

OPTIMASI PARAMETER PROSES MILLING PLAT DWIKUTUB

SKRIPSI

OLEH :

**ALFA RIDIC VALENTINO TAMBUNAN
198130031**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)6/8/25

HALAMAN JUDUL

OPTIMASI PARAMETER PROSES *MILLING* PLAT DWIKUTUB

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Medan Area

Oleh:

ALFA RIDIC VALENTINO TAMBUNAN
198130031

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

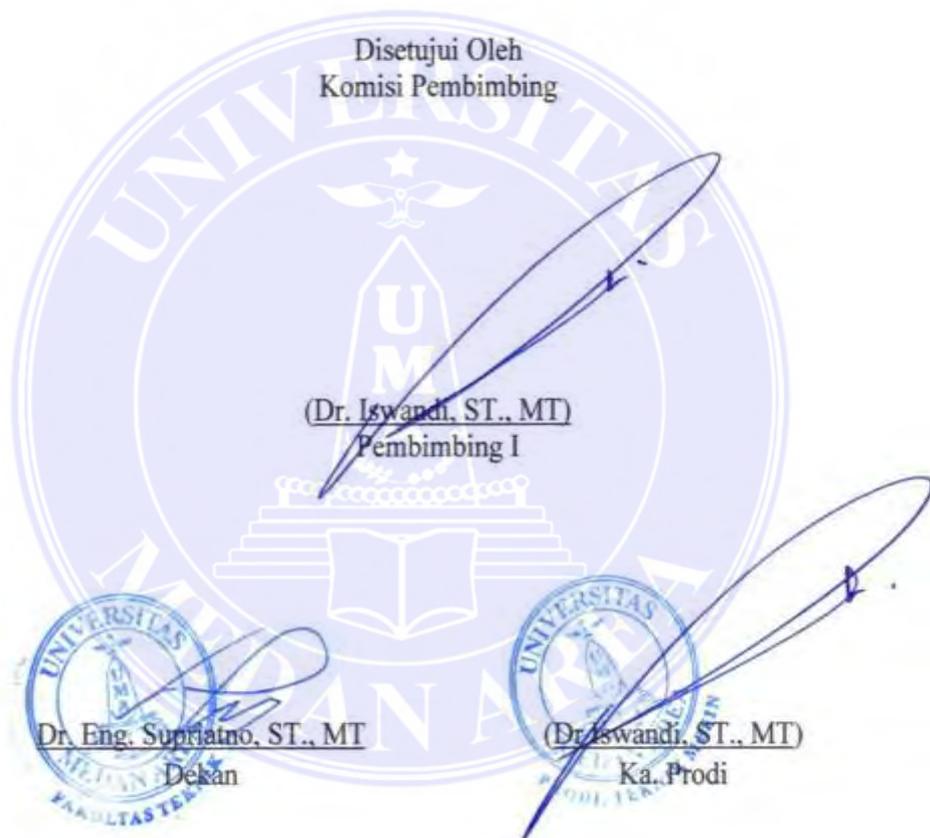
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 6/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)6/8/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Optimasi Parameter Proses Milling Plat Dwikutub
Nama Mahasiswa : Alfa Ridic Valentino Tambunan
NIM : 198130031
Fakultas : Teknik



Tanggal Lulus: 21 Maret 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 7 Mei 2025



Alfa Ridic Valentino Tambunan

198130031

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alfa Ridic Valentino Tambunan
NPM : 198130031
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Optimasi Parameter Proses *Milling* Plat Dwikutub, beserta Perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagainya sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 7 Mei 2025

Yang menyatakan



(Alfa Ridic Valentino Tambunan)

ABSTRAK

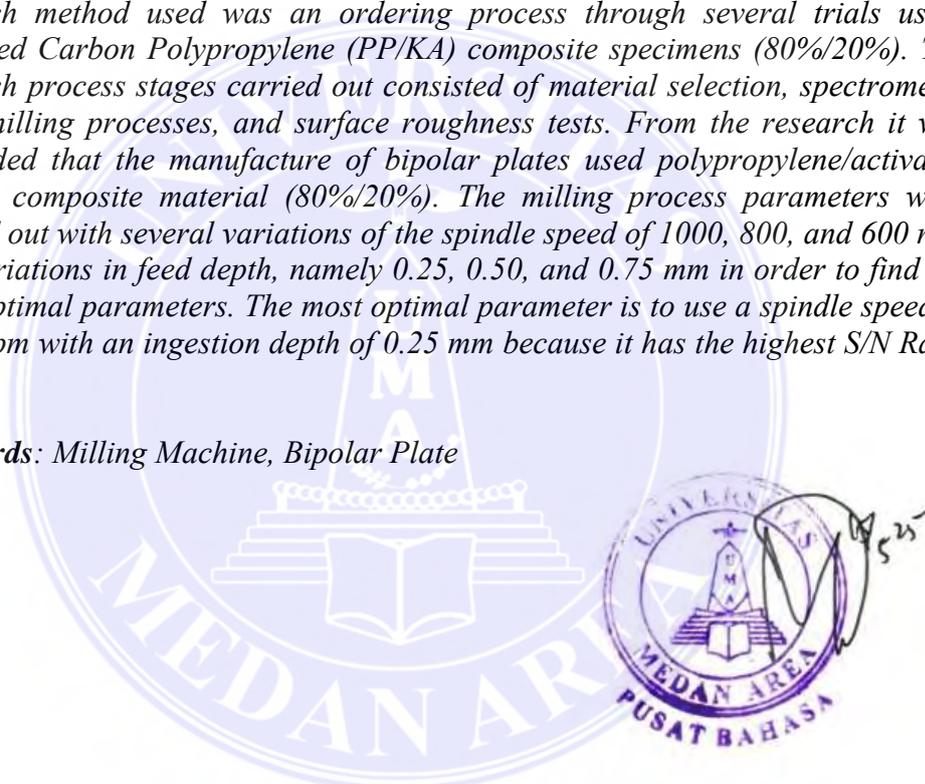
Plat Dwikutub merupakan komponen yang berperan sebagai media konduktif antara anoda dan katoda, sebagai struktur rangka padat dari *fuel cell*, sebagai media terjadinya reaksi kimia dan sebagai media perpindahan panas pada *fuel cell*. *Fuel cell* menjadi salah satu sumber energi alternatif yang banyak dikembangkan karena karakteristiknya yang efisien dan rendah emisi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat plat dwikutub menggunakan bahan komposit polipropilena/karbon aktif (PP/KA), menganalisis parameter proses terhadap laju penghilangan material pada plat dwikutub dan mengidentifikasi parameter paling optimal berdasarkan tingkat kekasaran permukaan pada plat dwikutub hasil proses milling. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan proses pemesanan melalui beberapa uji coba menggunakan spesimen komposit Polipropilena Karbon Aktif (PP/KA) (80%/20%). Adapun tahapan proses penelitian yang dilakukan terdiri dari pemilihan material, uji spektrometri, proses *milling*, dan uji kekasaran permukaan. Dari penelitian didapatkan disimpulkan bahwa Pembuatan plat dwikutub menggunakan bahan komposit polipropilena/karbon aktif (80%/20%). Parameter proses milling dilakukan dengan beberapa variasi kecepatan spindel 1000, 800, dan 600 rpm dan variasi kedalaman pemakanan yaitu 0,25, 0,50, dan 0,75 mm guna mencari parameter paling optimal. Parameter yang paling optimal adalah menggunakan kecepatan spindel 1000 rpm dengan kedalaman pemakanan 0,25 mm karena memiliki nilai S/N Ratio tertinggi.

Kata Kunci: Mesin *Milling*, Plat Dwikutub

ABSTRACT

Bipolar plate is a component that acts as a conductive medium between the anode and cathode, as a solid frame structure of the fuel cell, as a medium for chemical reactions and as a heat transfer medium in the fuel cell. Fuel cells are one of the many alternative energy sources developed because of its efficient and low emission characteristics. This research was carried out with the aim of making a dipole plate using a polypropylene/activated carbon (PP/KA) composite material, analyzing process parameters regarding the rate of material removal on the dipole plate and identifying the most optimal parameters based on the level of surface roughness on the dipole plate resulting from the milling process. The research method used was an ordering process through several trials using Activated Carbon Polypropylene (PP/KA) composite specimens (80%/20%). The research process stages carried out consisted of material selection, spectrometry tests, milling processes, and surface roughness tests. From the research it was concluded that the manufacture of bipolar plates used polypropylene/activated carbon composite material (80%/20%). The milling process parameters were carried out with several variations of the spindle speed of 1000, 800, and 600 rpm and variations in feed depth, namely 0.25, 0.50, and 0.75 mm in order to find the most optimal parameters. The most optimal parameter is to use a spindle speed of 1000 rpm with an ingestion depth of 0.25 mm because it has the highest S/N Ratio value.

Keywords: Milling Machine, Bipolar Plate



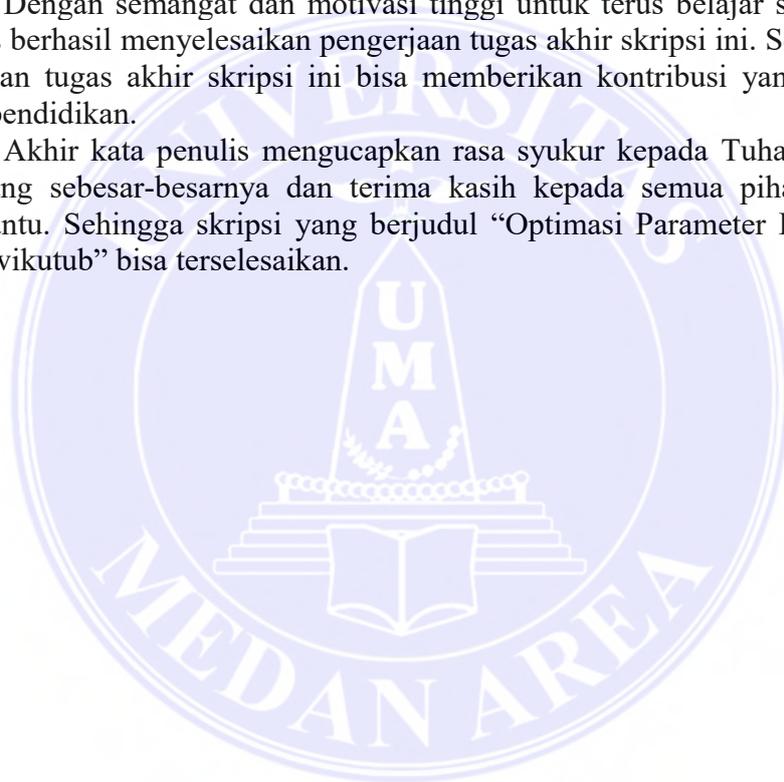
RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Marindal pada tanggal 20 Februari 2000 dari ayah T. Tambunan dan ibu S. Hutajulu. Penulis merupakan anak ke 4 (empat) dari 5 (lima) bersaudara.

Pada tahun 2006 penulis memulai pendidikan formal di SD 104211 Marindal. Selanjutnya pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 22 Medan. Kemudian pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan di Smk Parulian 3 Medan dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesain Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dengan semangat dan motivasi tinggi untuk terus belajar serta berusaha. Penulis berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir skripsi ini bisa memberikan kontribusi yang positif bagi dunia pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang sebesar-besarnya dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Sehingga skripsi yang berjudul “Optimasi Parameter Proses *Milling* Plat Dwikutub” bisa terselesaikan.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah “Optimasi Parameter Proses *Milling* Plat Dwikutub”.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng, M.Sc., selaku rektor Universitas Medan Area. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T, selaku Dekan fakultas teknik Universitas Medan Area. Bapak Dr. Iswandi, ST, MT, selaku selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area sekaligus Dosen pembimbing Penulis yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing Penulis dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga berterimakasih kepada Bapak T. Tambunan dan Ibu S. Hutajulu selaku Orang Tua Penulis beserta Keluarga yang telah banyak memberikan motivasi, dukungan dan doa kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh sebab itu, segala kritik dan saran selalu diterima untuk digunakan dalam perbaikan serta penyempurnaan pada skripsi ini dan penelitian yang relevan berikutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca serta kepada peneliti selanjutnya.

Medan, 7 Mei 2025

Penulis,



Alfa Ridic Valentino Tambunan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Metode Optimasi	7
2.2 Mesin CNC Milling.....	11
2.3 Jenis Pekerjaan <i>Milling</i>	13
2.4 Pisau Frais	16
2.5 Getaran	18
2.6 Parameter Mesin Milling.....	23
2.7 Metode Mesin <i>Frais</i>	37
2.8 Polipropilena Karbon Aktif (PP/KA).....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	41
3.2 Bahan Dan Alat	41
3.3 Metode Penelitian.....	45
3.4 Populasi Dan Sampel.....	46
3.5 Prosedur Kerja.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Hasil	52
4.2 Pembahasan.....	58
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Level Getaran Mesin per ISO 10816.	20
Tabel 2.2. <i>Cutting Speed For Material</i> (Sumber : Yudhyadi, 2016:41)	25
Tabel 2.3. Kecepatan Potong Bahan	27
Tabel 2.4. Toleransi Harga Kekasaran Rata-rata Ra	35
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	41
Tabel 3.1.1. Titanpro PM655	41
Tabel 3.2. Sampel Penelitian	47
Tabel 3.3. <i>Cutting Speed</i> Untuk Proses Frais	47
Tabel 4.1. Parameter Proses Milling	56
Tabel 4.2. Matriks Ortogonal Taguchi	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin <i>CNC Milling</i>	12
Gambar 2.2. Proses <i>Face Milling</i>	14
Gambar 2.3. Proses <i>Pocket Milling</i>	15
Gambar 2.4. Proses <i>Profile Milling</i>	15
Gambar 2.5. Proses <i>Drill Milling</i>	16
Gambar 2.6. Beberapa Macam Pisau <i>Milling</i> (Sumber Windarto, 2008:189)	18
Gambar 2.7. Kecepatan Pemakanan	26
Gambar 2.8. Proses Kecepatan Potong	28
Gambar 2.9. Kecepatan Putaran Mesin	28
Gambar 2.10. Parameter-Parameter Waktu Pemesinan untuk Proses Frais	30
Gambar 2.11. Tiga Klasifikasi Proses Frais	32
Gambar 2.12. Menentukan Kekasaran rata-rata (Ra) (Sumber:Paridawati, 2015)	34
Gambar 2.13. Tekstur Permukaan Benda Kerja (S. Lou, Mike., dkk., 1998)	36
Gambar 2.14. <i>Surface Roughness Tester</i> Kosaka Japan	37
Gambar 2.15. Gambar Skematik Dari Gerakan Dan Komponen Mesin Frais	38
Gambar 3.1. Plat Propilene/Karbom Aktif(PP/KA)	41
Gambar 3.2. Mesin <i>CNC Milling</i>	43
Gambar 3.3. Pisau Pahat berjenis HGT (atas) dan Senyo (bawah)	44
Gambar 3.4. Mesin Cetak Panas	44
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 4.1. Karbon Polipropilene	52
Gambar 4.2. Proses Pengefraisan Plat Dwikutub	53
Gambar 4.3. Grafik Kekasaran Permukaan	57

DAFTAR NOTASI

V_c	= kecepatan potong (m/min)
D	= diameter pahat (mm)
Π	= nilai konstanta (3,14)
N	= kecepatan putaran pahat (rpm)
f_t	= gerak makan per gigi pahat (mm/gigi)
Z	= jumlah gigi pahat
T_m	= waktu permesinan
L	= panjang pemotongan (mm)
F	= kecepatan pemakanan (mm/min)
C	= kecepatan potong (m/min)
l_t	= panjang total permesinan (mm)
l_w	= panjang pemotongan pada benda kerja (mm)
l_v	= langkah pengawalan (mm)
l_n	= langkah pengakhiran (mm)
R_a	= kekasaran rata-rata dengan satuan (μm)
V_v	= perbesaran vertikal luas P dan Q dalam (mm)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Optimasi adalah salah satu aspek terpenting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan, teknik, ekonomi, dan manajemen. Dalam dunia yang semakin kompleks dan kompetitif, pencarian solusi terbaik atau optimal dari berbagai masalah, baik dalam skala kecil maupun besar, menjadi sangat krusial. Optimasi digunakan untuk memaksimalkan atau meminimalkan fungsi objektif yang terpengaruh oleh beberapa variabel, di mana tujuan utamanya adalah untuk menemukan kombinasi yang paling efisien atau menguntungkan. Misalnya, dalam industri manufaktur, optimasi dapat diterapkan untuk meminimalkan biaya produksi dan waktu pengerjaan, sementara dalam dunia bisnis, optimasi dapat digunakan untuk memaksimalkan keuntungan atau kepuasan pelanggan.

Dua metode yang sering digunakan dalam optimasi adalah Metode Taguchi dan Response Surface Methodology (RSM). Metode Taguchi telah terbukti efektif dalam membuat sistem lebih tahan terhadap variasi lingkungan dengan menggunakan desain eksperimen yang hemat. Sementara itu, RSM dikenal karena kemampuannya dalam memodelkan dan menganalisis hubungan antara variabel untuk mengidentifikasi kondisi optimal dalam suatu proses.

Namun, seiring berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan, kebutuhan akan metode optimasi yang lebih efisien, cepat, dan fleksibel semakin meningkat. Untuk menghadapi masalah yang lebih kompleks, berbagai teknik optimasi lain seperti Algoritma Genetika, Particle Swarm Optimization (PSO),

dan Simulated Annealing telah dikembangkan. Metode-metode ini menawarkan pendekatan yang lebih canggih, terutama dalam situasi di mana fungsi objektif tidak linear atau memiliki banyak variabel yang saling mempengaruhi. Misalnya, Algoritma Genetika memanfaatkan prinsip evolusi alamiah, sementara PSO meniru perilaku kolektif kelompok hewan untuk menemukan solusi optimal.

Saat ini, perkembangan metode optimasi semakin diarahkan untuk menangani masalah yang lebih spesifik dan realistis. Di banyak industri, optimasi tidak hanya berfokus pada satu tujuan, tetapi juga harus mempertimbangkan beberapa tujuan sekaligus (multi-objective optimization), yang membuat pencarian solusi optimal semakin menantang. Misalnya, dalam industri energi, diperlukan optimasi untuk mencapai efisiensi energi yang lebih baik dengan tetap memperhatikan biaya, waktu, dan dampak lingkungan. Berbagai metode optimasi ini tidak hanya diaplikasikan di dunia industri, tetapi juga meluas ke bidang lain seperti kecerdasan buatan, desain produk, kontrol sistem, dan logistik. Setiap metode optimasi memiliki keunggulannya masing-masing, tergantung pada jenis masalah yang dihadapi dan karakteristik variabel-variabel yang terlibat. Oleh karena itu, penting bagi para peneliti dan praktisi untuk memahami kekuatan dan keterbatasan masing-masing metode optimasi, serta mengidentifikasi metode yang paling sesuai untuk diaplikasikan pada situasi tertentu.

Penelitian ini akan mengeksplorasi penggunaan metode optimasi Taguchi dalam parameter proses milling plat dwikutub. Dengan pemahaman yang lebih mendalam mengenai setiap metode, diharapkan dapat ditemukan pendekatan yang lebih baik dan efisien dalam mengatasi berbagai tantangan di bidang optimasi parameter proses milling plat dwikutub.

Proses pemesinan milling adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk pembuatan komponen. Dalam proses ini, waktu pengerjaan harus diminimalkan untuk mencapai kapasitas produksi yang tinggi. Pengaturan parameter pemotongan pada level maksimum dapat meningkatkan laju pemakanan material (MRR), tetapi berisiko menghasilkan tingkat kekasaran permukaan (Ra) yang tinggi. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan parameter proses milling yang optimal (The Jaya Suteja, 2008).

Getaran pada mesin perkakas memiliki dampak signifikan terhadap kualitas produk, umur pahat, dan masa pakai mesin. Getaran yang tinggi dapat menurunkan kualitas benda kerja, memperpendek umur pahat, dan mempercepat kerusakan mesin. Selain itu, getaran yang muncul selama proses machining dapat memengaruhi kondisi pemotongan, hasil permukaan benda kerja, serta umur pahat yang digunakan (Romiyadi, 2016).

Pengoperasian mesin frais tidak terlepas dari pengaturan parameter pemesinan. Parameter tersebut meliputi kecepatan putaran spindle (spindle speed), kecepatan potong (cutting speed), kedalaman potong (depth of cut), kecepatan pemakanan (feed rate), gerak makan per gigi (chip load), dan durasi pengerjaan. Perubahan parameter ini akan memengaruhi hasil pemesinan, terutama pada kekasaran permukaan dan kualitas produk yang dihasilkan (Kaisan I., 2019).

Fuel cell merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan karena efisiensinya yang tinggi dan emisi rendah. Salah satu komponen utama dari *fuel cell* adalah bipolar plate atau pelat dwikutub, yang menyumbang 35-45% dari total biaya produksi *fuel cell* (Tsuchiya, 2003). Pelat ini berfungsi sebagai media konduksi antara anoda dan katoda, struktur

pendukung fuel cell, tempat terjadinya reaksi kimia, serta media transfer panas. Tantangan dalam fabrikasi pelat dwikutub meliputi ketidaksesuaian dimensi akhir, seperti kedalaman saluran, serta kerusakan akibat desain cetakan yang kurang optimal atau pemilihan proses fabrikasi yang tidak tepat (Ismi Choirotin, 2019).

Crankcase dipilih sebagai subjek penelitian atas rekomendasi Ketua Jurusan Teknik Mesin, sekaligus untuk meningkatkan kualitas produk yang akan diproduksi. *Crankcase* yang dibuat dari paduan aluminium ini banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti otomotif, pembuatan komponen cetakan, dan aplikasi di mana bobot ringan menjadi prioritas utama (Rawangwonga, et al., 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh parameter pemesinan terhadap getaran dan kekasaran permukaan, dengan menggunakan metode optimasi Taguchi untuk meningkatkan kualitas produk *crankcase* yang diproduksi menggunakan CNC milling dalam penelitian berjudul “*Optimasi Parameter Proses Milling Pelat Dwikutub*”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas, maka perumusan masalah penelitian ini adalah apakah optimasi proses milling terhadap pelat dwikutub ini memerlukan kekuatan yang maksimal.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Membuat plat dwikutub menggunakan bahan komposit polipropilena/karbon aktif (PP/KA).

2. Menganalisis parameter proses terhadap laju penghilangan material pada plat dwikutub.
3. Mengidentifikasi parameter paling optimal berdasarkan tingkat kekasaran permukaan pada plat dwikutub hasil proses milling.

1.4 Hipotesis Penelitian

Diharapkan analisa parameter proses milling dalam membuat plat dwikutub tipe serpentine menggunakan polipropilena/karbon aktif (PP/KA) dengan luas area aktif 70 x 140 mm dan 100 x 100 mm untuk aplikasi pada PEMFC. Melakukan analisa pemesinan (*machinability*) material polipropilena/karbon aktif dengan CNC milling untuk menghindari terjadinya cacat produksi, melakukan analisa perbandingan efektifitas material polipropilene/karbon aktif (PP/KA) terhadap kinerja PEMFC, melakukan pengujian ketahanan polipropilene karbon aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan proses milling pada pembuatan plat dwikutub menghasilkan kualitas yang baik dan sesuai dengan hasil yang ada di desain.

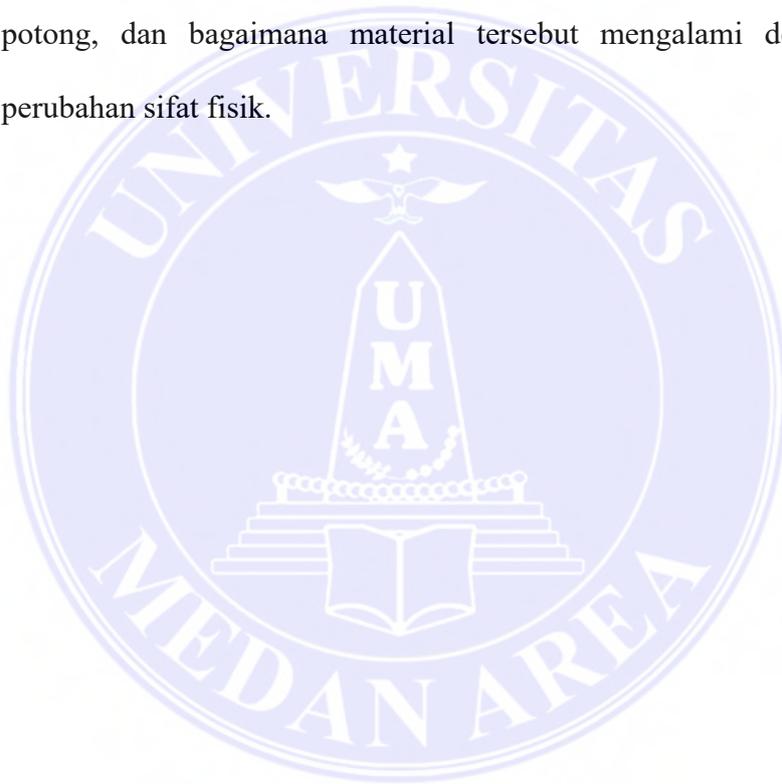
1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memahami dan dapat diaplikasikan dalam pembelajaran berkenaan dengan variasi parameter pemesinan dalam hal ini kecepatan *spindle* khususnya *milling machine* yang berpengaruh terhadap getaran mesin dan nilai kekasaran permukaan hasil penyayatan pada plat dwikutub.
2. Penelitian ini dapat membantu dalam mengidentifikasi parameter proses

yang optimal, seperti kecepatan potong, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan. Dengan mengoptimalkan parameter ini, kualitas permukaan dan dimensi dari plat dwi kutub yang dihasilkan dapat ditingkatkan, sehingga memenuhi standar yang lebih tinggi.

3. Penelitian ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana material plat dwi kutub berinteraksi dengan alat potong selama proses pengefraisan. Ini termasuk pemahaman tentang keausan alat, gaya potong, dan bagaimana material tersebut mengalami deformasi atau perubahan sifat fisik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Optimasi

Metode optimasi adalah pendekatan yang sering digunakan dalam eksperimen untuk optimasi proses, terutama di bidang teknik dan manufaktur.

2.1.1 Jenis-jenis Metode Optimasi

1. Metode Taguchi

Metode optimasi yang fokus pada peningkatan kualitas produk dengan meminimalkan variasi dan faktor gangguan melalui desain eksperimen efisien menggunakan matriks ortogonal.

Kelebihan metode Taguchi ini adalah efisien karena mengurangi jumlah eksperimen yang diperlukan dan mengurangi variasi proses dengan cepat. Kekurangan dari metode ini adalah tidak ideal untuk masalah yang sangat kompleks dan kurang fleksibel dalam situasi dengan interaksi variabel yang kompleks.

2. *Response Surface Methodology* (RSM)

Teknik statistik yang digunakan untuk memodelkan dan menganalisis hubungan antara variabel independen dengan respon, dan mengidentifikasi kondisi optimal.

Kelebihan dari metode ini adalah mampu memodelkan hubungan kompleks antara variabel dan memberikan prediksi yang akurat untuk hasil optimal. Kekurangan dari metode ini adalah membutuhkan banyak data dan eksperimen untuk memodelkan dengan benar dan lebih sulit diterapkan pada

masalah dengan banyak variabel atau kondisi yang berubah-ubah.

3. Metode Simpleks (*Simplex Method*)

Digunakan untuk optimasi linear, yang memaksimalkan atau meminimalkan fungsi tujuan dengan batasan linear.

Kelebihan dari metode ini adalah efektif untuk masalah optimasi linear dan mudah diterapkan pada masalah dengan batasan yang jelas. Kekurangan dari metode ini adalah tidak cocok untuk masalah non-linear dan sulit diterapkan pada masalah besar dengan banyak variabel.

4. Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*)

Metode optimasi yang didasarkan pada prinsip evolusi alamiah seperti seleksi, mutasi, dan rekombinasi untuk menemukan solusi terbaik.

Kelebihan dari metode ini adalah mampu menangani masalah optimasi kompleks dan non-linear dan fleksibel dan dapat digunakan untuk berbagai jenis masalah. Kekurangan dari metode ini adalah butuh waktu lebih lama untuk menemukan solusi optimal dan tidak selalu memberikan solusi yang sangat akurat atau konvergen.

5. *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Metode ini meniru perilaku sosial dari kawanan hewan untuk menemukan solusi optimal, di mana tiap partikel memperbarui posisinya berdasarkan posisi terbaik dari kawanan.

Kelebihan dari metode ini yaitu cepat dan efisien dalam menemukan solusi dan mudah diimplementasikan dan tidak membutuhkan turunan fungsi. Kekurangan dari metode ini adalah rentan terhadap jebakan solusi lokal (local optima) dan kurang efektif untuk masalah yang sangat rumit atau dengan banyak

dimensi.

6. *Simulated Annealing*

Metode yang mengimitasi proses fisika annealing (pendinginan logam), untuk menemukan solusi optimal melalui proses pencarian global dan penurunan suhu bertahap.

Kelebihan dari metode ini yaitu mampu menghindari jebakan solusi lokal dan menemukan solusi global dan cocok untuk masalah optimasi non-linear dan kompleks. Kekurangan dari metode ini yaitu proses pencarian bisa lambat, terutama pada masalah besar dan parameter suhu harus diatur dengan baik agar optimal.

7. Optimasi Multi-Objektif (*Multi-Objective Optimization*)

Digunakan untuk memecahkan masalah dengan beberapa tujuan yang saling bertentangan, seperti efisiensi biaya dan kualitas produk.

Kelebihan metode ini yaitu menyediakan solusi Pareto yang menyeimbangkan beberapa tujuan dan cocok untuk aplikasi di mana lebih dari satu faktor perlu dioptimalkan. Kekurangan dari metode ini adalah sulit diterapkan karena harus mempertimbangkan banyak aspek sekaligus dan menemukan solusi optimal bisa sangat kompleks.

8. Metode *Nelder-Mead*

Metode optimasi non-linear tanpa menggunakan turunan fungsi. Cocok untuk fungsi non-linear dan tanpa batasan.

Kelebihan dari metode ini adalah efektif untuk masalah optimasi dengan dimensi kecil dan tidak memerlukan turunan fungsi, sehingga mudah diterapkan.

Kekurangan dari metode ini adalah tidak cocok untuk masalah dengan banyak

variabel dan rentan terhadap jebakan solusi lokal dan bisa memakan waktu lebih lama untuk konvergensi.

9. *Dynamic Programming*

Teknik untuk memecah masalah besar menjadi sub-masalah yang lebih kecil dan memecahkannya secara bertahap, dengan menyimpan solusi sementara untuk menghindari pengulangan perhitungan.

Kelebihan dari metode ini adalah sangat efisien untuk masalah keputusan berurutan atau multi-tahap dan memberikan solusi optimal dalam situasi dengan struktur berulang. Kekurangan dari metode ini adalah dapat memerlukan banyak memori dan kurang cocok untuk masalah yang tidak memiliki sifat substruktur optimal (*optimal substructure*).

10. Evolusi Diferensial (*Differential Evolution*)

Algoritma evolusi yang memodifikasi solusi secara bertahap melalui perbedaan antara solusi terbaik dan populasi lainnya. Kelebihan dari metode ini adalah efektif untuk masalah optimasi global yang berkelanjutan dan cepat dalam konvergensi untuk masalah tertentu. Kekurangan dari metode ini adalah bisa lambat dalam menemukan solusi terbaik pada masalah yang sangat kompleks dan parameter algoritma harus disesuaikan dengan benar agar efektif.

11. Optimasi Kuadrat (*Quadratic Programming*)

Digunakan ketika fungsi tujuan berbentuk kuadrat, dengan batasan linear. Sering digunakan dalam optimasi kontrol dan perencanaan.

Kelebihan dari metode optimasi ini adalah Sangat cocok untuk masalah yang memiliki fungsi kuadrat dan banyak digunakan dalam aplikasi teknik dan keuangan. Kekurangan dari metode optimasi ini adalah hanya cocok untuk

masalah yang bisa dirumuskan secara kuadrat dan keterbatasan dalam menangani masalah non-linear atau multi-objektif.

2.2 Mesin CNC Milling

Awal lahirnya mesin *CNC* (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari tahun 1952 yang dikembangkan oleh John Pearson dari *Institut Teknologi Massachusetts*, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat, semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Tahun 1973, mesin *CNC* masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini (Zubaidi, 2012:41). Mesin *CNC* adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO, sistem kerja teknologi mesin *CNC* ini akan lebih sinkron antara komputer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas *CNC* lebih teliti, lebih tepat, lebih *fleksibel* dan cocok untuk produksi massal.

CNC milling merupakan mesin *milling* dimana pergerakan meja mesinnya dikendalikan dalam suatu program program tersebut berisi langkah-langkah perintah yang harus dijalankan oleh mesin *CNC*, komponen mesin *CNC* antara lain meja mesin, spindel mesin, magasin *tool*, *monitor*, *panel control*, *coolant hose*. Dirancangnya mesin perkakas *CNC* dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan operator selama mesin beroperasi.

Numeric Control (NC) adalah suatu kendali mesin atas dasar informasi digital, ini diperkenalkan di area pabrikasi, program *NC* sebenarnya merupakan

urutan dari sejumlah perintah logis, yang disusun dalam bentuk kode-kode perintah yang dimengerti oleh unit kontrol mesin (*machine control unit*), kode-kode perintah yang tersusun dalam urutan sedemikian rupa tersebut, secara keseluruhan merupakan satu kebulatan perintah dalam rangka pembuatan suatu produk pada suatu mesin perkakas *CNC* (Widarto, 2008:429). *NC* bermanfaat untuk produksi rendah dan medium yang memvariasikan produksi item, di mana bentuk, dimensi, rute proses, dan pengerjaan dengan mesin bervariasi, mesin perkakas *NC* meliputi mesin dengan operasi tujuan tunggal, yang memberikan informasi kuantitatif seperti pengerjaan dengan mesin operasi yang disajikan oleh suatu komputer kendali dengan program database yang menyimpan instruksi secara langsung untuk mengendalikan alat-alat mekanis mesin. Mesin *CNC Milling* dapat kita lihat pada gambar 2.1. di bawah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Mesin *CNC Milling*

Mesin *CNC milling* merupakan salah satu mesin yang digunakan dalam proses *milling*, mesin ini digunakan untuk mengerjakan satu jenis penyayatan dengan produktivitas/ duplikasi yang sangat tinggi, *CNC* memiliki tenaga yang

relatif besar sehingga menjadikan mesin ini banyak digunakan pada perusahaan manufaktur. Mesin ini dilengkapi dengan pengendali *CNC* untuk meningkatkan produktivitas dan *fleksibilitas*, dengan menggunakan alat kendali mesin ini waktu produksi menjadi lebih cepat dan hasilnya pun lebih bervariasi, kelebihan lainnya pada mesin ini memiliki ketelitian yang tinggi.

Menurut Windarto (2008:363), mesin *CNC milling* secara garis besar dibedakan menjadi dua yaitu mesin *CNC milling TU (Training Unit)* dan *CNC milling 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, mesin *milling CNC 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.

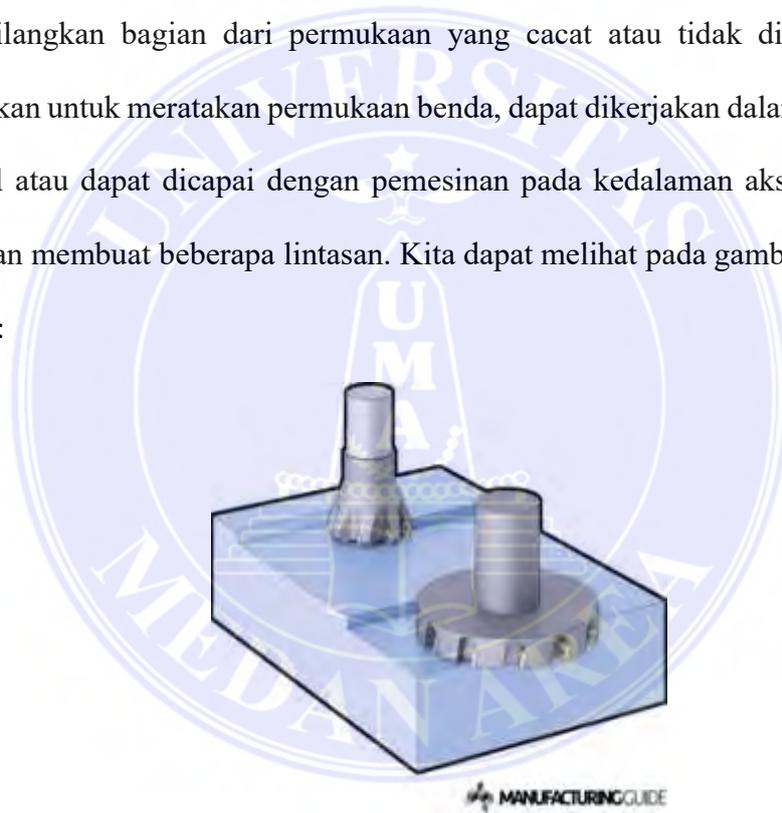
Perbedaan yang jelas diantara keduanya yakni mesin *CNC milling training unit* seperti namanya yaitu pelatihan yaitu digunakan untuk berlatih dan mengenal program dasar dan cara menjalankan mesin *CNC* biasa digunakan untuk keperluan akademis seperti pada pembelajaran di sekolah sedangkan untuk mesin *CNC Milling production unit* digunakan untuk keperluan industri dan bisnis dan digunakan untuk pekerjaan yang lebih kompleks lagi.

2.3 Jenis Pekerjaan *Milling*

Terdapat banyak sekali pekerjaan yang bisa dilakukan dengan mesin CNC *milling* dimulai dengan pekerjaan yang simpel seperti frais muka sampai dengan pekerjaan yang rumit dan membutuhkan ketelitian serta bentuk yang lebih detail jenis pekerjaan yang bisa dilakukan pada mesin CNC antara lain sebagai berikut :

2.3.1 *Face Milling*

Face mill membuat permukaan benda kerja rata untuk memberikan hasil yang halus, kedalaman pemakanan biasanya sangat kecil, dikarenakan untuk menghilangkan bagian dari permukaan yang cacat atau tidak dipakai ataupun digunakan untuk meratakan permukaan benda, dapat dikerjakan dalam satu lintasan tunggal atau dapat dicapai dengan pemesinan pada kedalaman aksial yang lebih kecil dan membuat beberapa lintasan. Kita dapat melihat pada gambar 2.2. sebagai berikut:

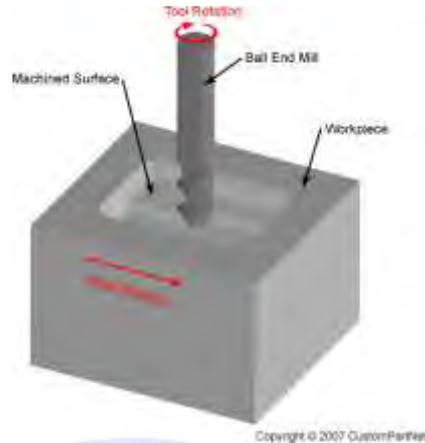


Gambar 2.2. Proses *Face Milling*

2.3.2 *Pocket Milling*

Pocket milling merupakan salah satu *toolpath* yang bisa dikerjakan pada mesin CNC *milling* dimana biasa digunakan untuk membentuk pola teratur dengan kedalaman tertentu biasa juga disebut kantung yang berada pada tengah maupun luar suatu permukaan benda. Dapat kita lihat pada gambar 2.3 sebagai

berikut:



Gambar 2.3. Proses *Pocket Milling*

2.3.3 Profile Milling

Profile milling merupakan salah satu jenis pengerjaan yang ada pada mesin CNC *milling* yang digunakan untuk membentuk pola bagian sisi luar suatu benda dengan menggunakan sisi potong samping pahat *endmill*. Dapat kita lihat pada gambar 2.4 sebagai berikut.

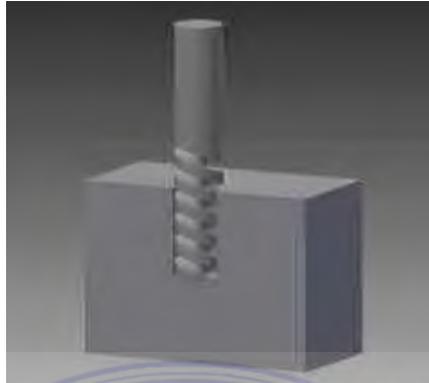


Gambar 2.4. Proses *Profile Milling*

2.3.4 Drill

Drill atau bor yaitu proses pahat bor memasuki benda kerja secara aksial dan memotong lubang dengan diameter sama dengan alat.. Pengeboran dapat menghasilkan lubang buta, yang melebar ke beberapa kedalaman di dalam benda

kerja, atau lubang melalui, yang meluas sepenuhnya melalui benda kerja. Dapat dilihat pada gambar 2.5. sebagai berikut:



Gambar 2.5. Proses *Drill Milling*

2.4 Pisau Frais

Pisau frais merupakan bagian penting dalam mesin CNC *mill*, alat potong atau *cutting tool* tiap mesin tentu memiliki alat potong yang beragam, bergantung dengan kegunaan dan bentuk yang dikehendaki dalam pekerjaan pada mesin frais atau *milling*, terdapat berbagai macam pisau yang kerap kali digunakan, berikut ini merupakan beberapa macam pisau *milling* antara lain sebagai berikut:

1. Pisau Silindris

Pisau ini digunakan untuk menghasilkan permukaan horizontal dan dapat mengerjakan permukaan yang lebar dan pekerjaan berat.

2. Pisau Muka dan Sisi

Pisau ini memiliki gigi potong di kedua sisinya, digunakan untuk menghasilkan celah dan ketika digunakan dalam pemasangan untuk menghasilkan permukaan rata, kotak, hexagonal, dll, untuk ukuran yang besar, gigi dibuat terpisah dan dimasukkan ke dalam badan pisau, keuntungan ini memungkinkan *cutter* dapat dicabut dan dipasang jika mengalami kerusakan.

3. *Slotting Cutter*

Pisau ini hanya memiliki gigi di bagian kelilingnya dan pisau ini digunakan untuk pemotongan celah dan alur pasak.

4. *Metal Slitting Saw*

Pisau ini memiliki gigi hanya di bagian keliling saja atau memiliki gigi keduanya di bagian keliling dan sisi sisinya, digunakan untuk memotong kedalaman celah dan untuk memotong panjang dari material, ketipisan dari pisau bermacam-macam dari 1 – 5 mm dan ketipisan pada bagian tengah lebih tipis dari bagian tepinya, hal ini untuk mencegah pisau dari terjepit dicelah.

5. *Shell End Mill*

Kelopak frais ujung dibuat untuk disesuaikan dibor pendek yang dipasang di poros, kelopak frais ujung lebih murah untuk diganti daripada frais ujung padat/solid.

6. Pisau Frais Muka

Pisau ini dibuat untuk mengerjakan pemotongan berat dan juga digunakan untuk menghasilkan permukaan yang datar, ini lebih akurat dari pada *cylindrical slab mill/ frais slab silindris*. Dapat dilihat pada gambar 2.6. sebagai berikut:



Gambar 2.6. Beberapa Macam Pisau *Milling* (Sumber Windarto, 2008:189)

2.5 Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu, getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut (Hidayat, 2017). Lengkapnya getaran merupakan gerakan yang berulang dengan sendirinya pada suatu selang waktu tertentu yang dapat terjadi pada sistem dimana memiliki massa dan sifat elastis serta padanya bekerja gangguan, mesin terdiri dari berbagai elemen yang berpasangan dan bergerak yang dapat menimbulkan getaran, bentuk dan besarnya getaran dipengaruhi oleh kondisi elemen - elemen itu sendiri. Kenyataannya getaran yang berlebihan dalam suatu mesin akan berakibat pada kerusakan pada benda dan mesin itu sendiri, mengingat kenyataan bahwa getaran dikaitkan dengan banyak efek negatif seperti kekasaran permukaan yang buruk, kekasaran permukaan yang tinggi, kebisingan ekstrem yang tidak diinginkan, keausan pahat yang tidak sama, kerusakan alat mesin, penurunan tingkat pemindahan material, kenaikan harga dalam hal periode pabrikan, kelebihan sumber daya, kelebihan energi, dampak ekologis dalam hal bahan, biaya daur ulang dan energi (Imhade, etc, 2018).

Jenis jenis getaran ada beberapa macam antara lain sebagai berikut (Bowo, 2017):

1. Getaran bebas tanpa peredaman, getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi
2. karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri.
3. Getaran bebas dengan peredaman, bila peredaman diperhitungkan, berarti gaya peredam juga berlaku pada massa benda.
4. Getaran paksa tanpa peredaman, getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut berosilasi.

Getaran adalah fenomena umum yang dialami dalam operasi pemotongan logam, ini terutama hadir dalam operasi pemesinan konvensional seperti *turning* dan *milling*, getaran yang diamati dalam operasi ini dapat digolongkan ke dalam tiga kategori, yaitu getaran bebas, getaran paksa, dan getaran gemertak (*chatter*). Getaran bebas terjadi ketika sistem dibiarkan bergetar secara bebas setelah dipindahkan dari posisi keseimbangannya, getaran paksa adalah hasil dari gaya periodik yang bekerja pada sistem sedangkan "getaran gemertak (*chatter*)" adalah getaran yang terjadi sendiri yang bekerja ketika alat pemotong dan benda kerja saling berinteraksi (Zahoor, etc 2017). Getaran ada dua jenis yaitu getaran bebas dan getaran paksa, bila suatu benda dikenai gaya dari luar, maka benda tersebut akan mengalami getaran paksa, pengukuran getaran dari kebanyakan mesin berada dalam range 10 Hz dan 1000 Hz (Sugondo, 2008). Dampak getaran yang muncul pada mesin perkakas sangat besar pengaruhnya, itu dapat dilihat pada produk yang dihasilkan, umur pahat dan umur mesin perkakas yang digunakan. Getaran yang tinggi akan mengakibatkan kualitas benda kerja menjadi kurang bagus, umur pahat menjadi lebih rendah dan mesin tidak tahan lama, getaran mesin

perkakas berpengaruh terhadap mesin perkakas, kondisi pemotongan, getaran benda kerja dan umur pahat/ Membicarakan getaran kita harus mengetahui batasan-batasan level getaran yang menunjukkan kondisi suatu mesin, apakah mesin tersebut masih baik (layak beroperasi) ataukah mesin tersebut sudah mengalami suatu masalah sehingga memerlukan perbaikan (Romiyadi, 2016).

Untuk mengetahui getaran yang ditimbulkan oleh operasi mesin milling, dimana disini akan dilakukan variasi kedalaman potong dari proses pemakanan benda kerja pada proses pemakanan muka dengan tiga variasi kedalaman potong yaitu 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm, dengan diameter 30 mm. Dalam mengetahui tingkat getaran yang terjadi digunakan alat ukur getaran yaitu vibration tester type VM – 6370 yang dimiliki oleh Laboratorium Mesin Produksi Politeknik Caltex Riau. Untuk menguji getaran yang ditimbulkan Posisi probe pada vibration tester akan ditempelkan pada kepala mesin milling tempat spindle mesin yang berputar. Hasil Getaran yang diperoleh dalam bentuk displacement, velocity, dan acceleration dengan tiga arah pengukuran yaitu arah aksial, vertikal, dan horizontal, selanjutnya di analisa dengan menghasilkan getaran dalam bentuk amplitudo.

Tabel 2.1. Level Getaran Mesin per ISO 10816.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	In/s	mm/s			
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28	good		
	0.02	0.45	good		
	0.03	0.71	good		
	0.04	1.12	good		
	0.07	1.80	good		
	0.11	2.80	satisfactory		
	0.18	4.50	unsatisfactory		
	0.28	7.10	unsatisfactory		
	0.44	11.2	unsatisfactory		
	0.70	18.0	unsatisfactory		
	0.71	28.0	unsatisfactory		
1.10	45.0	unsatisfactory			

Phase II Machine Tools (Romiyadi, 2016).

Maksud dari tabel 2.3 di atas yaitu untuk mengetahui kelayakan kondisi mesin berdasarkan daya yang digunakan mesin.

- a. Kategori A berwarna hijau, getaran mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan.
- b. Kategori B berwarna kuning, getaran dari mesin baik dan dapat dioperasikan tanpa larangan.
- c. Kategori C berwarna merah pudar, getaran dari mesin dalam batas toleransi dan hanya dioperasikan dalam waktu terbatas.
- d. Kategori D berwarna merah, Getaran dari mesin dalam batas berbahaya dan dapat terjadi kerusakan sewaktu-waktu.

Getaran yang terjadi pada mesin–mesin biasanya menimbulkan efek yang tidak dihendaki seperti ketidak nyamanan, ketidak tepatan dalam pengukuran atau rusaknya struktur mesin, kemudian sebagai solusinya untuk meredam getaran yang terjadi dapat dilakukan dengan cara memasang sistem peredam dinamik

pada sistem yang bergetar atau memasang sistem tersebut pada tumpuan yang baik sesuai dengan frekuensi eksitasi (Andrean, 2017).

Terdapat 3 dasar yang menjadi parameter dalam melakukan pengukuran vibrasi (Hidayat, 2017) yaitu:

2.5.1 *Displacement*

Displacement adalah ukuran dari pada jumlah gerakan dari pada massa suatu benda, dimana hal ini menunjukkan sejauh manabenda bergerak maju mundur (bolak-balik) pada saat mengalami vibrasi, *displacement* atau perpindahan dari suatu benda dapat diukkan dalam satuan mil (dimana mil = 0,001 inc) atau dalam *micron* (dimana 1 *micron* = 0,001 mm).

2.5.2 *Velocity*

Velocity adalah jumlah waktu yang dibutuhkan pada saat terjadi *displacement* (dalam hal kecepatan), *velocity* adalah ukuran kecepatan suatu benda pada saat bergerak atau bergetar selama berisolasi, *velocity* dapat ditunjukkan dalam suatu in/sec atau mm/sec.

2.5.3 *Acceleration*

Acceleration adalah jumlah waktu yang diperlukan pada saat terjadi *velocity*. *Acceleration* diartikan sebagai perubahan dari *velocity* yang di ukur dalam satuan gravitasi, dalam satuan Inggris dan Metric (dimana in/sec/sec) biasanya ditunjukkan sebagai in sec².

Penyebab utama getaran adalah gaya yang berubah-ubah dalam arah dan besarnya, karakteristik getaran yang dihasilkan bergantung pada cara bagaimana gaya penyebab getaran tersebut ditimbulkan (Lulus, 2009). Menurutnya penyebab getaran terjadi antara lain sebagai berikut :

1. Getaran karena ketidakseimbangan (*unbalance*)

Getaran yang disebabkan oleh ketidak seimbangan (*unbalance*) terjadi pada 1x rpm, elemen yang mengalami *unbalance* dan amplitudo getaran sebanding dengan besarnya *unbalance* yang terjadi.

2. Getaran karena ketidaklurusan (*misalignment*)

Sangat sulit untuk meluruskan dua poros dan sambungannya sedemikian sehingga tidak ada gaya yang menyebabkan getaran, ketidaklurusan ini biasanya terjadi pada kopling.

3. Getaran karena eksentrisitas.

Eksentrisitas dalam kasus getaran adalah bahwa pusat putaran poros tidak sama dengan pusat putaran rotor, eksentritas merupakan sumber dari *unbalance* dimana pada waktu berputar, berat benda di satu sisi berbeda dengan di sisi lain terhadap sumbu putar.

4. Getaran karena kelonggaran mekanik

Getaran tersebut bisa terjadi akibat baut kendur, kelonggaran bearing berlebih.

2.6 Parameter Mesin Milling

Parameter pemesinan seperti kecepatan potong, laju umpan, kedalaman potong, geometri pahat, dan kekerasan bahan benda kerja akan sangat memengaruhi kekasaran permukaan dan gaya potong (Walid, etc 2012:4106). Parameter pemesinan tentunya sangat penting dalam mempengaruhi hasil produk yang dibuat parameter sebagaimana sebagai komposisi suatu produk yang harus ada dan diisikan sesuai dengan kebutuhan dan hasil yang diinginkan, banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi hasil proses *machining*. Parameter pemesinan yang terdiri dari kecepatan putaran *spindel* (*spindle speed*), kecepatan pemakanan (*feed*

rate), kedalaman pemakanan (*depth of cut*), dan penggunaan cairan pendingin (kondisi pemotongan), berpengaruh terhadap hasil dalam hal kekasaran sendiri (Seprianto dalam Sugiantoro dan Setiyawan, 2015:14). Gaya potong sangat penting dalam operasi pemotongan karena mereka sangat berkorelasi dengan kinerja pemotongan seperti akurasi permukaan, keausan pahat, kerusakan pahat, suhu pemotongan, bersemangat sendiri, dan gaya getaran, dll (Walid, etc 2012:4105). Parameter mesin yang harus diperhatikan dalam proses *machining*.

2.6.1 Spindle Speed

Putaran spindel atau kecepatan putaran ditentukan berdasarkan kecepatan potong, sementara itu kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja, kecepatan potong adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik (dalam satuan meter) pada selubung pisau dalam waktu satu menit, rumus kecepatan potong identik dengan rumus kecepatan potong, pada proses frais besarnya diameter yang digunakan adalah diameter pisau.

Rumus kecepatan potong (Sumber Widarto 2008: 145) :

$$V = \pi \times D \times n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

V = kecepatan potong (rpm)

π = nilai konstanta (3.14)

D = diameter pahat (mm)

n = putaran benda kerja (rpm)

Material yang digunakan dalam berbagai proses pemesinan tentu memiliki struktur dan karakteristik yang beraneka ragam, hal tersebut mempengaruhi hasil akhir yang didapatkan berikut merupakan tabel *cutting speed* beberapa material

yang biasa digunakan dalam proses *machining*.

Tabel 2.2. *Cutting Speed For Material* (Sumber : Yudhyadi, 2016:41)

No	Bahan Benda Kerja	Vc (mm/menit)
1	Kuningan, Perunggu keras	30 - 45
2	Besi tuang	14 - 21
3	Baja ≤ 70	10 - 14
4	Baja 50 - 70	14 - 21
5	Baja 34 - 50	20 - 30
6	Tembaga, perunggu lunak	40 - 70
7	Aluminium murni	300 - 500
8	Plastik	60 - 100

2.6.2 Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Feed rate atau gerakan makan merupakan suatu parameter yang diperlukan dalam menentukan kecepatan makan pada proses penyayat atau pemotongan benda kerja, harga kecepatan potong tersebut ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong, besar kecilnya gerak makan dipengaruhi oleh jenis material atau bahan yang digunakan dalam proses *machining*. Gerak makan (*feed*) adalah jarak lurus yang ditempuh pahat dengan laju konstan relatif terhadap benda kerja dalam satuan waktu, biasanya satuan gerak makan yang digunakan adalah mm/menit (Yudhyadi, 2016: 40), berikut merupakan rumus menghitung *federate* (sumber Yudhyadi, 2016: 40).

$$f = N \times f_t \times Z \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- f = kecepatan pemakanan (m/s)
- N = kecepatan putaran pahat (rpm)
- f_t = gerak makan per gigi pahat (mm/gigi)
- Z = jumlah gigi



Gambar 2.7. Kecepatan Pemakanan

Zubaidi (2012:42) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi harga kecepatan potong:

1. Bahan benda kerja/material, dengan tingginya kekuatan potong suatu material yang digunakan maka harga kecepatan potongnya semakin kecil.
2. Jenis alat potong, merupakan aspek penting dalam proses *machining* semakin tinggi kekuatan alat potongnya, maka harga kecepatan potongnya semakin besar.
3. Besarnya kecepatan penyayatan/asutan dalam hal ini maka semakin besar jarak pemakan, maka kecepatan potongnya semakin kecil.
4. Kedalaman penyayatan/ pemotongan, hal ini berpengaruh terhadap *feed* yang dihasilkan, semakin tebal penyayatan, maka harga kecepatan potongnya semakin kecil.

2.6.3 *Depth Of Cut*

Parameter pemesinan yang paling penting yang mempengaruhi kinerja pemesinan dari mesin milling dan turning CNC adalah kecepatan potong, laju pengumpanan, dan kedalaman pemotongan baik kedalaman potong aksial dan kedalaman potong radial (Imhade, 2018: 978). Kedalaman potong ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir, untuk

kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan, besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan pemakanan dan juga dari diameter pahat tersebut, semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil (Yudhyadi, 2016:41).

2.6.4 Kecepatang Potong

Kecepatan potong adalah kecepatan pahat memotong benda kerja, terdapat hubungan antara kecepatan potong pada benda kerja. Korelasi antara kedua kecepatan tersebut ditunjukkan dengan persamaan :

$$1000 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

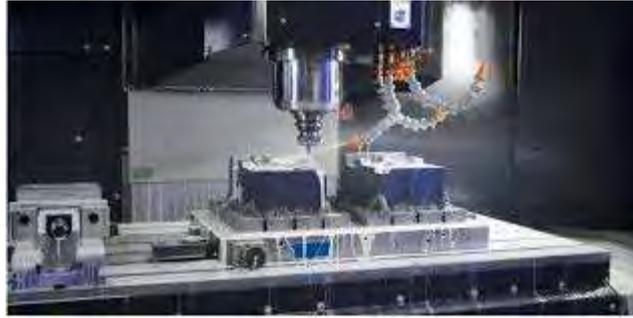
v = Kecepatan potong (m/min)

d = Diameter pahat (mm)

n = Kecepatan *spindle* (rpm)

Tabel 2.3. Kecepatan Potong Bahan

Bahan	Pahat Bubut HSS		Pahat Bubut Karbida	
	m/men	Ft/min	M/men	Ft/min
Baja lunak (<i>Mild Steel</i>)	18 – 21	60 – 70	30 – 250	100 – 800
Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>)	14 – 17	45 – 55	45 - 150	150 – 500
Perunggu	21 – 24	70 – 80	90 – 200	300 – 700
Tembaga	45 – 90	150 – 300	150 – 450	500 – 1500
Kuningan	30 – 120	100 – 400	120 – 300	400 – 1000
Aluminium	90 - 150	300 - 500	90 - 180	b. – 600



Gambar 2.8. Proses Kecepatan Potong

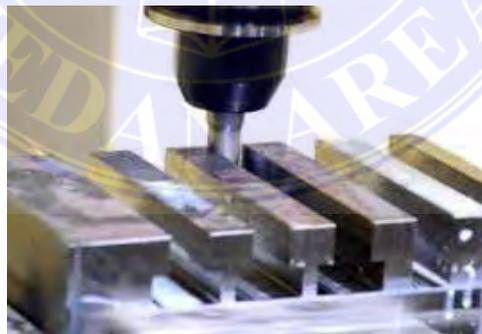
2.6.5 Kecepatan Putaran Mesin

Kecepatan putaran mesin frais adalah, kemampuan kecepatan putar mesin frais untuk melakukan pemotongan atau penyayatan dalam satuan putaran/menit.

$$n = \frac{Cs}{\pi \times D} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

- n = kecepatan putar (rpm)
- d = Diameter alat potong (mm)
- Cs = Kecepatan potong (m/s)
- π = Nilai konstanta = 3,14



Gambar 2.9. Kecepatan Putaran Mesin

2.6.6 Waktu Permesinan *Frais*

Waktu pemesinan biasanya dihitung secara manual sehingga memerlukan waktu yang relatif lama. Model produk yang baik serta analisis parameter-parameter waktu pemesinan sangat diperlukan untuk menghitung waktu pemesinan

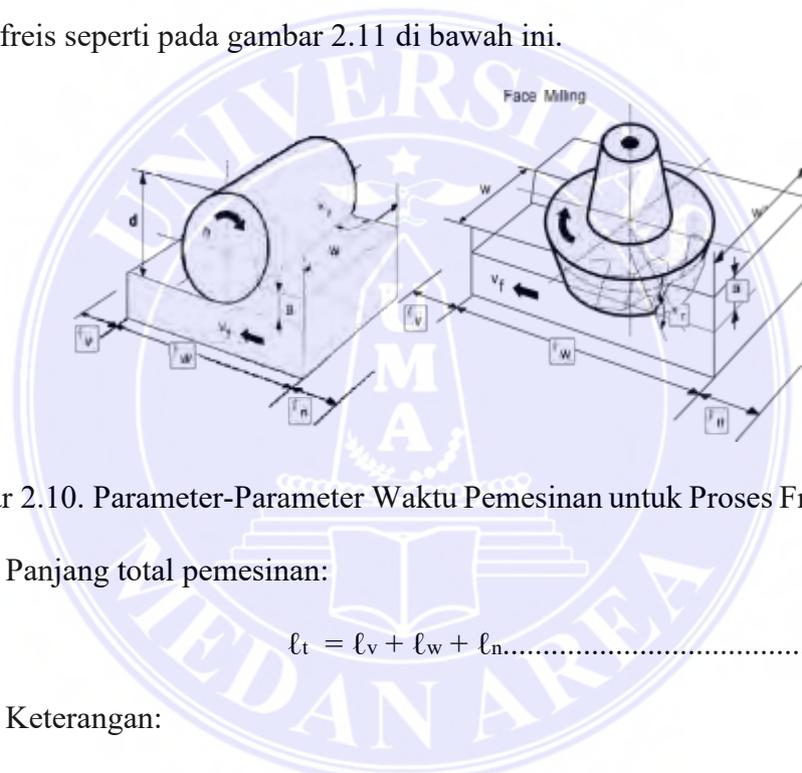
yang pasti dengan cepat. *Feature* dapat diunggulkan sebagai model untuk menghitung waktu pemesinan karena *feature* terbentuk bersamaan dengan proses perancangan produk. Dengan penggunaan *feature* maka waktu pemesinan juga dapat dihitung hampir bersamaan dengan proses perancangan. Dengan adanya suatu model yang mampu memberikan informasi waktu pemesinan yang baik maka dapat dilakukan penjadwalan penggunaan mesin yang lebih teratur, optimalisasi kondisi pemesinan, pengecilan waktu pemesinan pada bagian tertentu dan ongkos pembuatan produk dapat dihitung lebih cepat.

Feature mampu memfasilitasi perencanaan proses produksi dan menghasilkan instruksi operasi yang dibutuhkan secara rinci pada sistem produksi modern, seperti *computer numerical control (CNC)*, *flexibel manufacturing systems (FMS)*, robot dan peralatan inspeksi. (Martti Mantyla dkk, 1996). Kurangnya komunikasi yang otomatis antara proses perancangan dan perencanaan proses merupakan kelemahan sistem perencanaan proses. (F Ozturk dkk, 1996). Untuk mendukung konsep sistem produksi terdistribusi mandiri dalam bidang virtualisasi elemen produksi maka perlu dilakukan pemodelan produk. (Yogie Rinaldy, 2001). Waktu untuk menghasilkan produk atau waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan (memotong bagian tertentu produk) dengan cara yang tertentu (mengggunakan suatu jenis pahat) adalah merupakan variabel yang penting dalam rangka penentuan kondisi pemesinan optimum. Untuk jumlah produk yang cukup besar maka secara kasar dapat ditentukan waktu pemesinan rata-rata untuk mengerjakan satu produk, yaitu dengan cara membagi seluruh waktu yang digunakan dengan jumlah produk yang dihasilkan.

Pada penelitian ini pemodelan produk berbasis *feature* akan dimanfaatkan

untuk menghitung waktu pemesinan produk dengan cara mengakumulasi waktu pemesinan seluruh *feature* sehingga dapat dijumlahkan dengan parameter-parameter waktu pemesinan lain yang dianggap signifikan. Estimasi ongkos produk secara akurat lebih mudah dilakukan bila tersedia informasi yang lebih rinci. Karena perancangan mengatur sekitar 70% ongkos produk maka pada tahap perancangan diperlukan estimasi ongkos yang akurat. (Erik ten Brinke, 2002)

Sebagai contoh dapat dilihat parameter-parameter waktu pemesinan untuk proses freis seperti pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.10. Parameter-Parameter Waktu Pemesinan untuk Proses Frais

Panjang total pemesinan:

$$l_t = l_v + l_w + l_n \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- l_t = panjang total permesinan (mm)
- l_w = Panjang pemotongan pada benda kerja (mm)
- l_v = Langkah pengawalan (mm)
- l_n = langkah pengakhiran (mm)

Maka waktu pemesinan:

$$F \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

t = Waktu pemesinan (menit)

L = Panjang pemotongan (mm)

f = Kecepatan pemakanan (mm/min)

Agar waktu pemesinan dapat diketahui lebih cepat lagi, maka perangkat lunak dapat dilengkapi dengan harga-harga *default* berupa harga-harga putaran mesin (n), kecepatan makan (v_f), kedalaman potong (a) yang disarankan sesuai dengan material produk, dimensi *tool* dan material *tool* yang akan digunakan. Teknik penghitungan ongkos harus menggunakan informasi yang meliputi seluruh *life cycle* produk. Informasi ini dihasilkan dan dipengaruhi oleh bagian-bagian *engineering* seperti perancangan, perencanaan proses dan perencanaan produksi. (Hubert Kals dkk., 1999).

Proses pemesinan dilakukan dengan cara memotong bagian benda kerja yang tidak digunakan dengan menggunakan pahat (*cuttingtool*) sehingga terbentuk permukaan benda kerja menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat yang digunakan pada satu jenis mesin perkakas akan bergerak dengan gerakan yang relatif tertentu (berputar atau bergeser) disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat. Pahat dapat diklasifikasikan sebagai pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tool*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cutting tool*). Pahat dapat melakukan gerak potong (*cutting*) dan gerak makan (*feeding*). Proses *Miling* dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja. Proses pemesinan *milling* sering digunakan dalam pembuatan cetakan (*mould*), untuk pekerjaan perataan permukaan, pembentukan roda gigi, pembentukan pola permukaan, dan pekerjaan bor. Pada proses pemesinan *milling*

terdapat beberapa parameter yang ber- pengaruh terhadap kekasaran permukaan komponen diantaranya adalah kecepatan pemo- tongan atau kecepatan putaran spindle, kedalaman pemakanan, geometri pahat, kecepatan pemakanan, dan penggunaan cairan pendingin. Proses terbentuknya geram telah diteliti untuk menemukan bentuk yang mendekati ideal, berapa kecepatan (*speed*), gerak makan (*feed*), dan parameter yang lain, yang di masa yang lalu diperoleh dengan perkiraan oleh para ahli dan operator proses pemesinan.

Frais Periperal (*Peripheral Milling*) seringkali disebut juga dengan *slab milling*, permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar ba- dan alat potongnya. Sumbu dari putaran pahat biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat. Frais muka (*Face Milling*) Pada frais muka, pahat dipasang pada spindle yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda.

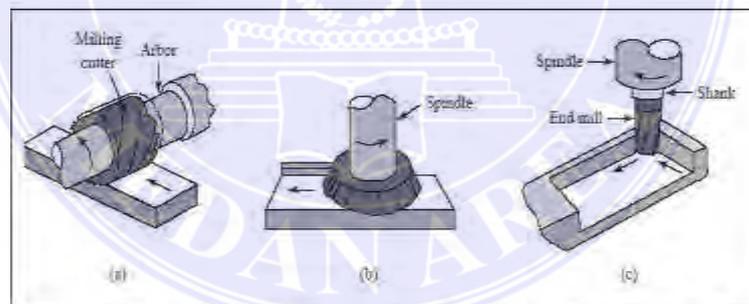


FIGURE 12.2: The three basic milling operations: (a) milling, (b) face milling, (c) end milling

Gambar 2.11. Tiga Klasifikasi Proses Frais

1. Frais Periperal (Peripheral Milling)

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

2. Frais muka (*Face Milling*)

Pada frais muka, pahat 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 pahat.

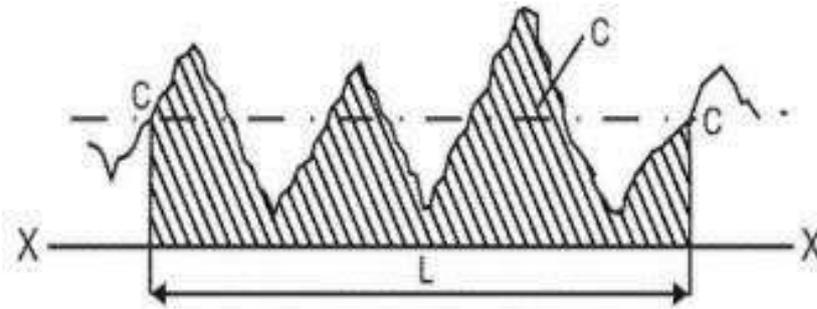
3. Frais jari (*End Milling*)

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

2.6.7 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidak teraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan berupa guratan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan, kekasaran permukaan memainkan peran penting dalam berbagai area, dan merupakan salah satu faktor penting dalam perhitungan ketepatan atau akurasi mesin (Tomadi, etc 2017:59), adapun penyebab kekasaran terdapat beberapa macam faktor, diantaranya yaitu : mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja dan kerusakan pada aliran beram.

Kualitas suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan menganggap jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam sebagai ukuran dari kekasaran permukaan, dapat juga dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah (Hadimi, 2008:20). Dapat dilihat pada gambar 2.7. sebagai berikut:



Gambar 2.12. Menentukan Kekasaran rata-rata (R_a) (Sumber:Paridawati, 2015)

Diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas ($P_1 + P_2 + \dots$ dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah ($Q_1 + Q_2 + \dots$ dan seterusnya) dengan demikian maka R_a dapat ditentukan besarnya dengan rumus sebagai berikut (Sumber Paridawati 2015: 61).

$$V_v \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

R_a = kekasaran rata-rata dengan satuan (μm)

V_v = Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam (mm)

L = Panjang sampel pengukuran dalam satuan (mm)

Paridawati (2015:61) menyatakan seperti halnya dengan toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran, dengan demikian 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, dibawah menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.4. Toleransi Harga Kekasaran Rata-rata Ra

Kelas Kekasaran	Harga CLA (m)	Harga Ra (m)	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	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

(Paridawati, 2015)

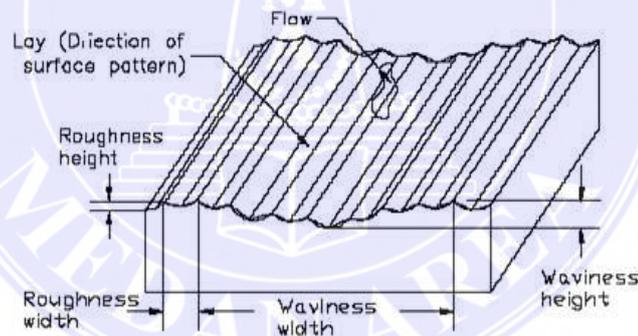
Fokus utama pada industri permesinan modern saat ini adalah pencapaian kualitas terbaik, akurasi dimensi atau kepresisian hasil permesinan, hasil akhir permukaan, produktivitas yang tinggi, laju keausan pahat yang rendah, permesinan yang ekonomis dan peningkatan performansi produk dengan masih mempertimbangkan dampak lingkungan.

Saat ini, beberapa segmen konsumen menuntut komponen hasil permesinan dengan kriteria kekasaran tertentu, selain itu menuntut juga agar komponen tersebut diproses atau dikerjakan dalam waktu yang cepat. Kekasaran permukaan, menurut istilah keteknikan, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Menurut

(Vorburger, T.V. dan J. Raja, 1990) kekasaran terdiri dari ketidakrataan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakrataan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi.

Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam menilai kualitas hasil pemesinan, kekasaran permukaan dibedakan menjadi dua bentuk, diantaranya Ideal Surface Roughness, yaitu kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses pemesinan dengan kondisi ideal.

Natural Surface Roughness, yaitu: kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses pemesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi proses pemesinan diantaranya karena keahlian operator, getaran yang terjadi pada mesin ketidakrataan feed mekanisme, adanya cacat pada material dan gesekan antara chip dan material.



Gambar 2.13. Tekstur Permukaan Benda Kerja (S. Lou, Mike., dkk., 1998)

Untuk mengukur kekasaran permukaan salah satunya digunakan *Surface Roughness Tester* seperti pada gambar 2.15 di bawah ini.

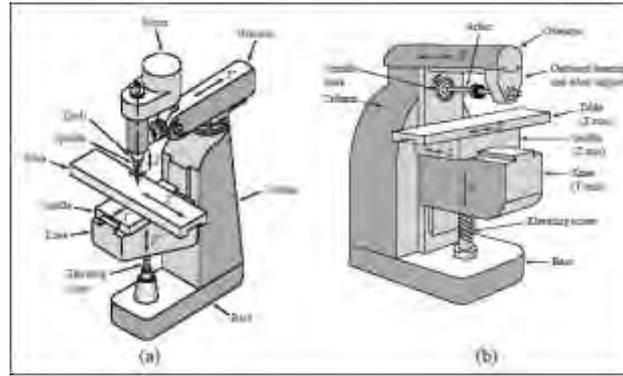


Gambar 2.14. *Surface Roughness Tester* Kosaka Japan

2.7 Metode Mesin *Frais*

Proses pemesinan frais adalah suatu proses penyayatan benda kerja dengan mempergunakan pisau freis (*cutter*) sebagai pahat penyayat yang berputar pada sumbu mesin. Putaran sumbu mesin dapat berputar searah jarum jam (*clock wise*) atau berlawanan arah jarum jam (*counter clock wise*) disesuaikan dengan arah mata sayat dari pisau frais.

Mesin frais dapat digunakan untuk pekerjaan meratakan permukaan (permukaan datar, menyudut atau melengkung), membuat alur, membuat roda gigi, dan membuat profil tertentu. Prinsip kerja mesin freis adalah alat potong (*cutter*) mempunyai gerak putar, sedangkan benda kerja yang terpasang pada meja mempunyai gerak mendatar, tegak, atau berputar secara lambat (sesuai dengan kecepatan pemakanan). Metode proses frais ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja mesin frais terhadap putaran pahat. Metode proses frais ada dua yaitu frais naik dan frais turun.



Gambar 2.15. Gambar Skematik Dari Gerakan Dan Komponen Mesin Frais

Keterangan:

- (a) Mesin frais vertikal tipe *column and knee*
- (b) Mesin frais horisontal tipe *column and knee*.

Pada dasarnya mesin frais yang dikendalikan secara mekanis (konvensional manual) dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu mesin frais horisontal dan vertikal (Gambar 1). Disebut mesin frais horisontal jika kedudukan sumbu spindel mesin sejajar dengan permukaan meja mesin, dan disebut mesin frais vertikal jika sumbu spindel mesin tegak lurus terhadap permukaan meja mesin.

2.8 Polipropilena Karbon Aktif (PP/KA)

Propilena Karbon Aktif adalah kombinasi dari propilena (polipropilena) dan karbon aktif yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam pemurnian, filtrasi, dan proses katalitik. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai kedua bahan ini dan bagaimana mereka digunakan bersama-sama:

1. Propilena (Polipropilena)

Propilena, lebih dikenal sebagai polipropilena (PP), adalah polimer termoplastik yang digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari pengemasan, tekstil, peralatan laboratorium, hingga komponen otomotif. Polipropilena

memiliki sifat-sifat seperti ketahanan kimia yang tinggi, tahan terhadap kelembapan, ringan, dan memiliki kekuatan mekanis yang baik. Bahan ini juga tahan terhadap deformasi termal, sehingga sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap panas. Dalam konteks filtrasi, polipropilena sering digunakan sebagai bahan untuk membran atau serat dalam filter karena kemampuan filtrasi yang baik dan ketahanan terhadap bahan kimia.

2. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bentuk karbon yang telah diolah untuk memiliki pori-pori kecil yang meningkatkan area permukaannya, memungkinkan karbon aktif untuk menyerap zat-zat kimia atau kontaminan dari gas dan cairan. Karbon aktif memiliki struktur berpori yang sangat luas, yang membuatnya sangat efektif dalam menyerap racun, bau, bahan kimia, dan polutan dari gas atau cairan. Sifat ini menjadikannya bahan yang sangat berguna dalam aplikasi pemurnian dan filtrasi. Karbon aktif digunakan secara luas dalam pemurnian air, pengolahan gas, pemurnian udara, dan dalam masker pelindung. Efisiensinya dalam menyerap kontaminan membuatnya sangat penting dalam berbagai aplikasi industri dan kesehatan.

3. Kombinasi Propilena dan Karbon Aktif

Ketika polipropilena dan karbon aktif digabungkan, mereka sering digunakan untuk membuat filter yang sangat efektif. Polipropilena digunakan sebagai media atau matriks dasar, sementara karbon aktif ditambahkan untuk memberikan kapasitas adsorpsi yang tinggi. Filter yang dibuat dari kombinasi ini digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemurnian air, pengolahan gas, ventilasi udara di gedung, dan dalam masker wajah untuk melindungi dari polusi

udara. Filter ini mampu menghilangkan partikel fisik dan kontaminan kimia secara efektif. Kombinasi ini memberikan kekuatan mekanis dari polipropilena dan kemampuan adsorpsi yang tinggi dari karbon aktif, membuatnya menjadi material filtrasi yang kuat, tahan lama, dan sangat efisien (Zulham Arif, 2023)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Adapun waktu penelitian direncanakan dari bulan Januari sampai bulan April 2024.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

Aktifitas	2024															
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal				■												
Proses Penelitian					■	■	■	■								
Pengolahan Data									■	■	■	■				
Penyelesaian Laporan													■	■	■	■
Seminar Hasil																■
Evaluasi dan persiapan Sidang															■	■
Sidang Sarjana																■

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian Di CV.IRA Publishing Perum Graha Garuda Mas Blok II No.39,Deli Serdang Sumatera Utara

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan

1. Spesifikasi Karbon polipropilena titanpro PM655

Karakter:

Homopolimer polipropile. Titanpro PM655 mematuhi peraturan administrasi makanan dan obat-obatan (FDA) A.S. Sebagaimana ditentukan dalam 21 CFR 177.1520(a)(1)(i) dan (c)1.1a. TSCA Registry: CAS# 9003-07-0.

Aplikasi:

Celah pita dan monofilament untuk tali, benang, dan kain industry serta barang thermoformed.

Keunggulan:

Kemampuan proses yang luar biasa. Stabilitas gelembung maksimum untuk produksi slit tape melalui proses tubular. Stabilitas leleh yang baik dan kekuatan serat yang unggul.

Pembuatan:

peralatan-ekstrusi umum. Teknik-pemrosesan standar untuk pita cetak tubular dan datar.

Tabel 3.1.1. Titanpro PM655

NO	Sifat resin khusus	UNIT`	PM655	ASTM METHOD
1	Laju aliran leleh 230 oC	g/10 min	1.7	D1238
2	Kepadatan	g/cm ³	0.9	D1505
3	Kekuatan Tarik pada hasil	kg/cm ²	360	D638
4	Perpanjangan pada hasil	%	12	D638
5	Modulus lentur	kg/cm ²	17500	D790B
6	Kekuatan dampak izod berlekuk pada 23 oC	kg·cm/cm	5.5	D256A
7	Suhu lendutan panas 4,6 kg/cm ²	oC	95	D648
8	Kekerasan Rockwell	R scale	95	D785A
9	Penyerapan air setelah 24 jam	%	0.02	D570

Karbon polipropilena titanpro PM655 yang digunakan dalam penelitian ini

terlihat pada gambar 3.1 dibawah ini.

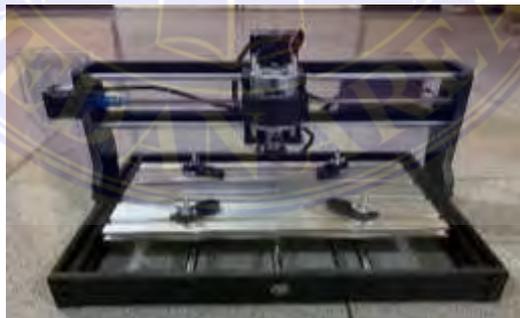


Gambar 3.1. Karbon polipropilena titanpro PM655

3.2.2 Alat

1. Mesin mini *milling*

Mesin milling digunakan untuk memotong atau menghilangkan material dari plat dwikutub jenis propilene karbon aktif dengan menggunakan alat potong berputar. Proses ini memungkinkan pembentukan berbagai bentuk dan permukaan pada plat dwikutub sesuai dengan desain yang diinginkan.



Gambar 3.2. Mesin *CNC Milling*

2. Pisau Pahat

Adapun pisau pahat (*end mill*) yang digunakan selama proses *milling* berspesifikasi HGT EB1010 dan Senyo *Tungsten Carbide* Z1MPCR yang masing-masing memiliki diameter 10 mm.



Gambar 3.3. Pisau Pahat berjenis HGT (atas) dan Senyo (bawah)

3. Mesin Cetak Panas

Mesin cetak servo *hot press* adalah mesin press presisi yang dikendalikan oleh motor servo. Motor servo memiliki keunggulan pada akurasi, kecepatan, kemampuan beradaptasi, stabilitas, ketepatan waktu, dan kenyamanan. Motor servo digunakan untuk mencapai kontrol loop tertutup terhadap kecepatan, posisi, dan torsi. Mesin press panas servo biasanya mencakup motor servo, PLC, layar sentuh manusia-mesin, modul kontrol suhu, sekrup bola, sensor tekanan, sensor perpindahan, bantalan, komponen mekanis, tiang pemandu, lembaran logam, perangkat keselamatan, perangkat penerangan.



Gambar 3.4. Mesin Cetak Panas

Pembuatan mesin hot press pneumatik dimulai dari proses desain dan perencanaan, yang mencakup pembuatan gambar teknis serta perhitungan kebutuhan material dan dimensi komponen mesin. Langkah ini bertujuan untuk menentukan bahan dan ukuran komponen dengan tepat. Mesin hot press ini

dirancang untuk menghasilkan gaya tekan sebesar 520 N, menggunakan batang silinder dengan diameter 1,6 cm. Kerangka mesin dibuat dari besi dengan ketebalan 6 mm, sedangkan panel box memiliki dimensi panjang 22 cm, lebar 16 cm, dan tinggi 29 cm. Matras yang digunakan memiliki dimensi panjang 80 mm, lebar 50 mm, dengan ketebalan bervariasi mulai dari 16 mm hingga maksimal 95 mm. Ketebalan motif yang dihasilkan memiliki nilai minimal 1 mm. Setelah semua komponen mesin diidentifikasi dan dirancang, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan daya yang dibutuhkan oleh kompresor agar mesin dapat berfungsi dengan optimal.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan serangkaian uji coba menggunakan spesimen komposit Polipropilena Karbon Aktif (PP/KA) dengan komposisi 80%/20%. Tahapan penelitian meliputi pemilihan material, uji spektrometri, proses milling, dan pengujian kekasaran permukaan.

Material yang digunakan adalah komposit Polipropilena Karbon Aktif (PP/KA) dengan rasio 80% polipropilena dan 20% karbon aktif. Pemilihan material ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan tertentu dalam penelitian. Uji spektrometri dilakukan untuk memastikan komposisi spesimen sesuai dengan standar baku AISI 316. Pengujian ini menggunakan mesin ARL 3460 *Optical Emission Spectrometer*, yang dilakukan di Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian. Proses milling dilakukan menggunakan mesin *CNC Chevallier 2443 VMC (Vertical Machine Centers)* dalam kondisi lingkungan basah (*wet condition*) dengan menggunakan *Ascella coolant* sebagai cairan

pendingin. Kondisi ini dipilih untuk meningkatkan kualitas hasil pemesinan dan mengurangi panas yang dihasilkan selama proses. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *Mitutoyo Surface Roughness Tester SJ-310*. Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran hasil proses milling guna memastikan spesimen memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Setiap tahapan penelitian ini dirancang untuk memastikan spesimen komposit PP/KA memiliki karakteristik yang sesuai dengan tujuan penelitian, khususnya dalam aspek kekasaran permukaan dan standarisasi material.

3.4 Populasi Dan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini mencakup semua kemungkinan kombinasi parameter yang memengaruhi proses milling di industri manufaktur. Parameter tersebut adalah kecepatan putar spindel (RPM), kecepatan pemakanan (*feed rate*), kedalaman potong (*depth of cut*), jenis material benda kerja dan jenis alat potong.

3.4.2 Sampel

Sampel dalam penelitian ini akan diambil dengan menggunakan Desain Eksperimen Taguchi, yang memungkinkan penelitian dilakukan secara efisien dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit. Dengan menggunakan matriks ortogonal Taguchi, seperti yang ditentukan beberapa kombinasi parameter yang akan diujicobakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2. Sampel Penelitian

No.	Kecepatan Spindel (RPM)	Kedalaman Potong (mm)
1	1000 RPM	0,25, 0,50, 0,75
2	800 RPM	0,25, 0,50, 0,75
3	600 RPM	0,25, 0,50, 0,75

3.5 Prosedur Kerja

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan untuk penentuan parameter dan level, persiapan material dan alat, pengambilan data, serta pengolahan data.

1. Penelitian Eksperimental

Adapun tahap-tahap Penelitian Eksperimental adalah

- a. Memilih ide dan topik penelitian
- b. Merumuskan masalah & hipotesis penelitian
- c. Menentukan variable bebas, variabel terikat dan variabel sekunder
- d. Menentukan tipe dan desain penelitian
- e. Merencanakan dan melaksanakan penelitian
- f. Menganalisis hasil dan menguji hipotesis penelitian
- g. Membuat kesimpulan mengenai hubungan kausalitas antara dua variabel/lebih.

2. Pembuatan Spesimen Uji

Hasil dari *hot pressing* berupa pelat bipolar yang kemudian dibuat spesimen uji tarik, uji tekuk, uji konduktivitas dan uji kerapatan massa pelat bipolar. Spesimen uji tarik berbentuk *dog bone* tipe IV sesuai dengan standar ASTM D638.

Sedangkann Spesimen uji tekuk sesuai degna standar ASTM D790. Untuk uji konduktivitas dan uji kerapatan massa pelat bipolar menggunakan sampel sisa uji tarik dan uji tekuk. Spesimen uji tarik dan uji tekuk yang telah dibuat disimpan pada lemari pengkondisian pada suhu 23 ± 2 °C dan kelembaban relative 50 ± 5 % selama ≥ 40 jam sebelum dilakukan pengujian tarik dan pengujian tekuk. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa dari polimer akibat adanya proses *hot press*.

1. Prosedur pembuatan spesimen uji
 - a. Ambil sampel hasil *hot pressing* kemudian bersihkan dari kotoran dengan menggunakan kertas amplas dan pisau kecil.
 - b. Ukur sampel sesuai dengan standar specimen yang akan dibentuk.
 - c. Potong sampel dengan menggunakan gergaju besi sesuai dengan bentuk dimensi specimen uji tarik dan uji tekuk.

Untuk kecepatan pemotongan dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini :

Tabel 3.3. *Cutting Speed* untuk Proses frais

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

Dalam peneitian ini, uji tarik perlu dilakukan terhadap material unutt mengukur kemampuan material saat menerima beban. Haluskan bagian

permukaan dan tepi spesimen uji dengan menggunakan *grinding* atau *milling*.

2. Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Tujuan pengujian tarik adalah untuk menganalisa respon material pada saat dikenakan beban atau deformasi terhadap pembebanan statis yang diberikan serta untuk memprediksi kemampuan material di bawah kondisi pembebanan. Prinsip pengujian tarik adalah benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban tarik *uniaxial* (satu arah) yang bertambah secara terus – menerus hingga benda uji tersebut putus. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik dalam penelitian ini adalah ASTM D638 : “*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*”. Bentuk sampel yang digunakan adalah specimen *dog – bone* tipe IV. Kondisi pengujian untuk pengujian tarik dalam penelitian ini adalah:

- a. *Pretension* : 0,01 N
- b. *Gripped Length* : 65 mm
- c. *Test Speed* : 5 mm / min
- d. Kondisi Uji : 24 °C, RH 58 %

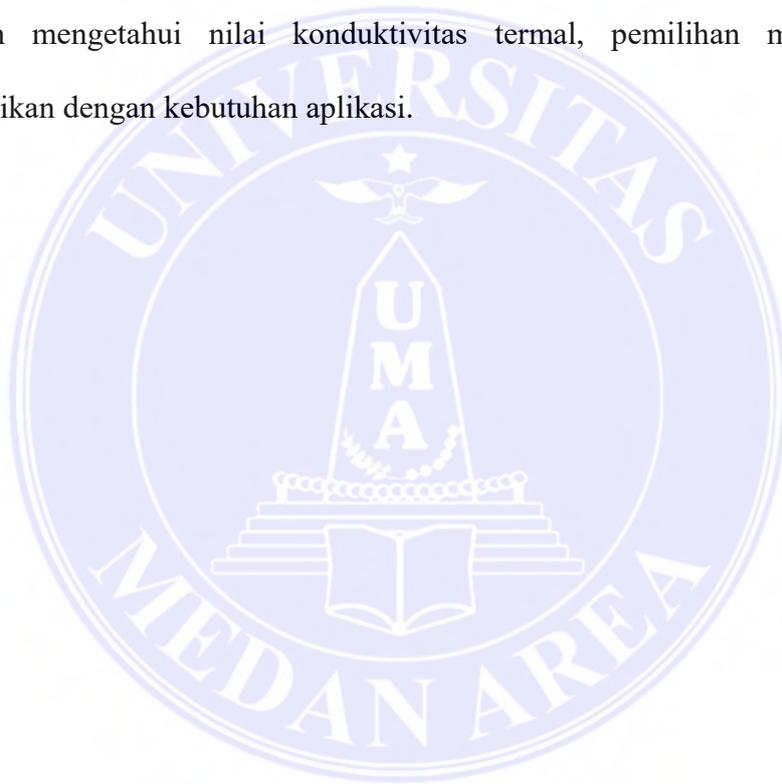
3. Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Bending test adalah metode pengujian yang umum digunakan untuk mengukur kekuatan dan karakteristik mekanik suatu bahan atau struktur. Metode ini melibatkan pemberian beban pada sampel material atau struktur dan mengamati responsnya terhadap tekanan yang diberikan. Uji ini penting dalam evaluasi kualitas material, perancangan struktur yang aman, dan pengembangan produk. Proses uji tekuk melibatkan pengaplikasian beban yang merata pada sampel material dalam posisi tumpuan dan beban tengah yang bertujuan untuk menekuk atau membengkokkannya. Pada uji tekuk tiga poin, sampel ditempatkan pada dua titik

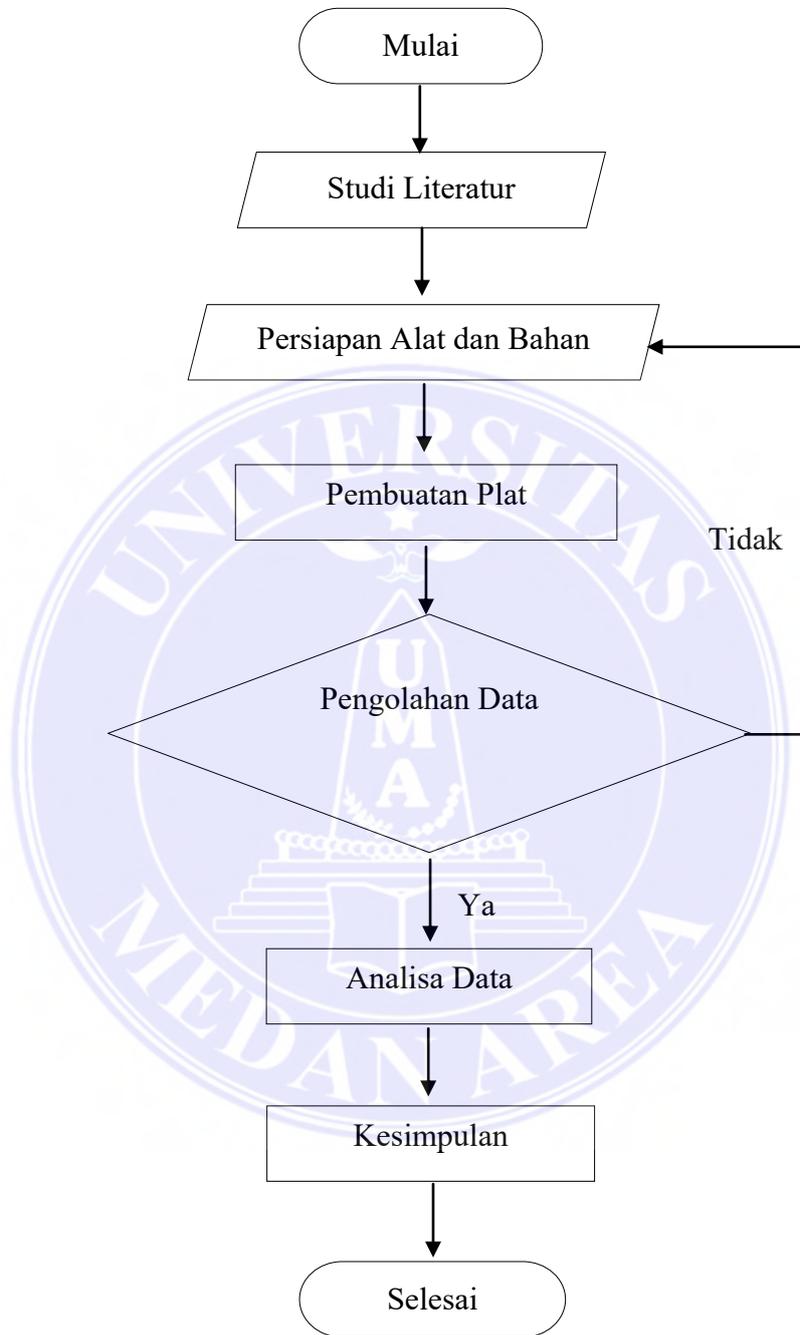
tumpuan di ujungnya dan beban diterapkan pada titik tengah sampel. Sedangkan pada uji tekuk empat poin, beban diterapkan pada dua titik tengah sampel.

4. Pengujian Konduktivitas Termal

Uji konduktivitas termal dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan suatu material dalam menghantarkan panas. Material dengan konduktivitas termal rendah cenderung memiliki perpindahan panas yang lambat, sedangkan material dengan konduktivitas termal tinggi mampu menghantarkan panas lebih cepat. Dengan mengetahui nilai konduktivitas termal, pemilihan material dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.



3.5.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari penelitian didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pembuatan plat dwikutub menggunakan bahan komposit polipropilena/karbon aktif (80%/20%).
2. Parameter proses milling dilakukan dengan beberapa variasi kecepatan spindel 1000, 800, dan 600 rpm dan variasi kedalaman pemakanan yaitu 0,25, 0,50, dan 0,75 mm guna mencari parameter paling optimal.
3. Parameter yang paling optimal adalah menggunakan kecepatan spindel 1000 rpm dengan kedalaman pemakanan 0,25 mm karena memiliki nilai S/N Ratio tertinggi.

5.2 Saran

Saran yang ingin disampaikan penulis kepada pembaca adalah sebagai berikut.

1. Perluas penelitian dengan menggunakan material benda kerja yang berbeda, seperti baja, aluminium, atau logam campuran lainnya. Hal ini penting karena setiap material memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal respons terhadap kecepatan spindel, kedalaman potong, dan kecepatan pemakanan.
2. Bandingkan hasilnya dengan metode optimasi lain seperti *Response Surface Methodology* (RSM) atau Algoritma Genetika. Dengan

membandingkan metode yang berbeda, hasil penelitian akan lebih solid dan bisa memberikan parameter optimal yang lebih presisi.

3. Untuk memastikan validitas dan reliabilitas data, disarankan untuk melakukan pengulangan eksperimen. Setidaknya tiga pengulangan per kombinasi parameter akan memberikan data yang lebih konsisten dan bisa digunakan untuk menghitung rata-rata yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- The Jaya Suteja, Susila Candra, Yudistira Aquarista, 2008 “Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology” Teknik Manufaktur Universitas Surabaya, Jurnal Teknik Mesin Vol. 10 No.1 April 2008.
- Idris Kaisan., 2019. “Pengaruh Parameter Pemotongan CNC Milling dalam Pembuatan Pocket terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan pada Crankcase Mesin Pemotong Rumput”. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- Ismi Choirotin, Mochammad Basjir, 2019, “Analisis Desain Cetakan Sederhana Bipolar Plate Pada Proses Pembentukan Superplastis” Flywheel: Jurnal Teknik Mesin 1 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Vol. V, No. 1, April 2019, hal. 20 - 23
- M. Belali-Owsia, M. Bakhshi-Jooybari., S. J. Hosseinipour., A. H. Gorji., 2015, “A new process of forming metallic bipolar plates for PEM fuel cell with pin- type pattern,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 77, no. 5–8, pp. 1281– 1293, doi: 10.1007/s00170-014-6563-3.
- H. Tawfik, Y. Hung., D. Mahajan., 2007, “Metal bipolar plates for PEM fuel cell- A review,” *J. Power Sources*, vol. 163, no. 2, pp. 755–767, doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.09.088.
- Y. Liu., L. Hua., 2010, “Fabrication of metallic bipolar plate for proton exchange membrane fuel cells by rubber pad forming,” *J. Power Sources*, vol. 195, no. 11, pp. 3529–3535, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.12.046.
- H. J. Kwon, Y. P. Jeon., C. G. Kang., 2012, “Die design of aluminum bipolar plate fabrication by stamping process and its investigation,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 445, pp. 108–113, doi: 10.4028/www.scientific
- M. Koc., 2007, “Feasibility investigations on a novel micro-manufacturing process for fabrication of fuel cell bipolar plates : Internal pressure-assisted embossing of micro-channels with in-die mechanical bonding,” vol. 172, pp. 725– 733, doi: 10.1016/j.jpowsour.2007.05.089.
- Q. Hu., D. Zhang., H. Fu., K. Huang., 2014, “ScienceDirect Investigation of stamping process of metallic bipolar plates in PEM fuel cell d Numerical simulation and experiments,” *Int. J. Hydrogen Energy*, pp. 1–7, doi: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.201.
- W. Hongyu., W. Zhen., T. Fei., Z. Pengchao., S. Juncai., J. Shijun., 2019, “Numerical simulation and experiment research on forming of two-step channel based on rubber pad pressing,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 101, no. 5–8, pp. 2175–2189, doi: 10.1007/s00170-018-3091-6.
- M. Elyasi., H. T. Ghadikolaee., M. Hosseinzadeh., 2017, “Fabrication of metallic bipolar plates in PEM fuel cell using semi-stamp rubber forming process,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 92, no. 1–4, pp. 765–776, doi: 10.1007/s00170- 017-0206-4.
- I. Choirotin., 2018, “Defect Prediction at the Superplastic Forming Process of the Bipolar Plate by Simulation,” *J. Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 49–54.

- I. Choirotin., M. Basjir., 2019, “Analisis Desain Cetakan Sederhana Bipolar Plate Pada Proses Pembentukan Superplastis,” *Flywheel J. Tek. Mesin Untirta*, vol. V, no. 1.
- Iswandi, J. Sahari, and A. B. Sulong, “Effects of Different Particles Sizes of Graphite on the Engineering Properties of Graphites/Polypropylene Composites on Injection Molding Application,” *Key Eng. Mater.*, vol. 471–472, pp. 109–114, Feb. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109.
- Iswandi and Abu Bakar Sulong, “Effects Of Graphite/Polypropilene On The Electrical Conductivity Of Manufactured Bipolar Plate,” *Malays. J. Anal. Sci.*, vol. 23, no. 2, Apr. 2019, doi: 10.17576/mjas-2019-2302-19.
- Iswandi, Husaini Teuku Abu Bakar, and Jaafar, Sahari, “Critical Powder Loading And Rheological Properties Of Polypropylene/Graphite Composite Feedstock For Bipolar Plate Application,” *Malays. J. Anal. Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 687–696, Jun. 2016, doi: 10.17576/mjas-2016-2003-30.
- N. A. Mohd Radzuan, A. B. Sulong, and I. Iswandi, “Effect of Multi-Sized Graphite Filler on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity,” *JSM*, vol. 50, no. 7, pp. 2025–2034, Jul. 2021, doi: 10.17576/jsm-2021-5007-17.

