



**PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN CNC
MILLING DALAM PEMBUATAN *POCKET*
TERHADAP GETARAN DAN KEKASARAN
PERMUKAAN PADA *CRANKCASE*
MESIN PEMOTONG RUMPUT**

Skripsi

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

Oleh

Idris Kaisan

NIM.5201415025

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Idris Kaisan

NIM : 5201415025

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul : PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN CNC
MILLING DALAM PEMBUATAN *POCKET* TERHADAP
GETARAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA
CRANKCASE MESIN PEMOTONG RUMPUT

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 24 juli 2019

Pembimbing



Rusiyanto, S.Pd.,M.T

NIP. 197403211999031002

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "Pengaruh Parameter Pemotongan CNC *Milling* dalam Pembuatan *Pocket* terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan pada *Crankcase* Mesin Pemotong Rumput" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada : 9/9/2019

Oleh

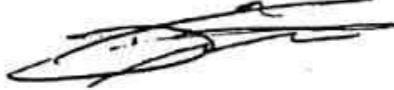
Nama : Idris Kaisan
NIM : 5201415025
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Panitia:

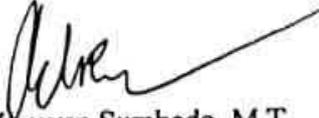
Ketua


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

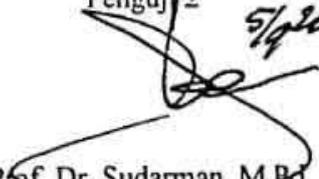
Sekretaris


Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT. IPP
NIP. 197509272006041002

Penguji 1


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

Penguji 2


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

Pembimbing


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

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik UNNES

Rahmat Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 24 juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Idris Kaisan

5201415025

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

1. MOTO

Moto hidup penulis antara lain sebagai berikut :

- a. Perlakukanlah orang lain sebagaimana kau ingin diperlakukan, apa yang kamu tanam itu yang akan kau petik.
- b. Semua pilihan itu tidak ada yang salah, yang ada hanya konsekuensi dan akibat yang menentukan salah tidaknya pilihan itu.

2. PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan :

- a. Kepada kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan demi kesuksesan penulis dimasa depan.
- b. Kepada sanak saudara dan teman teman penulis yang selalu mendukung dalam terselesaikannya skripsi ini.

SARI

Kaisan, I, 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. Rusiyanto, S.Pd.,MT.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari dan membuktikan pengaruh parameter pemesinan terhadap getaran dan kekasaran pada proses *pocket milling*, metode yang digunakan yaitu eksperimental guna meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dengan CNC *milling*, parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu kecepatan putaran spindel dengan variasi 300 rpm, 1200 rpm, dan 3200 rpm, kedalaman pemakanan yang digunakan yaitu 2 mm dan 0,5 mm, selanjutnya dilakukan pengujian dengan uji getar dan uji kekasaran permukaan, teknik analisis data yang digunakan yaitu statistik deskriptif.

Hasil yang didapatkan yaitu penggunaan parameter pemesinan berpengaruh terhadap kualitas produk dalam hal nilai kekasaran dan getaran mesin, dengan semakin tingginya kecepatan putaran spindel berakibat pada semakin rendahnya nilai kekasaran, lalu semakin kecilnya kedalaman pemakanan maka kekasaran semakin halus, selanjutnya semakin tinggi kecepatan putaran spindel maka getaran akan semakin rendah, lalu semakin besar kedalaman pemakanan maka nilai getar semakin besar pula.

Kata kunci : kecepatan spindel, kedalaman pemakanan, getaran, kekasaran.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan anugerah, rahmat serta hidayahnya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan proposal skripsi. Proposal ini dibuat dalam rangka menyelesaikan studi Strata Satu untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, dengan judul “Pengaruh Parameter Pemotongan CNC *Milling* dalam Pembuatan *Pocket* Terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan pada *Crankcase* Mesin Pemotong Rumput”.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang serta dosen pembimbing 1 skripsi penulis.
4. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan motivasi dan doa kepada penulis.
5. Semua pihak yang telah memberikan motivasi dan saran kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, 24 juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI	Halaman
HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat.....	7
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka.....	9
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Mesin CNC <i>Milling</i>	12

2.2.2	Parameter Mesin	15
2.2.3	Jenis Pekerjaan <i>Milling</i>	19
2.2.4	Pisau Frais	22
2.2.5	Kekasaran.....	24
2.2.6	Getaran	28
2.2.7	<i>Crankcase</i>	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.1.1	Tempat penelitian	35
3.1.2	Waktu Pelaksanaan	35
3.2	Desain Penelitian	35
3.2.1	<i>Design</i> penelitian	35
3.2.2	Diagram alir penelitian	40
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	41
3.3.1	Alat	41
3.3.2	Bahan	48
3.4	Parameter Penelitian	48
3.4.1	Variabel bebas	48
3.4.2	Variabel terikat	48
3.4.3	Variabel kontrol	49
3.5	Teknik Pengumpulan Data	49
3.5.1	Dokumentasi	49
3.5.2	Uji laboratorium	50

3.6 Kalibrasi Instrumen	50
3.6.1 Proses <i>machining</i> dengan menggunakan CNC <i>milling</i>	50
3.6.2 Proses uji kekasaran dengan menggunakan <i>surface roughness tester</i>	51
3.6.3 Proses uji getaran dengan menggunakan <i>vibration meter</i>	52
3.7 Teknik Analisis Data	52
3.7.1 Pensortiran data	53
3.7.2 Tabulasi data	53
3.7.3 Penarikan kesimpulan	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Deskripsi Data	55
4.1.1 Pengaruh kecepatan putaran spindel 300, 1200, 3200 rpm terhadap getaran mesin	56
4.1.2 Pengaruh kecepatan putaran spindel 300, 1200, 3200 rpm terhadap nilai kekasaran permukaan	61
4.1.3 Perbedaan nilai getaran pada kecepatan putaran spindel 300, 1200, 3200 rpm	63
4.1.4 Perbedaan nilai kekasaran permukaan pada kecepatan putaran Spindel 300, 1200, 3200 rpm	66
4.2 Pembahasan	67
4.2.1 Pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap nilai kekasaran....	68
4.2.2 Pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap getaran	70
4.3 Keterbatasan Penelitian	74

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	81

DAFTAR TABEL	Halaman
Tabel 2.1 <i>Cutting speed</i> untuk beberapa bahan yang sering digunakana dalam dunia pemesinan	16
Tabel 2.2 Gerak makan <i>fz</i> untuk berbagai kedalaman potong dan material benda kerja untuk beberapa diameter alat potong <i>Endmill</i>	18
Tabel 2.3 Toleransi harga kekasaran	27
Tabel 2.4 Level getaran mesin per ISO 10816.....	30
Tabel 3.1 Desain penelitian	36
Tabel 3.2 <i>Cutting speed</i> aluminium alloy	38
Tabel 3.3 Penyajian data uji getaran	39
Tabel 3.4 Penyajian data uji kekasaran	39
Tabel 3.5 Spesifikasi Mitutoyo- SJ 201	42
Tabel 4.1 Data nilai getaran mesin pada gerak <i>roughing</i> pada kedalaman pemakanan 2 mm.....	57
Tabel 4.2 Data nilai getaran mesin pada gerak <i>finishing</i> pada kedalaman pemakanan 0,5 mm	59
Tabel 4.3 Data nilai kekasaran permukaan	62
Tabel 4.4 Nilai getaran dan total standart deviasi masing – masing varian terhadap nilai getar.....	64
Tabel 4.5 Standart Deviasi dan Varians pasangan uji T nilai getaran	64
Tabel 4.6 Hasil uji keputusan pada pasangan varian nilai getaran mesin	65
Tabel 4.7 Nilai kekasaran dan total standart deviasi masing- masing varian terhadap nilai kekasaran	66

Tabel 4.8 Standart deviasi dan varians pasangan uji T nilai kekasaran	66
Tabel 4.9 Hasil uji keputusan pada masing- msing varian terhadap kekasaran permukaan	67
Tabel 4.10 Konversi nilai kekasaran hasil terhadap harga tinggat kekasaran..	69
Tabel 4.11 Konversi nilai getaran hasil terhadap harga tingkat getar	73

DAFTAR GAMBAR	Halaman
Gambar 2.1 Mesin Frais CNC <i>type bed</i>	13
Gambar 2.2 Proses <i>face milling</i>	20
Gambar 2.3 Proses <i>pocket milling</i>	20
Gambar 2.4 Proses <i>profile milling</i>	21
Gambar 2.5 Proses <i>drill milling</i>	21
Gambar 2.6 Beberapa macam pisau <i>milling</i>	23
Gambar 2.7 Bentuk ketidakrataan permukaan	26
Gambar 2.8 <i>Crankcase</i> mesin pemotong rumput	34
Gambar 3.1 Spesimen uji	37
Gambar 3.2 Diagram alir pelaksanaan penelitian	40
Gambar 3.3 <i>Surfcorder SE300</i>	42
Gambar 3.4 Skema pengujian kekasaran	43
Gambar 3.5 <i>Vibration Meters</i> Lutron VB-8202	44
Gambar 3.6 Skema pengujian getaran	45
Gambar 3.7 Persiapan sensor	46
Gambar 3.8 Pentuhan pada subjek getaran	46
Gambar 3.9 Pembacaan pengukuran	46
Gambar 4.1 Proses pengukuran kekasaran dengan <i>Surface roughness</i> <i>tester Mitutoyo- SJ 201</i>	56
Gambar 4.2 Proses pengukuran getaran dengan <i>vibration meter</i> <i>lutron VB – 8200</i>	56
Gambar 4.3 Grafik hubungan nilai getaran per satuan waktu dan kecepatan	

putaran spindel pada gerak <i>roughing</i>	58
Gambar 4.4 Grafik hubungan nilai getaran per satuan waktu dan kecepatan putaran spindel pada gerak <i>finishing</i>	60
Gambar 4.5 Grafik hubungan kecepatan putaran spindel dengan nilai getaran mesin pada gerak makan <i>roughing</i> dan geak makan <i>finishing</i>	60
Gambar 4.6 Grafik hubungan kecepatan putaran spindel dengan nilai getaran mesin pada gerak makan <i>roughing</i> dan geak makan <i>finishing</i>	62
Gambar 4.7 Tabel level getaran mesin per ISO 10816	72
Gambar 4.8 Spesifikasi mesin CNC yang digunakan	73

DAFTAR LAMPIRAN	Halaman
1. Lampiran 1. Form usul topik skripsi	81
2. Lampiran 2. Usulan pembimbing	82
3. Lampiran 3. Surat tugas dosen pembimbing	83
4. Lampiran 4. Surat tugas dosen penguji	84
5. Lampiran 5. Laporan selesai bimbingan skripsi	85
6. Lampiran 6. Undangan seminar proposal	86
7. Lampiran 7. Berita acara seminar proposal	87
8. Lampiran 8. Presensi seminar proposal skripsi.....	88
9. Lampiran 9. Surat izin penelitian.....	89
10. Lampiran 10. Surat keterangan selesai penelitian.....	91
11. Lampiran 11. Surat tugas panitia siding skripsi.....	92
12. Lampiran 12. Dokumentasi proses penelitian	93
13. Lampiran 13. NC <i>code</i> proses <i>milling</i>	94
14. Lampiran 14. Proses <i>milling</i>	95
15. Lampiran 15. Gambar spesimen dan produk yang digunakan	96
16. Lampiran 16. Uji normalitas data dan perhitungan uji T berpasangan	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dunia terus berkembang mengikuti perkembangan zaman dan arus globalisasi, disetiap aspek perkembangan zaman selalu bertujuan untuk memudahkan dan memenuhi kebutuhan manusia yang hari demi hari semakin kompleks dan heterogen. Studi kasus dalam bidang kependidikan semakin terciptanya suatu metode dan peralatan penunjang pendidikan yang mana berakibat pada kemudahan siswa dalam menyerap dan menguasai materi yang diajarkan, dalam dunia kedokteran semakin banyak ditemukan obat - obatan dan fasilitas penunjang guna kemajuan dunia medis dalam dunia militer semakin kuat dan kompleksnya peralatan militer sebagai penunjang kegiatan militer, di industri sendiri yang mana harus mengikuti perkembangan zaman dan tren masa kini yang diketahui persaingan dunia industri internasional semakin ketat maka harus diciptakannya inovasi – inovasi baru guna menjaga eksistensi di pasar internasional, cara untuk mempertahankan pasar adalah dengan membuat konsumen puas, termasuk dengan memberikan mutu produk dan kualitas layanan yang terbaik.

Syafaat, dkk (2016:1) menyatakan bahwa kualitas sebuah produk yang dihasilkan berhubungan dengan kualitas harga jual produk, salah satu tanda kepuasan konsumen ditandai dengan kualitas produk yang ditentukan oleh kegunaan dan fungsinya, termasuk kinerja/ *performance*, daya tahan, kesesuaian dengan spesifikasi, estetika produk, dan juga *perceived quality*/ kesan produk, menyelesaikan permasalahan yang dihadapi konsumen jika tidak bisa memenuhi

hal tersebut akan sangat mungkin untuk produk industri tersebut kalah pamor dan kalah bersaing di pasaran dan digantikan oleh produk lain, maka dari itu selain harus bisa menjawab kebutuhan konsumen suatu produk harus bisa berkembang mengikuti perkembangan zaman dan teknologi yang tidak kalah penting juga harus memiliki kualitas yang baik.

Aspek yang harus terpenuhi guna menjaga kualitas produk khususnya dalam bidang pemesinan yaitu kekasaran, yang mana terdapat pada permukaan suatu produk, nilai suatu produk dapat di indikasikan dengan salah satunya dengan kualitas permukaan produk, sementara itu untuk menghasilkan kualitas permukaan produk yang baik harus setara dengan proses dan mesin yang digunakan (Syafaat, dkk, 2016:1). Kekasaran permukaan adalah ukuran penting dari kualitas produk karena sangat mempengaruhi kinerja bagian mekanik serta biaya produksi menurut (Rawangwonga, etc 2014:449). Kekasaran merupakan aspek yang penting karena mempengaruhi performa suatu komponen atau produk itu sendiri, selain itu kekasaran juga berpengaruh pada kepresisian ukuran dan suaian untuk produk - produk tertentu, maka sangat penting untuk diperhatikan, sementara itu untuk menghaluskan permukaan benda atau produk dapat dilakukan dengan proses *machining*, dapat berupa mesin bubut, mesin gerinda, mesin frais, mesin CNC dan lain lain sebagainya, di idustri modern untuk melayani permintaan pasar dalam bidang *engineering* digunakannya mesin CNC (*Computer Numerical Control*) karena dirasa lebih efektif dalam pengoperasian terutama dalam segi kepresisian dan lebih efisien waktu dan tenaga. Faktor - faktor yang mempengaruhi keunggulan CNC dibandingkan mesin konvensional diantaranya adalah tidak banyak *setting*,

tool berpindah secara otomatis sesuai program yang diminta, pergerakan mesin dapat dimonitor pada layar monitor, tingkat error kecil, dan efisiensi waktu (menurut Zubaidi dalam Retyawan, dkk 2017:8). Mempertimbangkan bahwa operasi *milling* adalah proses pemotongan multi-titik, masalahnya menjadi lebih kompleks, kesimpulan ini dapat ditarik bahwa setiap upaya untuk mempelajari fenomena dan secara eksperimental untuk memastikan temuan atau hasil harus merujuk pada kombinasi benda kerja, alat pemotong dan mesin yang diberikan (Khorasani, 2012:69).

Romiyadi (2016:53) menyatakan 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. Dampak lain getaran yang terjadi pada saat proses *machining* dilakukan dapat berpengaruh terhadap mesin perkakas, kondisi pemotongan, selain itu juga berpengaruh pada hasil permukaan benda kerja dan umur pahat. Kekasaran pada saat proses *machining* salah satunya yang dipengaruhi oleh getaran dari mesin itu sendiri, dalam hal ini disebabkan oleh parameter pemesinan yang digunakan oleh operator selain itu getaran juga disebabkan oleh *type* dari material yang digunakan.

Pengoperasian mesin frais tidak terlepas dari parameter proses pemesinan, parameter proses pemesinan terdiri dari kecepatan putaran spindle (*spindle speed*), kecepatan potong (*cutting speed*), kedalaman potong (*dept of cut*), kecepatan pemakanan (*feed*), gerak makan pergigi (*chip load*) dan waktu pemotongan

(Romiyadi, 2016:52), perubahan parameter pemotongan akan berpengaruh terhadap hasil dari proses pemesinan, bisa dilihat dari kekasaran permukaan dan kualitas dari produk itu sendiri.

Pemilihan *crankcase* sebagai subjek penelitian merupakan rekomendasi dari Ketua Jurusan Teknik Mesin selain itu juga guna meningkatkan kualitas produk yang akan diproduksi dalam hal ini *crankcase* itu sendiri yang di buat dari paduan aluminium, paduan aluminium banyak digunakan sebagai bahan teknik utama di berbagai industri seperti industri otomotif, pembuatan komponen cetakan dan cetakan, dan industri di mana bobot merupakan faktor terpenting (Rawangwonga, etc 2014:449), peneliti bertujuan untuk mencari dan membuktikan pengaruh parameter pemesinan terhadap getaran dan kekasaran guna meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan dengan CNC *milling* dalam penelitian yang berjudul “PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN CNC *MILLING* DALAM PEMBUATAN *POCKET* TERHADAP GETARAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA *CRANKCASE* MESIN PEMOTONG RUMPUT”.

1.2. Identifikasi Masalah

Dunia industri modern tidak bisa dilepaskan dari perkembangan zaman dan teknologi, untuk menjaga eksistensinya dipasaran, produk harus bisa menjawab kebutuhan konsumen dengan menjaga dan memperbaiki kualitas produk yang dihasilkan dari industri tersebut.

Permasalahan yang muncul yang diakibatkan dari uraian diatas antara lain sebagai berikut :

- a. Cara untuk menjaga dan meningkatkan kualitas produk industri yang dihasilkan.
- b. Cara mendapatkan produk yang berkualitas, bisa bersaing di pasaran dan bisa menjawab kebutuhan konsumen.
- c. Cara menentukan jenis pekerjaan yang tepat agar bisa menunjang kualitas produk.
- d. Cara mengetahui kondisi mesin melalui getaran yang dihasilkan.
- e. Mengetahui pengaruh perhitungan parameter terhadap getaran mesin.
- f. Cara mendapatkan produk dengan tingkat kekasaran yang dikehendaki.
- g. Parameter yang harus diperhatikan dalam pengoperasian mesin guna mendapatkan hasil yang maksimal.
- h. Selain dari mesin apakah terdapat faktor lain yang mempengaruhi pengerjaan guna mendapatkan produk yang diinginkan.

1.3. Pembatasan Masalah

Penelitian yang penulis ambil saat ini menekankan pada penggunaan metode pemotongan dan parameter yang digunakan dalam penentuan nilai kekasaran permukaan suatu produk, kemudian penelitian ini berfokus pada parameter pemotongan yaitu kecepatan spindel pada gerak *roughing* dan gerak *finishing*. Pembatasan masalah yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- a. Spesimen uji atau bahan yang digunakan yaitu aluminium coran dengan bentuk *crankcase*.
- b. Proses *machining* menggunakan mesin CNC *milling*.
- c. Alat potong yang digunakan yaitu pisau *endmill* diameter 16 mm.

- d. Setiap penyayatan diberikan cairan pendingin dengan dromus (dengan perbandingan campuran dengan air 1 : 3).
- e. Variasi parameter yang digunakan yaitu kecepatan spindle dan kedalaman pemotongan.
- f. Variasi kecepatan spindle yang digunakan yaitu 300 rpm, 1.200 rpm dan 3.200 rpm.
- g. Parameter *federate* atau kecepatan pemakanan menggunakan 90 mm/min.
- h. Kedalaman pemotongan yang digunakan yaitu kedalaman 2 mm pada gerak *roughing*, dan 0,5 mm pada gerak *finishing*.
- i. Jenis pengerjaan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan metode *pocket milling*.
- j. Hasil penyayatan selanjutnya akan dilakukan pengujian berupa uji getaran dan kekasaran yang mana akan didapatkan nilai kekasaran dari masing- masing spesimen uji.

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan uraian pembahasan diatas mengenai pengaruh parameter pemesinan terhadap tingkat kekasaran produk dan getaran mesin antara lain sebagai berikut :

- a. Bagaimanakah getaran mesin CNC *milling* pada pemotongan *pocket* dengan kecepatan spindle 300, 1.200 dan 3.200 rpm ?
- b. Bagaimanakah kekasaran permukaan pada pemotongan *pocket* dengan kecepatan spindle 300, 1.200 dan 3.200 rpm ?

- c. Apakah terdapat perbedaan pada variasi kecepatan spindle 300 rpm, 1200 rpm dan 3200 rpm terhadap getaran mesin ?
- d. Apakah terdapat perbedaan pada variasi kecepatan spindle 300 rpm, 1200 rpm dan 3200 rpm terhadap kekasaran permukaan ?

1.5. Tujuan

Tujuan yang dapat diberikan dalam pelaksanaan penelitian tersebut dengan ditentukannya rumusan masalah tersebut diatas adalah :

- a. Mengetahui bagaimana kecepatan spindle 300, 1.200 dan 3.200 rpm pada pemotongan *pocket* terhadap getaran mesin CNC milling.
- b. Mengetahui bagaimana kecepatan spindle 300, 1.200 dan 3.200 rpm pada pemotongan *pocket* terhadap kekasaran permukaan.
- c. Mengetahui perbedaan pada variasi kecepatan spindle 300 rpm, 1200 rpm dan 3200 rpm terhadap getaran mesin.
- d. Mengetahui perbedaan pada variasi kecepatan spindle 300 rpm, 1200 rpm dan 3200 rpm terhadap kekasaran permukaan.

1.6. Manfaat

Manfaat yang didapat dalam pelaksanaan penelitian diatas tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

Manfaat teoritis yang dapat diberikan yaitu dapat mengetahui dan dapat diaplikasikan dalam pembelajaran berkenaan dengan variasi parameter pemesinan dalam hal ini kecepatan *spindel* khususnya CNC *milling* berpengaruh terhadap getaran mesin dan nilai kekasaran permukaan hasil penyayatan, sehingga dalam pengaplikasiannya memberikan manfaat secara praktis yaitu sebagai berikut :

- a. Memberikan pengetahuan mengenai parameter pemesinan khususnya CNC yang dapat diaplikasikan dalam dunia industri.
- b. Mendapatkan solusi baru dalam hal meningkatkan kualitas produk dari aspek getaran dan kekasaran permukaannya.
- c. Memberikan inovasi baru yang selanjutnya dapat dikembangkan dengan melakukan penelitian selanjutnya dengan tujuan meningkatkan kualitas produk industri khususnya dalam bidang pemesinan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan yaitu penelitian oleh Retyawan, dkk (2017:8) dari Universitas Sebelas Maret dengan judul “Pengaruh Jenis Proses Pemotongan pada Mesin *Milling* terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan dengan Material Aluminium 6061” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis proses pemotongan pada mesin penggilingan terhadap getaran dan kekasaran permukaan aluminium 606. Hasilnya yaitu jenis proses pemotongan pada mesin *milling* berpengaruh pada getaran dan kekasaran permukaan, setiap jenis proses pemotongan memiliki gaya potong yang berbeda, semakin besar gaya pemotongan yang terjadi pada setiap jenis proses pemotongan, semakin besar nilai getaran dan kekasaran permukaan terjadi.

Penelitian yang sudah pernah dilakukan selanjutnya merupakan penelitian dari Margono dan Haikal (2018:66) dengan judul “Optimasi Parameter Pemesinan *Milling* terhadap Hasil Kekasaran Permukaan pada Kuningan UNS C26800 Menggunakan Metode Taguchi”, penelitian tersebut bertujuan untuk mencari parameter yang optimum pada pemesinan *milling* untuk material kuningan UNS C26800 dengan kombinasi dari 4 parameter yaitu kecepatan *spindle*, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan jenis pendingin. Hasilnya antara lain pengaruh dari putaran *spindle* terhadap kekasaran permukaan pada proses pemesinan *milling* material kuningan tidak berpengaruh signifikan, akan tetapi, faktor yang lebih berpengaruh secara signifikan adalah kedalaman pemakanan, dan

juga parameter proses pemesinan *milling* konvensional yang optimal untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang baik pada material kuningan UNS C26800 yaitu kecepatan putaran *spindle* 920 rpm, kecepatan pemakanan 132 mm/rev, kedalaman pemakanan 1,5 mm dan pendingin Dry/Udara.

Penelitian yang pernah dilakukan selanjutnya yaitu penelitian dari Yunus, dkk (2013:55) dengan judul “Pengaruh *Cutter Speed*, *Feed Rate* dan *Dept Of Cut* Pada Proses CNC *Milling* terhadap Nilai Kekasaran Baja AISI 1045 Berbasis Regresi Linear”, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan pengaruh besaran *cutter speed*, *feed rate* dan *dept of cut* pada proses CNC Frais/*Milling* terhadap nilai kekasaran baja AISI 1045. Hasilnya menyatakan menyatakan bahwa 85,4% besarnya *cutter speed*, *feed rate* dan *dept of cut* berpengaruh terhadap nilai kekasaran dan 14,6% nilai kekasaran dipengaruhi oleh gesekan chip terhadap benda kerja, kondisi pisau frais/cutter dan kesalahan teknis lainnya, nilai keksaran yang paling kecil (permukaan yang halus) didapat pada *cutter speed* 250 rpm, *feed rate* 42,5 mm/menit dan *dept of cut* 1,5 mm.

Penelitian yang pernah dilakukan selanjutnya yaitu penelitian dari Sugiantoro dan Khanif (2015:14) dengan judul “Pengaruh Parameter Permesinan pada Proses *Milling* dengan Pendinginan Fluida Alami (*Cold Natural Fluid*) Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 42”, penelitian ini bertujuan mencari optimasi permesinan *milling* pada material baja ST 40. Metode ini digunakan dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan sehingga dicapai kondisi yang optimal, hasilnya yaitu *cutting condition* menempati peringkat pertama untuk respon kekasaran permukaan daerah hasil proses *milling*,

ini berarti bahwa *cutting condition* memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil kekasaran permukaan hasil proses *milling*.

Penelitian yang pernah dilakukan selanjutnya yaitu penelitian dari Romiyadi (2016:52) dengan judul “ Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal *Knuth UFM 2*”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lereng benda kerja terhadap getaran pemesinan pada mesin *milling* dengan variasi *feeding*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan benda kerja, semakin besar pula getaran mesin frais yang terjadi baik pada proses *up milling* maupun pada proses *down milling*, begitu pula dengan pengaruh perubahan kecepatan pemakanan terhadap getaran mesin frais, perubahan kecepatan pemakanan akan memberikan pengaruh positif terhadap getaran mesin frais. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa getaran mesin frais yang terjadi pada proses *down milling* lebih tinggi dibandingkan dengan getaran pada proses *up milling* untuk semua kemiringan *spindel*.

Kelima penelitian yang pernah diteliti sebelumnya membahas berdasarkan parameter dalam mesin CNC *milling* yang berpengaruh terhadap getaran dan kekasaran permukaan suatu benda yaitu berdasarkan parameter kecepatan potong atau *spindle speed*, kecepatan pemakanan atau *feed rate* dan kedalaman pemakanan yaitu *depth of cut* terbukti berpengaruh terhadap tingkat kekasaran namun apakah hal tersebut mempunyai pengaruh yang sama terhadap jenis proses *machining* dalam hal ini menggunakan *pocket milling*. Parameter yang sama maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah parameter penelitian yang sudah dijelaskan

diatas mempunyai pengaruh yang sama terhadap getaran dan kekasaran dalam proses *pocket milling* mesin CNC *milling*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Mesin CNC *Milling*

Awal lahirnya mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearseon 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 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 masal.

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.



Gambar 2.1 Mesin Frais CNC *type bed* (*bed type CNC milling machine*).
sumber Widarto (2008:191)

CNC *mill* 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 asesoris 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.

2.2.2 Parameter mesin

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, et al 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, et al 2012:4105).

Parameter mesin yang harus diperhatikan dalam proses *machining* diantaranya sebagai berikut :

a. 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) :

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ Rpm}$$

Di mana :

v = kecepatan potong (m/menit)

D = diameter pisau (mm)

n = putaran benda kerja (putaran/menit)

Rpm = rotasi per menit

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 2.1 *Cutting speed* untuk beberapa bahan yang sering digunakan dalam dunia pemesinan (sumber Sumbodo dalam 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

b. Feed Rate

Feed rate atau gerakan makan merupakan suatu parameter yang diperlukan dalam menentukan kecepatan makan pada proses penyayatan 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).

$$V_f = n \times f_z \times Z$$

Di mana :

- V_f = gerak makan (mm/menit)
 n = kecepatan putaran (Rpm)
 f_z = kecepatan makan pergigi (mm/tooth)
 Z = jumlah mata potong end mill

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 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.

Tabel 2.2 Gerak makan *fz* untuk berbagai kedalaman potong dan material benda kerja untuk beberapa diameter alat potong *Endmill* (sumber Wijanarka, 2012: 91)

Material benda kerja	Kedalaman potongan 0,05'' (1,25mm)			Kedalaman potong 0,25'' (6mm)	
	Diameter alat potong				
	3mm	10mm	12.5mm	10mm	18mm
Plain carbon steels	0,0012-0,025	0,050-0,075	0,075-0,1	0,025-0,050	0,050-0,1
High carbon steel	0,0003-0,025	0,025-0,075	0,050-0,1	0,0003-0,025	0,025-0,1
Tool steel	0,0012-0,025	0,025-0,075	0,050-0,1	0,025-0,050	0,075-0,1
Cast aluminium alloy	0,050	0,075	0,125	0,075	0,2
Cast aluminium hard	0,025	0,075	0,125	0,075	0,150
Brasses & bronzes	0,0012-0,025	0,075-0,1	0,1-0,150	0,050-0,075	0,1-0,150
Plastic	0,050	0,1	0,125	0,075	0,2

c. *Depth of Cut*

Parameter pemesinan yang paling penting yang mempengaruhi kinerja pemesinan dari mesin milling dan turning CNC adalah kecepatan potong, laju

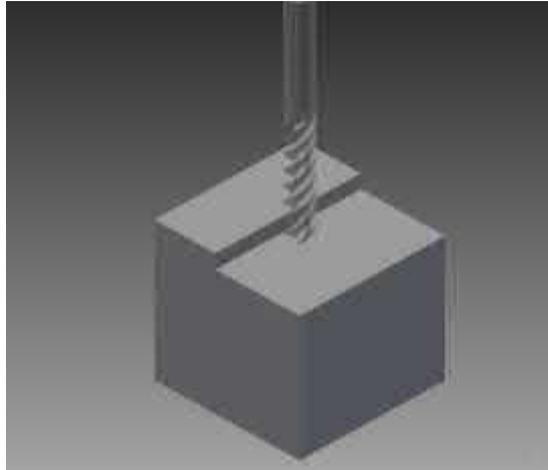
pengumpanan, dan kedalaman pemotongan baik kedalaman potong aksial dan kedalaman potong radial (Imhade, 2018: 978). Kedalaman potong ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir, untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang 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).

2.2.3 Jenis pekerjaan *milling*

Terdapat banyak sekali pekerjaan yang bisa dilakukan dengan mesin CNC *milling* dimulai dengan pekerjaan yang siple 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 :

a. Face milling

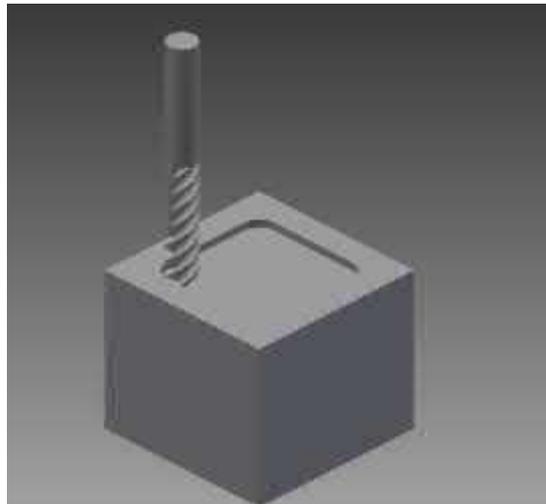
Face mill membuat permukaan benda kerja rata untuk memberikan hasil yang halus, kedalaman pemakanan biasanya sangat kecil, dikarenakan untuk menghilangkan bagian dari permukaan yang cacat atau tidak dipakai ataupun digunakan untuk meratakan permukaan benda, dapat dikerjakan dalam satu lintasan tunggal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



Gambar 2.2 Proses *face milling*

b. *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.

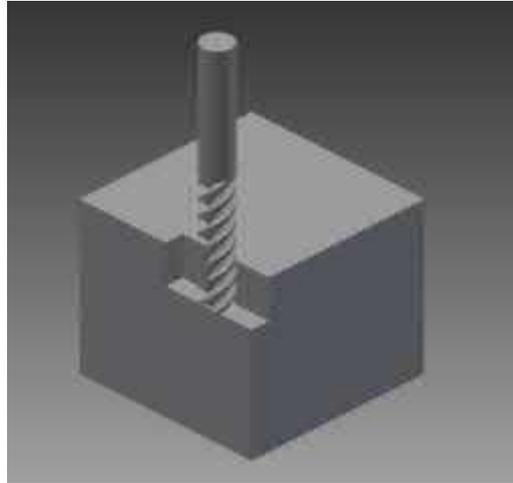


Gambar 2.3 Proses *pocket milling*

c. *Profile milling*

Profile milling merupakan salah satu jenis pengerjaan yang ada pada mesin CNC *milling* yang mana digunakan untuk membentuk pola bagian sisi luar suatu

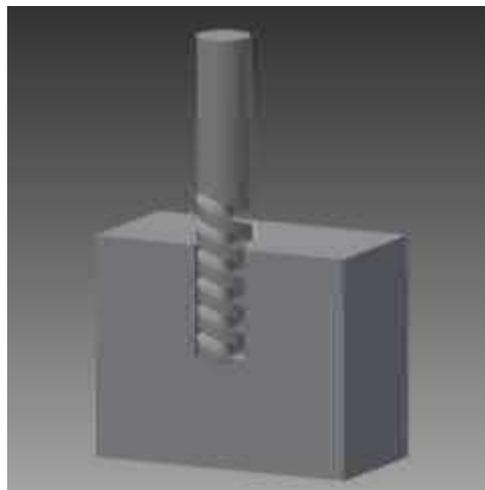
benda dengan menggunakan sisi potong samping pahat *endmill* sebagai mata potong.



Gambar 2.4 Proses *profile milling*

d. Drill

Drill atau bor yaitu proses pahat bor memasuki benda kerja secara aksial dan memotong lubang dengan diameter sama dengan alat, biasanya lubang yang akan dibor disesuaikan dengan diameter matabor yang digunakan. Operasi pengeboran dapat menghasilkan lubang buta, yang melebar ke beberapa kedalaman di dalam benda kerja, atau lubang melalui, yang meluas sepenuhnya melalui benda kerja.



Gambar 2.5 Proses *drill milling*

2.2.4 Pisau Frais

Pisau frais (alat potong) 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 :

- a. Pisau silindris, pisau ini digunakan untuk menghasilkan permukaan horizontal dan dapat mengerjakan permukaan yang lebar dan pekerjaan berat.
- b. 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.
- c. *Slotting cutter*, pisau ini hanya memiliki gigi di bagian kelilingnya dan pisau ini digunakan untuk pemotongan celah dan alur pasak.
- d. *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.

- e. *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.
- f. Frais muka, pisau ini dibuat untuk mengerjakan pemotongan berat dan juga digunakan untuk menghasilkan permukaan yang datar, ini lebih akurat daripada *cylindrical slab mill/ frais slab silindris*.



Gambar 2.6 Beberapa macam pisau *milling* (sumber Windarto, 2008:189)

Spesifikasi bahan pahat untuk proses *milling*, karena pahat dibuat dengan memperhatikan segi tertentu merupakan sebagai berikut (Ansyori, 2015:30) yaitu:

- a. Kekerasan, yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruangan di sekitar peralatan, tetapi juga pada temperatur tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung.

- b. Keuletan, yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi pada saat proses pemesinan berlangsung, dimana benda kerja mengandung partikel/ bagian logam yang keras (*hard spot*).
- c. Ketahanan beban kejut termal, diperlukan bila terjadi perubahan temperatur yang cukup besar secara berkala atau periodik.
- d. Sifat adhesi yang rendah, untuk mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan.
- e. Daya larut elemen/ komponen material pahat yang rendah, dibutuhkan untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme difusi.

2.2.5 Kekasaran

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).

Laju pemakanan, kecepatan spindel, kedalaman potong, rasio step over dan rasio lebar pemotongan dengan diameter pahat pemotong diakui sebagai parameter pemotongan paling signifikan yang mempengaruhi kekasaran permukaan (Khorasani, 2012:70).

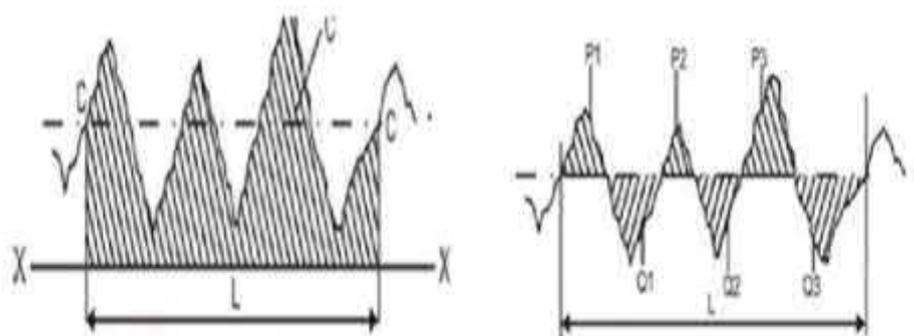
Kekasaran permukaan merupakan salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi potongan dari proses permesinan, oleh karena itu untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, perlu didukung oleh proses permesinan yang tepat. Proses pemesinan *milling* terdapat berapa parameter yang berpengaruh pada kekasaran permukaan komponen diantaranya kecepatan potong, kecepatan putaran, kedalaman pemotongan, kecepatan makan, strategi pemesinan, pergeseran pahat, jenis material bahan baku, jenis pahat, material pahat, dimensi pahat, geometri pahat, penggunaan cairan pendingin dan faktor-faktor lain pada proses pemesinan seperti adanya getaran, defleksi pahat, temperatur operasi dan keausan pahat (Suteja, dkk 2008:3).

Yunus (2013:56) menyatakan bahwa kekasaran permukaan dibedakan menjadi dua bentuk, diantaranya :

- a. *Ideal Surface Roughness*, yaitu kekasaran ideal yang dapat dicapai dalam suatu proses permesinan dengan kondisi ideal.
- b. *Natural Surface Roughness*, yaitu kekasaran alamiah yang terbentuk dalam proses permesinan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi proses permesinan diantaranya : keahlian operator, getaran yang terjadi pada mesin, ketidaktepatan gerakan komponen - komponen mesin, ketidakteraturan *feed mekanisme*, adanya cacat pada material, gesekan antara *chip* dan material.

Paridawati (2015:59) menyatakan tingkat kekasaran suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya, kemudian untuk menghitung kekasaran rata-rata dapat dilakukan sebagai berikut :

Langkah awal gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah, kemudian tarik sampel panjang pengukuran sepanjang L yang memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama seperti gambar 2.8, kemudian ambil luasan daerah A di bawah kurve dengan menggunakan *planimeter* atau dengan metode ordinat, dengan demikian diperoleh jarak garis center C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus seperti yang terlihat dari gambar 2.9.



Gambar 2.7 Bentuk ketidakrataan permukaan
(sumber Paridawati 2015: 61)

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

Ra dapat ditentukan besarnya dengan rumus sebagai berikut (sumber Paridawati 2015: 61) :

$$Ra = \frac{\text{luas daerah } P + \text{luas daerah } Q}{L} \times \frac{1000}{V_v} \mu m$$

Dimana :

V_v = Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam milimeter.

L = Panjang sampel pengukuran dalam milimeter.

Paridawati (2015:61) menyatakan seperti halnya dengan toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran, dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah, dibawah menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.3 Toleransi harga kekasaran (sumber Sudji Munaji dalam Paridawati 2015)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (m)	Harga Ra (m)	Toleransi $N_{+50\%}^{-25\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	
N3	4	0.1	0.08 – 0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	2.5
N11	1000	25.0	18.75 – 37.5	
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

2.2.6 Getaran

Hidayat (2017:66) menyatakan getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu, getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. 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: 979).

Jenis jenis getaran menurut Bowo (2017:2) ada beberapa macam antara lain sebagai berikut :

- a. Getaran bebas tanpa peredaman, getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*) dan jika ada gaya luar yang bekerja.

- b. Getaran bebas dengan peredaman, bila peredaman diperhitungkan, berarti gaya peredam juga berlaku pada massa selain gaya yang disebabkan oleh peregangan pegas.
- c. Getaran paksa tanpa peredaman, getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan.

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, et al 2017: 3671). Sugondo (2008:2) 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. 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 menurut Romiyadi (2016:53).

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			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
1.10	45.0				

Class I. Small-sized machines (powered from 0 to 15 KW)

Class II. Medium-sized machines (powered from 15 to 75 KW)

Class III. Large-sized machines (powered > 75 KW) mounted on "Rigid Support" structures and foundations

Class IV. Large-sized machines (powered >75 KW) mounted on "Flexible Support" structures

Tabel 2.4 level getaran mesin per ISO 10816 (sumber Phase II Machine Tools dalam romiyadi, 2016:53).

Maksud dari tabel diatas yaitu untuk mengetahui kelayakan kondisi mesin berdasarkan daya yang digunakan mesin.

- Kategori A berwarna hijau, getaran mesin sangat baik dan dibawah getaran yang diijinkan.
- 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.

Andrean (2017:170) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa 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.

Hidayat (2017:68) ada 3 dasar yang menjadi parameter dalam melakukan pengukuran vibrasi yaitu :

a. *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 dijukkan dalam satuan mil (dimana mil = 0,001 inc) atau dalam *micron* (dimana 1 *micron* = 0,001 mm).

b. *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.

c. *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 sec^2 .

Lulus (2009:60) menyatakan 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, menurut Lulus (2009:60) penyebab getaran terjadi antara lain sebagai berikut :

a. 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.

b. 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.

c. 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.

d. Getaran karena kelonggaran mekanik

Getaran tersebut bisa terjadi akibat baut kendur, kelonggaran bearing berlebih, atau retak pada struktur bearing.

2.2.7 Crankcase

Crankcase atau rumah bak merupakan rumah bagi poros engkol (*crankshaft*), bentuk utama dari *crankcase* ini membentuk rongga terbesar dalam mesin dan terletak di bawah silinder, pada mesin multi silinder biasanya diintegrasikan ke dalam satu atau beberapa blok silinder, yang merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dan membentuk blok mesin.

Crankcase dalam pengaplikasiannya pada proses pemesinan, selain berfungsi melindungi crankshaft, juga memiliki fungsi lain antara lain sebagai berikut :

1. Sebagai tempat atau wadah yang berisikan air pelumas (oli) yang ada dalam mesin.
2. Menyediakan struktur kaku yang dapat digunakan untuk bergabung dengan mesin ke transmisi.
3. Dalam beberapa kasus, bahkan merupakan bagian dari frame kendaraan (pada traktordan sepeda motor skutik).

Crankcase merupakan komponen yang memiliki fungsi penting dalam sebuah mesin, sesuai dengan fungsinya yang telah dituliskan sebelumnya maka material yang digunakan harus memiliki kekuatan dan ketahanan (*durability*) terhadap tekanan, suhu tinggi, benturan, tetapi tidak terlalu membutuhkan keuletan, sehingga

material yang dipilih adalah Aluminium Paduan (*Aluminium Alloy*) dengan spesifikasi *Aluminium Alloy Non-heat treatable* yaitu jenis aluminium yang tidak dapat dikeraskan.



Gambar 2.8 *Crankcase* mesin pemotong rumput

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh parameter penelitian dalam hal ini kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan terhadap nilai getaran mesin dan kekasaran permukaan yang mengacu pada rumusan masalah dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan putaran spindel berpengaruh terhadap harga kekasaran permukaan dengan menggunakan CNC *milling*, semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin halus harga kekasaran yang didapatkan, asal tidak melebihi kecepatan yang diizinkan berdasarkan bahan material yang digunakan, selain kecepatan potong kedalaman pemakan juga berpengaruh terhadap nilai kekasaran semakin kecilnya kedalaman pemakanan maka nilai kekasaran yang dihasilkan semakin kecil pula. Nilai kekasaran terbaik terjadi pada kecepatan 3200 rpm, pada kedalaman pemakanan 2 mm yakni sebesar 0,6 μm , sementara itu pada kedalaman 0,5 mm sebesar 0,57 μm .
2. Kecepatan putaran spindel berpengaruh pada nilai getar sebuah mesin, saat sedang beroperasi dalam pengerjaan *pocket* pada CNC *milling*, semakin tinggi kecepatan putaran spindel yang digunakan maka nilai getar yang didapatkan akan semakin berkurang nilai, asal masih dalam batas kecepatan putar yang diizinkan, selain kecepatan potong kedalaman pemakan juga berpengaruh terhadap nilai getar mesin hal ini dapat dilihat dari semakin besarnya kedalaman pemakanan maka nilai getar yang dihasilkan semakin

besar pula. Nilai getar terbaik terjadi pada kecepatan 3200 rpm, dengan nilai getar pada kedalaman 2 mm yakni 1,365 mm/s, sementara itu pada kedalaman 0,5 mm sebesar 0,685 mm/s.

3. Berdasarkan uji T berpasangan pada pasangan varian dapat diketahui pada nilai getaran pada gerak *roughing* pasangan 300 rpm vs 1200 rpm, 300 rpm vs 3200 rpm, 1200 rpm vs 3200 rpm terdapat perbedaan, pada gerak *finishing* semua pasangan terdapat perbedaan kecuali pasangan 300 rpm vs 1200 rpm.
4. Berdasarkan uji T berpasangan pada pasangan varian dapat diketahui pada nilai kekasaran pada gerak *roughing* pasangan 300 rpm vs 1200 rpm, 300 rpm vs 3200 rpm, 1200 rpm vs 3200 rpm terdapat perbedaan, pada gerak *finishing* semua pasangan terdapat perbedaan kecuali pasangan 300 rpm vs 1200 rpm.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti saran yang dapat diberikan guna penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut :

1. Penggunaan parameter kecepatan pemotongan dalam pembuatan *crankcase* ini dalam hal ini gerak *finishing* dapat menggunakan kecepatan 3200 rpm (dengan rentang kecepatan yang diperbolehkan sesuai dengan bahan material) guna mendapatkan kekasaran yang paling optimal.
2. Agar mendapatkan hasil getaran optimal dalam hal ini semakin kecil getaran yang dihasilkan dapat menggunakan parameter kecepatan putaran spindel sebesar 3200 rpm (semakin tinggi dengan didasarkan perhitungan kecepatan putaran spindel), dengan kedalaman penyayatan yang tidak terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrean. M. Y dan Arya. M. S. 2017. Analisa Getaran Pahat terhadap Kerataan Material Baja Mild Steel St42 pada Proses Bubut Konvensional. *Jurnal Teknik Mesin*. (5) : 169 – 174
- Ansyori. 2015. Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Freis Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical* (6): 28- 35
- Bowo gatot. A, B. Setiyana, Darmanto. 2017. Analisis Alat Uji Getaran Mekanis dengan Variasi Konstanta Pegas tanpa Peredam Viskos. *Momentum* (13) : 1-6
- Hadimi. 2008. Pengaruh Perubahan Kecepatan Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Pembubutan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika* (11): 18– 28
- Hidayat royhan dan G. Renggani wilis. 2017. Analisis Getaran pada Kompresor Mesin Pendingin dengan Variasi Putaran (RPM). *Teknik mesin* (15) : 65 – 71
- Khorasani A. M, M. R. S. Yazdi, M. S. Safizadeh. 2012. Analysis of Machining Parameters Effects on Surface Roughness: A Review. *Int. J. Computational Materials Science and Surface Engineering* (5): 68- 84
- Lulus lambang. R dan Didik djoko. 2009. Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran terhadap Efektifitas Metode Two - Plane Balancing untuk Sistem Poros Piringan Overhun. *Jurnal Mekanika* (7) : 58 – 76
- Margono bambang dan Haikal. 2018. Optimasi Parameter Pemesinan Milling terhadap Hasil Kekasaran Permukaan pada Kuningan UNS C26800 Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding KITT (Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco)* (1): 66- 71
- Paridawati. 2015. Pengaruh Kecepatan dan Sudut Potong terhadap Kekasaran Benda Kerja pada Mesin Bubut. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. (3) : 53- 67
- Imhade. P, E.Y. Salawu, O. N. Nwoke, U. C. Okonkwo, I. O. Ohijeagbon, K. Okokpujie. 2018. Effects of Process Parameters on Vibration Frequency in Turning Operations of Perspex Material. *Proceedings of the World Congress on Engineering* (2): 978- 988
- Rawangwonga Surasit, J. Chatthong, W. Boonchouytan, R. Burapa. 2014. Influence of Cutting Parameters in Face Milling Semi-Solid AA 7075 Using Carbide Tool Affected the Surface Roughness and Tool Wear. *Energy Procedia* (56): 448 – 457

- Retyawan okky. N, Indri yaningsih, Heru sukanto. 2017. Pengaruh Jenis Proses Pemotongan pada Mesin Milling terhadap Getaran dan Kekasaran Permukaan dengan Material Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* (12): 8- 13
- Romiyadi. 2012. Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2. *Jurnal Mechanical* (7) : 52- 60
- Sudjana. 2005. *Metoda Statistiska*. Cetakan Ketujuh. Bandung: PT. Tarsito.
- Sugiantoro bambang dan Khanif setiyawan. 2015. Pengaruh Parameter Permesinan pada Proses Milling dengan Pendinginan Fluida Alami (Cold Natural Fluid) terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST 42. *Intuisi Teknologi dan Seni* (7): 14- 24
- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D)*. Bandung: Alfabeta
- Sugondo amelia, I. H. Siahaan, B. Kristanto. 2008. Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan terhadap Getaran dengan Menggunakan Mesin Bubut Chien Yeh CY 800 Gf. *Seminar Nasional* (7) : TM 1- 5
- Suteja. T. J, S. Candra, Y. Aquarista. 2008. Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. *Jurnal Teknik Mesin* (10): 1- 7
- Syafa'at imam, M. A. Wahid, S. M. B. Respati. 2016. Pengaruh Arah Pemakanan dan Sudut Permukaan Bidang Kerja terhadap Kekasaran Permukaan Material S45c pada Mesin Frais CNC Menggunakan Ballnose Endmill. *Momentum* (12): 1- 8
- Tomadi .S.H, J.A. Ghani, C.H. Che Haron, H. Mas Ayu, R. Daud. 2017. Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in End Milling of AlSi/AlN Metal Matrix Composite. *Procedia Engineering* (184): 58 – 69
- Walid azizi. M, S. Belhadi, M. A. Yallese, T. Mabrouki, J. F. Rigal. 2012. Surface Roughness and Cutting Forces Modeling for Optimization of Machining Condition in Finish Hard Turning of AISI 52100 Steel. *Journal of Mechanical Science and Technology* (12): 4105- 4114
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesin untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesin untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

- Wijanarka B.S. 2011. *Teknik permesinan frais CNC*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Yudhyadi. I G.N.K, Tri Rachmanto, A. D. Ramadan. Optimasi Parameter Permesinan terhadap Waktu Proses pada Pemrograman CNC Milling dengan Berbasis CAD/CAM. *Dinamika Teknik Mesin* (6) : 36-60
- Yunus moch, M. Ginting, Karmin. 2013. Pengaruh Cutter Speed, Feed Rate dan Dept of Cut Pad Proses CNC Milling terhadap Nilai Kekasaran Baja Aisi 1045 Berbasis Regresi Linear. *Jurnal Austenit* (5): 55- 62
- Zahoor sadaf, N. A. Mufti, M. Q. Saleem. 2017. Effect Of Machine Tool's Spindle Forced Vibrations on Surface Roughness, Dimensional Accuracy, and Tool Wear in Vertical Milling Of AISI P20. *Int J Adv Manuf Technol* (89) : 3671–3679
- Zubaidi, I. Syafa'at, Darmanto. 2012. Analisis Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan Material FCD 40 pada Mesin Bubut CNC. *Momentum* (48): 40- 47