu bahan baku berbahan dasar komposit termasuk bahan yang ringan dan kuat. (Evi, 2008).

2.2.3 Sifat Komposit

Serat biasanya digunakan sebagai salah satu material rancang-bangun paling tua. *Jute*, *flax* dan *hemp* telah digunakan untuk menghasilkan produk seperti tali tambang, *cordage*, jaring, *water hose* dan container sejak dahulu kala. Serat tumbuhan di alam dan binatang masih sering digunakan untuk *felts*, kertas, sikat atau maupun kain tebal. Banyak penggunaan serat sintetis telah dikembangkan secara khusus untuk menggantikan serat alam, hal ini dikarena sifat serat sintetis sangat mudah diprediksi dan ukurannya yang lebih seragam. Untuk tujuan di bidang teknik, serat gelas, adalah yang paling banyak digunakan. Nilon digunakan untuk *belting*, *nets*, pipa karet, tali, parasut, *webbing*, kain balistik dan penguat dalam ban. Serat sebagai penguat dalam struktur komposit mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kekuatan (*Strength*), merupakan kemampuan suatu material dalam menahan suatu beban tanpa mengalami kepatahan.
2. Kekakuan (*Stiffness*) yaitu Banyak material yang kaku memiliki sebuah kepadatan yang rendah untuk menahan deformasi dari suatu pemasangan, gravitasi, dan vibrasi pada saat pengoperasiannya.
3. Ketahanan korosi (*Corrosion Resistance*) adlaah tidak cepat berkarat sehingga memiliki massa umur pakai yang panjang.
4. Ketahanan gesek/ aus (*Wear Resistance*).
5. Berat (*Weight*) yaitu berat material yang berat dapat diubah menjadi ringan tanpa pengurangan unsur-unsurnya.
6. Ketahanan lelah (*Fatigue Life*) merupakan fenomena terjadinya kerusakan material komposit karena pembebanan yang berulang. Apabila suatu logam dikenakan tegangan berulang, maka akan patah pada tegangan yang sangat jauh lebih rendah dibandingkan tegangan kebutuhan untuk menimbulkan perpatahan pada beban konstan.
7. Meningkatkan konduktivitas panas adalah menambah laju perambatan panas sebuah padatan dengan aliran panas yang mengalir dari temperatur tinggi maupun ke temperatur rendah. (Evi, 2008).

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Beberapa Serat.

<i>Fiber</i>	<i>Density</i> (g/cm ³)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Tensile strength</i> (Mpa)	<i>Modulus</i> (Gpa)
<i>Cotton</i>	1.5-1.6	7.0-8.0	287-597	5.5-12.6
<i>Jute</i>	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
<i>Flax</i>	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
<i>Hemp</i>	-	1.6	690	-
<i>Ramie</i>	-	3.6-3.8	400-938	61.4-128
<i>Sisal</i>	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
<i>Coir</i>	1.2	30.0	175	4.0-6.0
<i>Viscose</i>	-	11.4	593	11.0
<i>Soft wood</i>	1.5	-	1000	40.0
<i>E-glass</i>	2.5	2.5	2000-3500	70.0
<i>S-glass</i>	2.5	2.8	4570	86.0
<i>Aramide</i>	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63.0-67.0
<i>Carbon</i>	1.4	1.4-1.8	4000	230.0-240.0

(Sumber: Maryanti B et al. 2011).

2.2.4 Sifat Material Komposit

Kemajuan kini telah mendorong suatu peningkatan dalam permintaan bahan komposit. Perkembangan bidang sains teknologi yang tinggi sulit mendapatkan bahan konvensional

seperti logam dalam memenuhi keperluan sebuah industri dalam bidang perkapalan, otomotif dan industri pengangkutan.

Dalam kebanyakan bahan konvensional material komposit seperti *keluli* atau biasa disebut besi baja, walaupun kuat ia mempunyai density (kepadatan) yang tinggi dan rapuh. Maka dari itu diperlukan karakteristik material yang berdensitas rendah seperti komposit.

2.2.5 Kelebihan Material Komposit

Material komposit mempunyai berbagai macam kelebihan dibanding bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut jika ditinjau umumnya Seperti yang diuraikan dibawah ini :

1. Sifat-sifat mekanik dan fisik

Suatu pemilihan matriks dan serat punya peranan penting dalam penentuan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dalam material dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi.

2. Biaya

Faktor dalam biaya juga memainkan sebuah peranan yang sangat penting dalam perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan sangat erat dengan penghasilan suatu

produk yang dimana seharusnya memperhitungkan beberapa aspek adapun seperti biaya bahan pemrosesan, tenaga manusia, dan keperluan sebagainya.

2.2.6 Kekurangan Material Komposit

1. Hal yang paling umum tidak tahan terhadap suatu beban shock (kejut) maupun crash (tabrak) dibandingkan dengan metal.
2. Peggunannya kurang elastis
3. Sangat sulit dibentuk melalui secara plastis.
4. Secara umum material komposit tersebut itu sangat mahal
5. Proses pembuatan dan pembentukan suatu material komposit lambat juga mahal
6. Kebanyakan juga komposit berbasis polimer yang menjadi subjek bahan kimia atau menggunakan bahan pelarut dalam penggunaannya.

2.2.7 Kegunaan Material Komposit

Peggunaan material komposit sangat luas, yaitu untuk :

1. Bidang Kedirgantaraan dan angkasa luar : misalkan seperti komponen-komponen kapal terbang, Komponen-komponen Helikopter, dan komponen-komponen satelit di luar angkasa.

2. Bidang Kesehatan : Kaki palsu, Sambungan sendi pada pinggang.
3. Bidang Industri Pertahanan : Komponen jet tempur, Komponen kapal selam.
4. Industri Konstruksi : Jembatan, Terowongan, Bangunan – bangunan Rumah
5. Olah raga dan rekreasi : Sepeda, *Stick golf*, Raket tenis, Sepatu olah raga.
6. Automobile : Komponen mesin, Komponen kereta.

2.3 Polimer Sebagai Matrik

Matriks adalah material yang digunakan sebagai bahan pengikat, maupun bahan pengisi namun tidak mengalami reaksi kimia.

Secara umum, matriks berfungsi sebagai :

1. Pelindung komposit dari kerusakan, baik secara kerusakan mekanis maupun kimia.
2. Dapat mentransferkan beban dari luar ke dalam bahan pengisi.
3. Untuk mengikat bahan material pengisi.

Secara umum, matriks dapat diklasifikasikan atas 4 jenis yaitu :

- a. *Termoplastik*, suatu matriks dikatakan *termoplastik* apabila matriks tersebut dapat menjadi lunak kembali apabila dipanaskan dan mengeras kembali apabila didinginkan. Hal ini

disebabkan karena molekul matriks tidak saling mengikat sehingga bahan tersebut dapat didaur ulang kembali.

- b. *Termoset*, suatu matriks dikatakan *termoset* apabila matriks tersebut tidak dapat didaur ulang kembali bila dipanaskan. Hal ini disebabkan molekul matriks saling mengikat, sehingga bila matriks telah mengeras tidak dapat lagi dilunakan.
- c. *Elastomer*, merupakan jenis polimer dengan elastisitas tinggi.
- d. Polimer Natural seperti selulosa dan protein dimana bahan dasar yang terbuat dari tumbuhan dan hewan.

Resin adalah polimer yang digunakan dalam komposit sebagai matriks, yang mempunyai fungsi sebagai pengikat, dan juga sebagai pelindung struktur material komposit, memberi kekuatan pada komposit dan bertindak sebagai media transfer tegangan yang diterima oleh komposit serta melindungi serat dari abrasi dan korosi.

Resin *thermoset* adalah tipe system matrik yang paling umum dipakai sebagai material komposit. Resin ini menjadi populer dan sangat sering penggunaannya pada penggunaan industri. Dalam komposit ini (*Resin termoset*) mempunyai kekuatan leleh yang cukup rendah, serta kemampuan dalam interaksi dengan serat yang bagus dan membutuhkan suhu kerja yang relatif rendah. Selain itu juga mempunyai harga yang lebih rendah dan ekonomis daripada resin thermoplastis yang digunakan pada umumnya. (Michael, 1998).

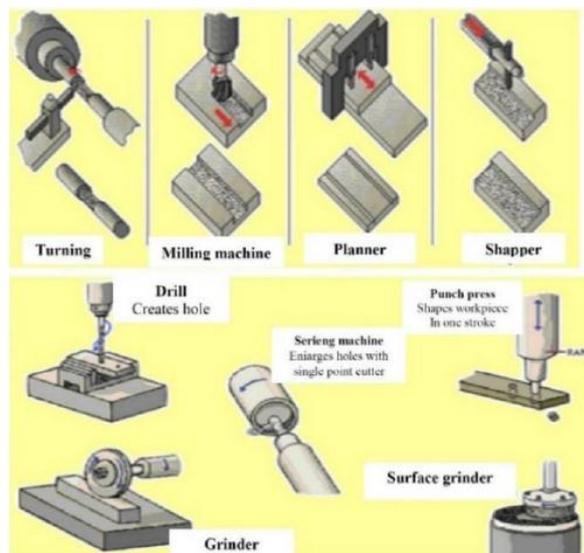
2.4 Pemesinan

Pemesinan merupakan salah satu dari proses produksi yang dalam prosesnya menggunakan mesin perkakas dan memanfaatkan gerakan relatif antara sebuah pahat dan benda kerja yang bertujuan untuk membuang sebagian atau beberapa material yang tidak diperlukan dari benda kerja. Material yang dibuang ini yang biasanya dinamakan dengan *chip*, sehingga dengan dibuangnya sebagian dari material akan menghasilkan bentuk yang diinginkan (Widarto, 2008). Dalam membuang sebagian material yang tidak diperlukan maka dalam suatu benda kerja diperlukan alat perkakas yang sangat tepat. Dalam proses pemesinan ini, alat perkakas tersebut yang digunakan haruslah bersifat tajam dan presisi karena berfungsi dalam membuang material yang tidak diperlukan dengan menyayat benda kerja (Kalpakjian dan Schmid, 2001).

Proses pemesinan dibedakan atas dua macam jenis yakni, pertama proses pemesinan untuk membentuk suatu benda kerja yang memiliki suatu permukaan yang datar tanpa memutar/ menggerakkan benda kerja saat proses permesinan dan yang kedua adalah suatu proses pemesinan untuk membentuk suatu benda kerja yang silindris serta memutar benda kerja.

Adapun dari beberapa contoh pemesinan yang dilakukan dan salah satu contoh pertama yaitu proses permesinan sekrup

(*shaping*), gurdi (*drilling*), frais (*milling*), proses slot (*slotting*), proses menggergaji (*sawing*) dan proses pemesian roda gigi (*gear cutting*). Sedangkan contoh sebuah proses pemesian yang kedua yaitu dalam proses bubut dan berbagai macam-macam proses permesinan yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dalam suatu permesinan yang dilakukan (*turning* atau *lathe*) (Widarto, 2008).



Gambar 2.9 Macam-macam proses pemesian: Bubut (*turning* atau *lathe*), frais (*milling*), sekrap (*planning, shaping*), gurdi (*drilling*), gerinda (*grinding*), bor (*boring*), pelubang (*punching press*) dan gerinda permukaan (*surface grinding*) (Sumber: Purnomo, 2017).

2.4.1 Pemesian Komposit CFRP

Meskipun fabrikasi komposit *CFRP* menghasilkan produk yang memiliki keuntungan yang baik, berbagai operasi pemesian termasuk pemangkasan tepi, pengeboran, penggilingan, penggergajian, pemfraisan. Seringkali masih

diperlukan untuk memenuhi persyaratan kualitas bagian / dimensi dan kebutuhan perakitan (Singh, Bhatnagar, and Viswanath 2008). Pemesinan konvensional komposit *CFRP* membutuhkan alat dengan tepi yang tajam untuk memotong / mengikis serat abrasif secara efektif, sementara parameter operasi yang relatif rendah ditentukan untuk mencapai kualitas permukaan yang lebih baik dan membatasi suhu pemotongan (Ahmad J., 2009). Kinerja pemesinan saat memotong *CFRP* tergantung pada spesifikasi komposit termasuk properti serat dan matriks, orientasi serat, jenis kondisi tenunan, selain pemilihan parameter pemotongan yang tepat dan material alat / geometri.

Permesinan pada sebuah komposit berbeda dari bahan konvensional lainnya dan paduannya dalam banyak aspek seperti pembentukan chip, persyaratan alat pemotong dan parameter operasi (Mkaddem, Demirci, and Mansori 2008). Hal ini terutama disebabkan oleh sifat komposit non-homogen dan anisotropik serta sifat mekanik dan termal yang berbeda dari penguatan dan matriks. Misalnya, koefisien ekspansi termal yang berbeda dari serat dan matriks material dalam komposit *CFRP* dapat menyebabkan tekanan termal menyebabkan deformasi dengan kemungkinan kerusakan bagian. Pemisahan lapisan permukaan/ delaminasi juga dapat terjadi karena kekuatan

interlaminare rendah dan gaya pemotongan tinggi. Namun kekuatan yang merusak tersebut dapat dikurangi/ diminimalkan melalui pemilihan yang tepat dari alat geometri/ material dan parameter/ kondisi pemotongan (Ahmad, J. 2009).

2.5 Mesin CNC

Computer numerical control (CNC) adalah bagian proses permesin produksi dikendalikan dan dialokasikan oleh pengendali terkomputerisasi. Kontroler menggunakan motor untuk menggerakkan setiap sumbu alat mesin dan benar-benar mengatur arah, kecepatan, dan lamanya motor berputar. Jalur terprogram dimasukkan ke komputer mesin oleh operator dan kemudian dieksekusi. Program ini terdiri dari data titik numerik bersamaan dengan perintah kontrol dan kode fungsi mesin khusus. Kontrol numerik (*NC*) adalah istilah asli yang diberikan untuk teknologi ini dan masih sering digunakan secara bergantian dengan *CNC*.

Teknologi *NC* telah menjadi salah satu perkembangan utama manufaktur dalam 50 tahun terakhir. Ini tidak hanya menghasilkan pengembangan teknik baru dan pencapaian tingkat produksi yang lebih tinggi, namun juga membantu meningkatkan kualitas produk dan menstabilkan biaya produksi.

2.5.1 Mesin CNC Milling

Mesin *CNC Milling* adalah mesin *Milling* dimana jalur pemotong dikendalikan oleh data alfanumerik dan bukan tempelan fisik. Mesin *CNC Milling* selalu menjadi salah satu alat mesin paling serbaguna yang digunakan di industri. Operasi seperti *Milling*, kontur, pembuatan *gear*, pengeboran, *drilling*, dan *reaming* hanyalah beberapa dari sekian banyak operasi yang dapat dilakukan pada mesin *CNC Milling*. Mesin *CNC Milling* dapat diprogram pada tiga sumbu:

- ❖ Sumbu X mengontrol gerakan meja ke kiri atau ke kanan.
- ❖ Sumbu Y mengontrol gerakan meja ke arah atau menjauh dari kolom.
- ❖ Sumbu Z mengontrol gerakan vertikal (atas atau bawah) lutut atau poros.

Proses *Milling* melibatkan penggunaan tool berputar untuk mengeluarkan material dari benda kerja. Gerakan kontrol satu atau beberapa sumbu dapat menghasilkan pola atau profil dua dimensi sederhana, atau bentuk tiga dimensi yang kompleks. Sehingga kemampuan proses mesin *Milling* sangat baik .(Bawa, 2004).

2.6. Parameter Pemotongan Pada Milling

Kecepatan spindel dapat diketahui dengan menggunakan

rumus :

$$n = \frac{V_c}{\pi D} \times 1000 \quad (2.1)$$

Dimana : n = kecepatan spindle (rpm), vc = kecepatan potong (m/menit), dan D = diameter (mm) pahat frais. Dari kecepatan spindle dapat juga kita ketahui kecepatan potong pada permesinan yaitu :

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2.2)$$

Dimana V_c = Kecepatan potong (m/menit), D = Diameter pahat (mm), n = putaran spindle (rpm).

Feeding (Pemakanan) dapat dinyatakan sebagai rasio gerak benda kerja terhadap gerak putar pisau frais. Dalam menentukan *feeding* (F), faktor yang harus diperhatikan adalah:

- Kedalaman pemakanan
- Tipe pisau frais
- Bentuk pisau frais
- Material benda kerja
- Kekuatan dan keseragaman benda kerja
- Tipe permukaan finishing yang diharapkan

Untuk menghitung gerak makan per gigi (*Feed per tooth*) dapat menggunakan rumus:

$$f = \frac{F}{n \cdot z} \quad (2.3)$$

Dimana f = *feed per tooth* (mm/gigi); n = kecepatan spindle (rpm); z = jumlah gigi pada alat potong (mata sayat); Dan F = *Feed rate* (mm/menit) Dari hasil (f) dimana dapat kita ketahui feed rate pada permesinan yaitu :

$$F = n \times f \times z \quad (2.4)$$

Keterangan :

F = *Feed rate* (mm/min)

n = Putaran Spindel (rpm)

f = *feed per tooth* (mm/tooth)

z = Jumlah gigi pahat frais

2.6.1 *Milling Cutter*

Mesin *Milling* sebagian besar memiliki berbagai macam aplikasi yang membutuhkan berbagai jenis dan ukuran *Milling cutter*. Pemotongan yang bersifat *Intermiten cutting* dan biasanya memiliki geometri yang kompleks yang memerlukan cutter yang terbuat kebanyakan oleh HSS, yang unik untuk kekuatan tarik tinggi dan kekuatan pecah melintang, ketangguhan dari sifat patah dan sifat mampu dalam hal penempaan, *rolling*, pengelasan, perlakuan panas, dan grinding. Karbida juga digunakan tanpa atau dengan pelapis, jika memungkinkan, untuk produktivitas dan kualitas produk yang tinggi (Bawa, 2004) *Milling cutters* diklasifikasikan sebagai :

Milling Cutters diklasifikasikan sebagai:

1. Profil cutter yang diasah - di mana geometri permukaan mesin tidak terkait dengan bentuk alat, yaitu;
 - *Slab or plain Milling cutter* : untuk pengerjaan Bergigi lurus atau heliks

- *Side Milling cutters*: Untuk pengerjaan Satu sisi atau kedua sisi
- *Slotting cutter*
- *Slitting or parting tools*
- *End Milling cutters* – untuk pengerjaan lurus dan *tapper shank*
- *Face Milling cutters*

2. Bentuk pemotong bebas - di mana profil pekerjaan menjadi replika bentuk alat

- *Form cutters*
- *Gear (teeth) Milling cutters*
- *Spline shaft cutters*
- *Tool form cutters*
- *T-slot cutters*
- *Thread Milling cutter*

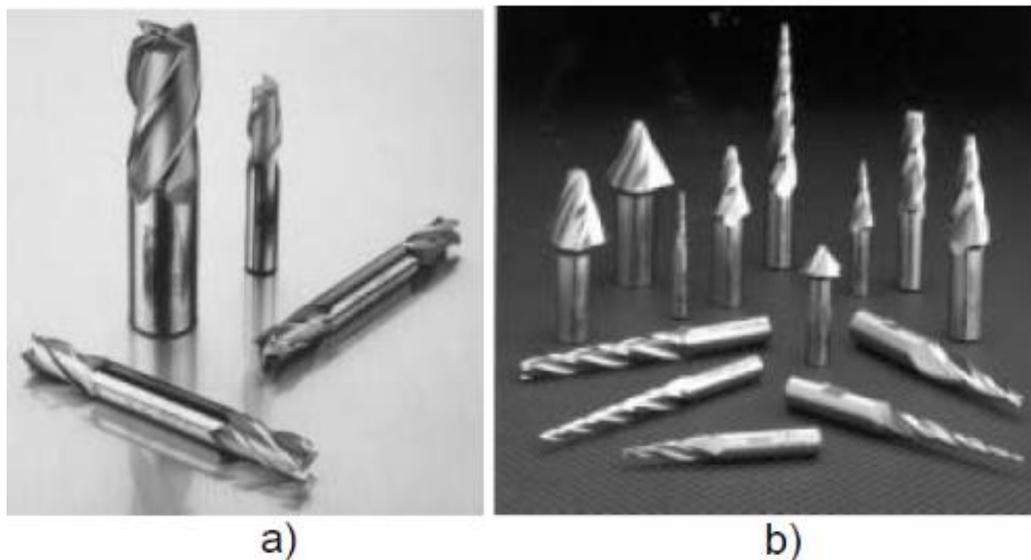
2.6.2 Endmill Cutters

Endmills dapat digunakan pada mesin *Milling vertikal, horizontal* dan mesin *CNC*, digunakan untuk berbagai operasi yang dihadapi, *slotting*, dan *profiling*. *Solid Endmills* terbuat dari baja kecepatan tinggi atau karbida sinter. Jenis lainnya, seperti *shell Endmills* dan *fly cutters*, terdiri dari alat pemotong yang diautangkan atau diikat ke adaptor.

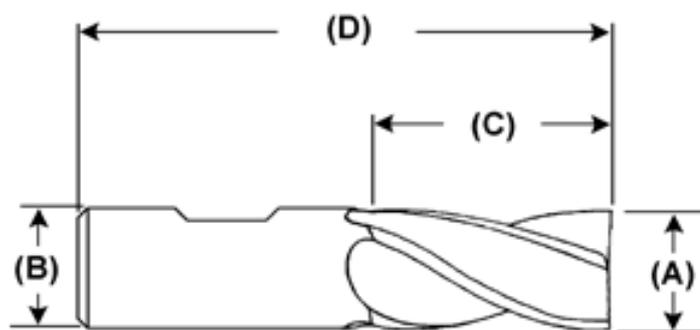
2.6.3 Solid Endmills

Solid endmill Memiliki dua, tiga, empat, atau lebih *flute* (mata sayat) dan ujung pemotongan di ujung dan pinggiran. *Endmills* bisa berupa *stub*

type, dengan *flute* pendek, atau tipe ekstra panjang untuk mencapai rongga dalam. Pada *Endmills* yang dirancang khusus untuk pemotongan aluminium yang efektif, pada sudut heliks diperlukan penyesuaian untuk meningkatkan tindakan geser dan pemindahan *chip*, dan *flute* bisa dipoles. Berbagai *Endmills* tunggal dan ganda ditunjukkan pada Gambar 2.11 (a). Berbagai *Endmills* ditunjukkan pada Gambar 2.11(b)



Gambar 2.11 *End Mill* tunggal dan ganda, serta *Tapered End Mill* (Schneider, 2002).



Gambar 2.12 Desain *Cutter End Mill* (Nugroho, Saputro and Estriyanto, 2012)

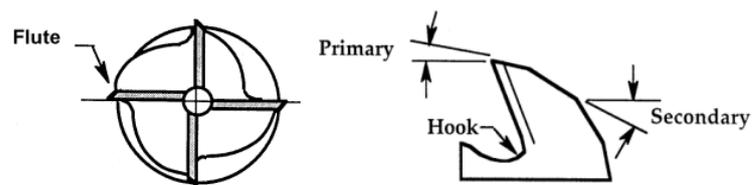
Keterangan :

A : ukuran diameter pemotongan

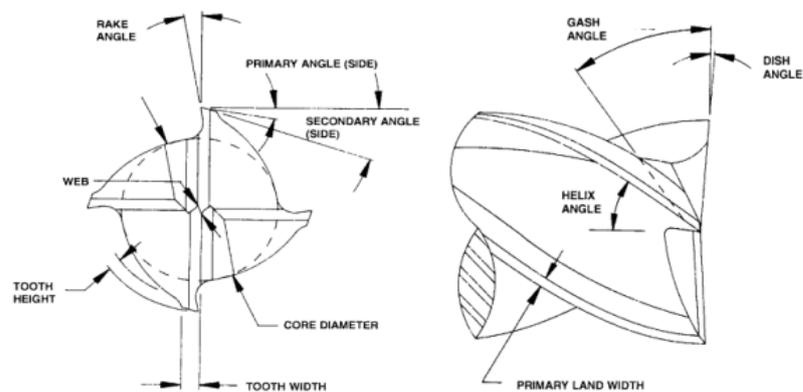
B : diameter batang *cutter*

C : panjang sisi potong atau panjang *flute*

D : panjang keseluruhan



Gambar 2.13 Desain Sisi Potong *Cutter End Mill*
(Nugroho, Saputro and Estriyanto, 2012)



Gambar 2.14 Geometri Sisi Potong *Cutter End Mill*
(Nugroho, Saputro and Estriyanto, 2012)

2.7 Kekasaran Permukaan

Setiap sebuah permukaan benda kerja yang dalam pengerjaannya mengalami berbagai proses pemesinan yang akan mengalami fenomena kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan ini adalah sebuah ketidakraturan dalam konfigurasi penyimpangan rata-rata aritmetik dari suatu garis rata-rata permukaan yang dimana

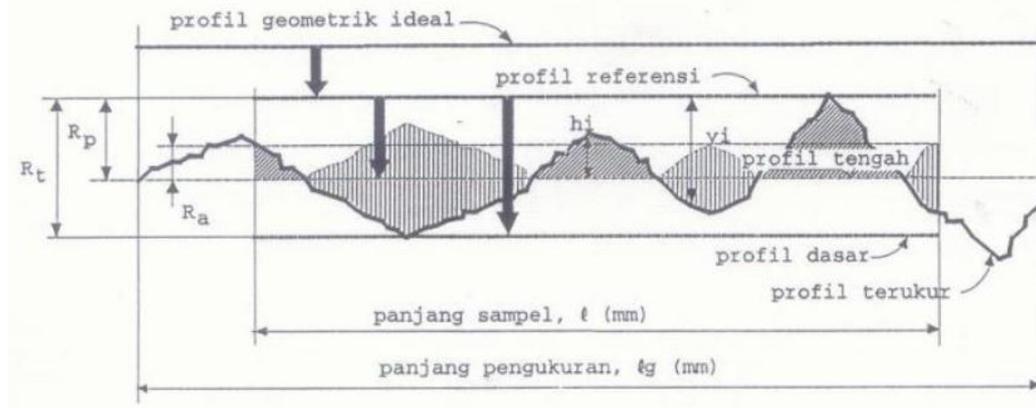
nantinya akan terlihat pada sebuah profil permukaan benda tersebut. Kekasaran permukaan dapat juga dinyatakan dalam sebuah jarak rata-rata dari profil ke dalam garis tengah diantara puncak tertinggi garis dan lembah terdalam dari suatu permukaan yang dalam proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin.

Pada permukaan suatu benda kerja pastinya akan memiliki suatu nilai kekasaran tertentu pada permukaan yang berbeda-beda, untuk itu sesuai dengan kualitas proses permesinan dan parameter yang dimilikinya. Suatu nilai kekasaran pada sebuah permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda-beda pula, Nilai kualitas kekasaran permukaan itu diklasifikasikan dalam *ISO* dimana yang terkecil adalah *N1* yang memiliki nilai kekasaran permukaan (R_a) 0,025 um dan yang paling tinggi *N12* yang nilai kekasarannya 50 um (Choirul, 2014).

2.7.1 Permukaan Dan Parameter-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 (Choirul,2014).



Gambar 2.15 Bentuk profil kekasaran permukaan (Sumber: Hadimi, 2008)

Berdasarkan Gambar yang diperlihatkan diatas dapat kita defenisikan ada beberapa parameter permukaan yang berhubungan dalam dimensi pada arah tegak dan melintang. Untuk arah tegak disebut dengan beberapa parameter antara lain:

1. Kekasaan total R_t (μm) merupakan jarak antara profil referensi dan profil alas.
2. Kekasaran peralatan R_p (μm) merupakan jarak rata-rata profil benda referensi dengan profil tertukar.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) merupakan harga rata-rata dari aitmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

Pada Gambar juga ditunjukkan bagaimana bentuk sebuah profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain, seperti :

1. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*) adalah suatu garis permukaan sempurna dapat berupa garis lurus, garis lingkaran dan garis lengkung.
2. Profil Referensi / Puncak (*Reference Profile*) adalah garis puncak tertinggi dari suatu profil terukur dari panjang sampel yang diambil dalam pengukuran. Profil ini, digunakan sebagai dasar dalam menentukan atau menganalisis karakteristik ketidakteraturan bentuk dari suatu permukaan benda.
3. Profil Terukur (*Measured Profile*) merupakan garis permukaan yang terukur. Profil ini yang dijadikan sebagai data dalam menganalisis karakteristik kekasaran permukaan pada produk pemesinan.
4. Profile Dasar/ Alas (*Root Profile*) merupakan profil referensi yang digeserkan ke bawah sehingga tepat pada titik terendah dalam profil terukur.
5. Profile Tengah (*Centre Profile*) merupakan profil yang berada ditengah tengah antara dalm puncak tertinggi dan lembah terdalam dari material yang diukur.

2.7.2 Toleransi Harga Ra

Seperti halnya dalam toleransi ukuran (lubang dan poros), suatu harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai toleransi khusus kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dimana nilai kekasarannya dari N1 sampai N 12. Besarnya toleransi Ra biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah.

Tabel 2.2 Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra
(Andri Mardiansyah. 2014)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi	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	
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	0.25
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	
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	0.8
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	2.5
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

Toleransi harga kekasaran rata-rata, atau biasa disebut Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil yang didapat dari penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentulah lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya (Paridawati, 2015).

Tabel 2.3 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya. (Andri Mardiansyah. 2014)

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping,</i>	N1 – N4	0.025 – 0.2
<i>Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N6	0.025 – 0.8
<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1 – N8	0.025 – 3.2
<i>Finishing</i>	N4 – N8	0.1 – 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5 – N12	0.4 – 50.0
<i>Drilling</i>	N7 – N10	1.6 – 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	N6 – N12	0.8 – 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	N10 – N11	12.5 – 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6 – N8	0.8 – 3.2
<i>Die casting</i>	N6 – N7	0.8 – 1.6

2.8 Penyimpangan

Penyimpangan adalah kondisi suatu permukaan dengan penampang berbentuk sebuah lingkaran (silinder, konis dan bola), dimana pada semua titik-titik dari permukaan yang dipotong oleh sebuah bidang apapun tegak lurus terhadap sumbu (silinder dan konis) atau melalui pusat yang memiliki jarak yang sama dari titik pusat.

Toleransi penyimpangan ditunjukkan daerah toleransi yang dibatasi dalam dua lingkaran konsentris, dimana setiap elemen dari lingkaran harus berada pada bagian-bagian tersebut.

Toleransi lubang

Definisi dari toleransi ukuran merupakan dua batas penyimpangan yang diijinkan dalam setiap ukuran elemen. Toleransi

memegang suatu peranan yang vital dalam proses produksi dikarenakan sulitnya membuat suatu alat atau kata lain benda sesuai dengan ukuran yang tepat, karena menyangkut ketelitian dalam proses pengerjaannya.

Toleransi Standar (Toleransi Internasional//IT)

Dalam suatu besarnya toleransi ditentukan dalam *ISO /R286* (sistem *ISO* untuk limit dan suaian) agar sesuai dengan persyaratan fungsional dan untuk keseragaman. *ISO* menetapkan 16 toleransi standar, yakni mulai dari *IT 01*, *IT 0*, *IT 1*, *IT 2*, sampai dengan *IT 16*

Secara garis besar, gambaran secara umum dari hubungan antara pengelompokan kualitas toleransi ini dengan proses pengerjaannya adalah :

1. Kualitas 1 – 4 adalah untuk pengerjaan yang sangat teliti. Misalnya pembuatan alat ukur, instrumen optik, dan lain-lain.
2. Kualitas 5 – 11 untuk proses pengerjaan dengan permesinan biasa.
3. Kualitas 12 – 16 untuk proses pengerjaan yang kasar, seperti pengecoran, penempaan, pengerolan, dan sebagainya

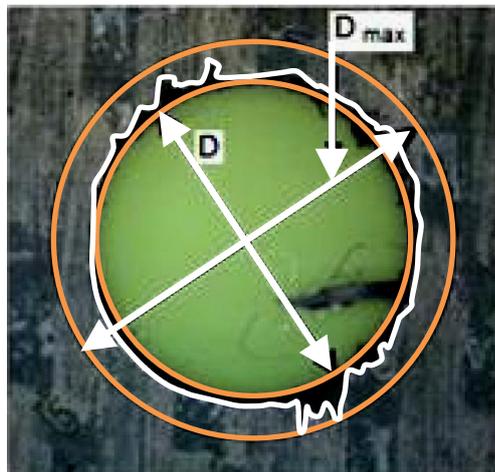
2.9 Delaminasi

Di antara semua cacat, delaminasi adalah perhatian utama dalam pengeboran *CFRP*. Jin *et al.* (2008) menjelaskan delaminasi

sebagai fenomena yang disebabkan oleh pemisahan ikatan antara lapisan serat karena gaya potong yang lebih besar. Delaminasi yang disebabkan pengeboran terjadi baik saat masuk dan keluar dari benda kerja. Ketika gaya dorong yang sebenarnya melampaui nilai ambang, delaminasi terjadi (Tsao dan Hocheng, 2007b; Tsao, 2008b).

2.9.1 Faktor Delaminasi (F_d)

Faktor delaminasi (F_d) telah banyak digunakan dalam mengkarakterisasi tingkat kerusakan pada benda kerja pada lubang masuk dan keluar dari pengeboran. Gambar di bawah menunjukkan skema visualisasi delaminasi. Faktor delaminasi (F_d) dapat dihitung (D) (Davim dan Reis, 2003b; Tsao dan Hocheng, 2004): $F_d = \frac{D_{max}}{D}$ (2.6)

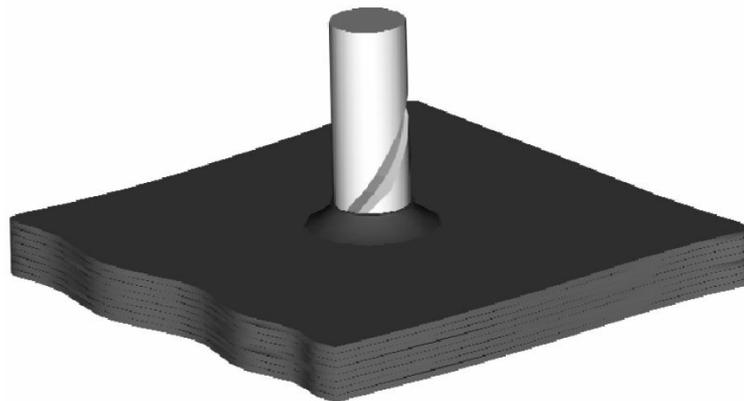


Gambar 2.16 Skema Pengukuran Faktor Delaminasi (F_d)
(Rajakumar, I. P. T. *et. al*, 2012)

2.9.2 Delaminasi Masuknya Mata Bor (*Entry Side*)

Mekanisme yang berperan dalam delaminasi pada masuknya mata bor disebut sebagai delaminasi *peel - up*. Ujung

mata bor pertama kali akan mengikis laminasi bagian atas material pada awalnya. Setelah itu, dengan Bergeraknya mata sayat yang terus memakan material komposit cenderung menarik material komposit yang terkikis menjauh sepanjang alur (*flute*). Kemudian pada bagian mata bor atau pahat mulai berputar terus hingga masuk pada sebuah lubang pengeboran material komposit *CFRP* sebelum menembus material. Tindakan ini memperlihatkan sebuah gaya pengelupasan pada pemisahan laminasi (*laminates*) dari bagian yang dipotong yang dipengaruhi oleh gaya dorong dari pahat frais, dan seperti yang akan ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

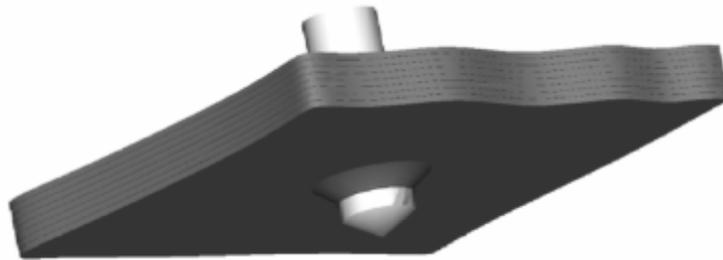


Gambar 2.17 Delaminasi pada saat masuknya mata bor (Rajakumar, I. P. T. *et. al*, 2012)

Faktor delaminasi (F_d) pada pengeboran awal akan bertambah seiring dengan laju pemakanan dan kecepatan potong material. Tingkat pemakanan memiliki pengaruh yang lebih besar pada delaminasi pada lubang masuk pada material *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

2.9.3 Delaminasi Saat Tertembus Mata Bor (*Exit Side*)

Delaminasi pada saat tertembus mata bor lebih banyak daripada delaminasi pada saat masuknya mata bor. Delaminasi pada saat tertembus dari lubang material berkurang dengan meningkatnya kecepatan spindle dan penurunan laju pemakanan. Oleh karena itu, turunnya laju pemakanan, akan semakin baik terhadap kualitas lubang saat tertembus. Tingkat pemakanan memiliki pengaruh yang lebih signifikan pada delaminasi daripada kecepatan spindle untuk semua perlakuan pada material *CFRP*.



Gambar 2.19 Delaminasi Saat Tertembus Mata Bor
(Rajakumar, I. P. T. et. al, 2012)

2.10 Metode Taguchi

Metode taguchi digunakan untuk mengetahui nilai optimal suatu variabel, metode taguchi pertama kali dipekenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949. Metode Taguchi dapat memberi informasi yang lengkap faktor yang berpengaruh terhadap semua parameter variabel yang diberikan. Metode Taguchi hasil simulasi diberikan dalam bentuk *S/N (signal to noise)*. Dalam metode

taguchi ada tiga tahap yang kategori karakteristik yang digunakan yaitu :

Karakteristik *nominal is the best* :

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{S_y^2}$$

Karakteristik *smaller the better* :

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum y^2 \right)$$

Karakteristik *larger the better* :

$$\frac{S}{N} = -\log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y^2} \right)$$

Untuk menganalisis penyimpangan, delaminasi dan kekasaran karakteristik yang digunakan adalah *smaller the better*.