



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN LINTASAN PAHAT DAN MANUFAKTUR
MINI IMPELLER DENGAN PROSES MILLING 5-AXIS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**M. GANI MAULANA
0806330270**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : M. Gani Maulana

NPM : 0806330270

Tanda Tangan :



Tanggal : 2 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : M. Gani Maulana
NPM : 0806330270
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pembuatan Lintasan Pahat Dan Manufaktur Mini Impeller Dengan Proses Milling 5-Axis

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M. Eng



Penguji : Jos Istiyanto, ST., MT., Ph.D



Penguji : Prof. Dr. Ir. Tresna P. Sumardi, SE., M.Si



Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro, ST., MT., M.Eng



Penguji : Yudan Whulanza, ST., M.Sc, Ph.D



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Ayah, dan Kakak, yang telah memberikan segala dukungan dan motivasi yang tak terhingga selama saya belajar hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Dr. Ir Gandjar Kiswanto, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan baik waktu, pikiran, dan tenaga selama proses penyelesaian skripsi.
3. Prof. Tresna P. Sumardi, Dr. Ario Sunar Baskoro, Jos Istiyanto, Ph.D, dan Yudan Whulanza, Ph.D selaku dosen penguji yang ikut membantu memberikan ide, saran, dan kritik yang membangun sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik.
4. Bapak Hendri Paul, Bapak Yunanto, Mas Nova, dan Mas Doni yang telah membantu saya selama membuat program dan melakukan proses pemesinan di ATMI Cikarang.
5. Bapak Ir. H. Budianto, dan keluarga besar Bapak Faturrachman yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama saya kuliah di FTUI.
6. Keluarga besar Bapak H. Chudori Anwar yang telah memberikan banyak bantuan selama saya kuliah di FTUI.
7. Teguh Santoso, ST. dan Jediel Billy, ST. selaku asisten dosen, senior, dan juga teman yang memberikan inspirasi selama proses penyelesaian skripsi.
8. Julhamius (Ijul), Derris, Ferdian, Bayu bikun dan cong, Apipah, Dunker, Dedy, Bobby, Yogi, Agus, Raka, dan Achmad H teman seperjuangan pengerjaan skripsi yang telah melalui susah dan senang bersama-sama.
9. Mas Nurul selaku Laboran DTM FTUI yang telah membantu selama saya mengerjakan simulasi di laboratorium komputer di lantai 4.

10. Mba Yani selaku pustakawan DTM FTUI yang telah membantu saat peminjaman buku-buku.
11. Seluruh Dosen, Karyawan, Staf, dan keluarga besar DTM FTUI yang telah membantu selama saya menimba ilmu dan pengalaman di Teknik Mesin.
12. Seluruh M08 yang telah berjuang bersama-sama, bersuka ria, dan berkeluh kesah dari awal hingga meraih gelar ST.
13. Seluruh Pihak yang membantu dan mendoakan atas kelancaran selama masa pembuatan skripsi ini.
14. Ambar yang selalu sabar mendengarkan segala keluhan, memberikan semangat, dan setia menemani saya.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas dan semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

M. Gani Maulana

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Gani Maulana
NPM : 0806330270
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pembuatan Lintasan Pahat Dan Manufaktur Mini Impeller Dengan Proses Milling 5-Axis”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan



M. Gani Maulana

ABSTRAK

Nama : M. Gani Maulana

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengembangan Lintasan Pahat Dan Manufaktur Mini Impeller
Dengan Proses Milling 5-Axis

Pembuatan mini impeller telah dikembangkan sebagai jawaban atas kebutuhan terhadap mini turbine untuk pembangkit listrik mini. Mini impeller yang dibuat dapat digunakan sebagai rotor turbin ataupun kompresor pada pengembangannya. Tujuan dari penelitian ini ada dua, yaitu melakukan pengembangan lintasan pahat untuk mini impeller dan melihat sejauh mana mesin milling 5-axis berukuran makro dapat digunakan untuk membuat mini impeller. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu membuat desain impeller, melakukan pengembangan lintasan pahat dan simulasi, dan melakukan pembuatan komponen melalui proses pemesinan 5-axis. Dari lintasan pahat dan parameter pemesinan yang dikembangkan, dua buah mini impeller dengan diameter 54 mm dan 27 mm berhasil diproduksi. Hasil proses pemesinan menunjukkan mini impeller dengan diameter 54 mm memiliki blade dengan ketebalan 0.6 mm sedangkan mini impeller dengan diameter 27 mm memiliki blade dengan ketebalan 0.3 mm. Geometri impeller hasil proses pemesinan telah sesuai dengan desain pada saat pemodelan.

Kata kunci: Mini Impeller, Proses Milling 5-axis, Pengembangan Lintasan Pahat

ABSTRACT

Name : M. Gani Maulana

Study Program : Teknik Mesin

Judul : Tool Path Generation And Manufacturing Of 5-Axis Milling Of
Mini Impeller

The development of mini impeller has been made in response to the needs of the mini-turbine for mini power plant. The mini impeller that has been made has diameter of 54 mm and blade thickness of 0.6 mm that can be used as a compressor or turbine rotor in its development. There are two purpose of this study, to develop the tool path generation for mini impellers and to see how far the macro size 5-axis milling machine can be used to make mini impellers. This research was conducted with several stages, such as designing the impeller, Developing and simulating the tool path generation, and making the component by using 5-axis milling machine. From the tool path generation and machining parameters developed, two mini impellers with diameter of 54 mm and 27 mm respectively have been successfully produced. The machining result shows that mini impeller with diameter of 54 mm has blade with thickness of 0.6 mm meanwhile another one with diameter of 27 mm has blade with thickness of 0.3 mm. The geometry of mini impellers by machining processes is in accordance to the modeling design.

Key words: Mini Impeller, 5-Axis Milling, Tool Path Generation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRAC	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 DASAR PEMODELAN DAN PENGEMBANGAN MODEL IMPELLER	
2.1 Dasar Pemodelan	7
2.2 Geometri Impeller.....	14
2.3 Spesifikasi Benda Uji.....	16
2.4 Pemodelan Hub.....	17
2.5 Pemodelan Blade	19
2.6 Pemodelan splitter.....	26

**BAB 3 PENGEMBANGAN LINTASAN PAHAT DAN PARAMETER
PEMESINAN IMPELLER DIAMETER 54 MM**

3.1 Dasar Pemesinan Milling 5-axis	31
3.2 Parameter Pemesinan.....	33
3.3 Pengembangan Lintasan Pahat	36

**BAB 4 PROSES PEMESINAN DAN PENGECEKAN KUALITAS HASIL
PEMESINAN IMPELLER DIAMETER 54 MM**

4.1 Spesifikasi Alat Uji.....	59
4.2 Persiapan Proses Pemesinan	64
4.3 Proses Pemesinan Impeller Diameter 54 mm	67
4.4 Pengukuran Menggunakan Mesin CMM	75

**BAB 5 PENGEMBANGAN LINTASAN PAHAT DAN PARAMETER
PEMESINAN IMPELLER DIAMETER 27 MM**

5.1 Perubahan Model Impeller	80
5.2 Pengembangan Lintasan Pahat	81

**BAB 6 PROSES PEMESINAN DAN PENGECEKAN KUALITAS HASIL
PEMESINAN IMPELLER DIAMETER 27 MM**

6.1 Proses Pemesinan Impeller Diameter 27 mm	91
6.2 Pengukuran Menggunakan Mesin CMM	100

BAB 7 ANALISIS

7.1 Analisis Parameter Proses Pemesinan	102
7.2 Analisis Waktu Pemesinan	110
7.3 Analisis Toolpath	123
7.4 Analisis Kualitas Hasil Pemesinan	130
7.5 Analisis Cutting Tool	133
7.6 Analisis Fluida Pendingin	134

7.6 Analisis Clamping Device	134
BAB 8 KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT	
8.1 Kesimpulan	135
8.2 Saran.....	135
REFERENSI	137
LAMPIRAN	138



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh garis dengan titik awal E_1 dan titik akhir E_2	8
Gambar 2.2 Contoh lingkaran dengan titik pusat	8
Gambar 2.3 Contoh spline	9
Gambar 2.4 Contoh fitur trim	9
Gambar 2.5 Circular array	10
Gambar 2.6 Rectangular array	10
Gambar 2.7 Contoh surface modeling	11
Gambar 2.8 Operasi extrude	12
Gambar 2.9 Operasi revolve	12
Gambar 2.10 Operasi loft.....	13
Gambar 2.11 Operasi fillet: a. fillet luar, b. fillet dalam.....	13
Gambar 2.12 Boolean union	13
Gambar 2.13 Boolean intersection	14
Gambar 2.14 Boolean difference	14
Gambar 2.15 Geometri Impeller	15
Gambar 2.16 Jenis-jenis impeller: a. impeller non-twisted blade, b. impeller twisted blade without splitter, c. impeller twisted blade with a splitter, d. impeller twisted blade with three splitters	16
Gambar 2.17 Impeller twisted blade dengan splitter	16
Gambar 2.18 Flowchart pemodelan impeller	17
Gambar 2.19 Geometri hub pada impeller	18
Gambar 2.20 Model 2D dari hub	18
Gambar 2.21 Metode revolve pada solid modeling	19
Gambar 2.22 Geometri blade pada impeller	20
Gambar 2.23 Alur proses pembuatan blade: a. Kerangka model yang dibentuk dari garis dan spline, b. Surface yang dibentuk dari meshing, c. Solid model setelah surface diberi ketebalan	21
Gambar 2.24 Geometri shroud pada impeller	22
Gambar 2.25 Model 2D dari shroud yang diubah menjadi solid model (blank material) dengan metode revolve	22
Gambar 2.26 Proses pembentukan blade dengan metode trim body	23
Gambar 2.27 Geometri blend pada impeller	24
Gambar 2.28 Proses blending pada bagian atas blade (kiri) dan di daerah	

pertemuan antara hub dan blade (kanan)	25
Gambar 2.29 Proses array blade secara circular	26
Gambar 2.30 Impeller dengan enam blade	26
Gambar 2.31 Geometri splitter pada impeller	26
Gambar 2.32 Proses pemodelan splitter: a. kerangka splitter, b. mesh splitter, c. solid body splitter	27
Gambar 2.33 Pembentukan splitter blade dengan proses trimming.....	28
Gambar 2.34 Alur proses blending dan array geometri splitter	29
Gambar 2.35 Pelubangan pada bagian tengah impeller dan blending pada bagian atas hub	30
Gambar 3.1 Arah gerak milling 5-axis	31
Gambar 3.2 Tipe gerakan cutting tool pada milling 5-axis	32
Gambar 3.3 Jenis pemakanan cutting tool	32
Gambar 3.4 Tipe pemakanan cutting tool berdasarkan arah masuknya terhadap workpiece	33
Gambar 3.5 Parameter pemesinan pada proses milling	34
Gambar 3.6 Flowchart pengembangan lintasan pahat	37
Gambar 3.7 Perpindahan format CAD menjadi format CAM pada NX.....	38
Gambar 3.8 Pendefinisian part dan blank material	40
Gambar 3.9 Pendefinisian bagian pada impeller	41
Gambar 3.10 Spesifikasi cutting tool	41
Gambar 3.11 Pendefinisian level dan set pada Powermill	42
Gambar 3.12 Pendefinisian block	43
Gambar 3.13 Pendefinisian cutting tool beserta shank dan holder	44
Gambar 3.14 Strategi proses roughing, layer awal (kiri) dan layer akhir (kanan) pada impeller diameter 54 mm	44
Gambar 3.15 Program roughing sebelum dan sesudah di-copy pada impeller diameter 54 mm	46
Gambar 3.16 Simulasi proses roughing impeller diameter 54 mm pada software NX..	46
Gambar 3.17 Interface pemrograman roughing pada Powermill	47
Gambar 3.18 Lintasan pahat pada proses roughing	48
Gambar 3.19 Simulasi proses roughing impeller diameter 54 mm pada software Powermill	49

Gambar 3.20 Strategi proses finishing blade, tampak depan (kiri) dan tampak belakang (kanan) pada impeller diameter 54 mm	49
Gambar 3.21 Program finishing blade sebelum dan sesudah di-copy untuk impeller diameter 54 mm	51
Gambar 3.22 Gambar finishing splitter sebelum dan sesudah di-copy	51
Gambar 3.23 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 54 mm pada software NX.....	52
Gambar 3.24 Lintasan pahat pada proses finishing blade dan splitter	53
Gambar 3.25 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 54 mm pada software Powermill.....	53
Gambar 3.26 Strategi proses finishing hub pada impeller diameter 54 mm	54
Gambar 3.27 Pengaturan stock pada model	55
Gambar 3.28 Proses finishing hub sebelum dan sesudah di-copy impeller diameter 54 mm	56
Gambar 3.29 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 54 mm pada software NX.....	56
Gambar 3.30 Pengaturan ketebalan sisa saat proses finishing hub	57
Gambar 3.31 Lintasan pahat pada proses finishing hub	58
Gambar 3.32 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 54 mm pada software Powermill.....	58
Gambar 4.1 DMG DMU 50 evo linear	59
Gambar 4.2 Keterangan pada mesin DMU 50	60
Gambar 4.3 Tipe cutting tool	62
Gambar 4.4 Clamping system	62
Gambar 4.5 Mesin CMM Crystal-Plus M443	63
Gambar 4.6 Touch probe pada mesin CMM	64
Gambar 4.7 Mesin DMU 50 evo linear dan benda kerja	66
Gambar 4.8 Flowchart proses pemesinan	66
Gambar 4.9 Raw material awal	67
Gambar 4.10 Kerusakan raw material akibat cutting tool yang besar	68
Gambar 4.11 Hasil proses pembuatan shroud	69
Gambar 4.12 Impeller saat proses roughing	70
Gambar 4.13 Impeller setelah proses roughing; tampak atas (kiri), tampak depan	

(kanan)	70
Gambar 4.14 Impeller saat proses finishing blade (atas) dan setelah finishing blade (bawah)	72
Gambar 4.15 Impeller saat proses finishing hub (atas) dan setelah finishing hub (bawah)	73
Gambar 4.16 Impeller setelah proses pemotongan bagian bawah dengan mesin	74
Gambar 4.17 Raw material sisa hasil pemesinan impeller dengan splitter	74
Gambar 4.18 Impeller diameter 54 mm	75
Gambar 4.19 Flowchart pengukuran menggunakan CMM	75
Gambar 4.20 Mesin CMM Mitutoyo M443	76
Gambar 4.21 Penggunaan lilin untuk melekatkan komponen pada meja ukur	76
Gambar 4.22 Penentuan koordinat (0,0,0) pada mesin	77
Gambar 4.23 Penentuan titik (0,0,0) pada benda uji	77
Gambar 4.24 Pengukuran impeller diameter 54 mm	79
Gambar 4.25 Titik-titik hasil pengukuran pada impeller diameter 54 mm	79
Gambar 5.1 Flowchart pengembangan model impeller: a. penghapusan splitter, b. penambahan jumlah blade, c. penskalaan impeller, d. penskalaan raw material, e. impeller diameter 27 mm dan raw material	80
Gambar 5.2 Impeller twisted blade diameter 27 mm.....	81
Gambar 5.3 Spesifikasi cutting tool	81
Gambar 5.4 Strategi proses roughing, layer awal (kiri) dan layer akhir (kanan) pada impeller diameter 27 mm	82
Gambar 5.5 Program roughing sebelum dan sesudah di-copy pada impeller diameter 27 mm	83
Gambar 5.6 Simulasi proses roughing impeller diameter 27 mm pada software NX....	83
Gambar 5.7 Lintasan pahat pada proses roughing	84
Gambar 5.8 Simulasi proses roughing impeller diameter 27 mm pada software Powermill.....	84
Gambar 5.9 Strategi proses finishing blade, tampak depan (kiri) dan tampak belakang (kanan) pada impeller diameter 27 mm	85
Gambar 5.10 Program finishing blade sebelum dan sesudah di-copy diameter 27 mm	86
Gambar 5.11 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 27 mm pada software NX.....	86
Gambar 5.12 Toolpath proses finishing blade impeller diameter 27 mm	87

Gambar 5.13 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 27 mm pada software Powermill	87
Gambar 5.14 Strategi proses finishing hub impeller diameter 27 mm	88
Gambar 5.15 Proses finishing hub sebelum dan sesudah di-copy impeller diameter 54 mm	89
Gambar 5.16 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 27 mm pada software NX	89
Gambar 5.17 Toolpath proses finishing hub impeller diameter 27 mm	90
Gambar 5.18 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 27 mm pada software Powermill.....	90
Gambar 6.1 Raw material dan clamping device	92
Gambar 6.2 Proses roughing shroud yang sedang berlangsung	93
Gambar 6.3 Shroud setelah proses roughing	94
Gambar 6.4 Shroud setelah proses finishing	94
Gambar 6.5 Impeller dan cutting tool saat proses roughing	95
Gambar 6.6 Impeller setelah proses roughing	96
Gambar 6.7 Perbedaan blade sebelum dan sesudah finishing	97
Gambar 6.8 Impeller setelah finishing blade	97
Gambar 6.9 Impeller sebelum finishing hub	98
Gambar 6.10 Impeller setelah proses finishing hub: tampak depan (kiri), tampak atas (kanan)	98
Gambar 6.11 Kubus yang terbentuk setelah proses pemesinan	99
Gambar 6.12 Proses pemotongan dengan gergaji manual	99
Gambar 6.13 Raw material sisa hasil pemesinan impeller diameter 27 mm	100
Gambar 6.14 Impeller diameter 27 mm	100
Gambar 6.15 Pengukuran titik koordinat pada impeller diameter 27 mm	101
Gambar 6.16 Titik koordinat hasil pengukuran	101
Gambar 7.1 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses roughing impeller diameter 54 mm	103
Gambar 7.2 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing blade impeller diameter 54 mm	104
Gambar 7.3 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing hub impeller diameter 54 mm	105
Gambar 7.4 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses roughing impeller diameter 27 mm	107

Gambar 7.5 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing blade impeller diameter 27 mm	108
Gambar 7.6 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing hub impeller diameter 27 mm	109
Gambar 7.7 Data estimasi waktu pemesinan pada software NX impeller diameter 54 mm (kiri) dan diameter 27 mm (kanan)	110
Gambar 7.8 Waktu pemesinan proses roughing impeller diameter 54 mm	113
Gambar 7.9 Waktu pemesinan roughing impeller 54 mm feed 50%	115
Gambar 7.10 Waktu pemesinan proses finishing blade impeller diameter 54 mm	116
Gambar 7.11 Waktu pemesinan finishing blade impeller 54 mm feed 40%	117
Gambar 7.12 Waktu pemesinan finishing hub tahap akhir impeller 54 mm feed 40%	118
Gambar 7.13 Waktu pemesinan roughing impeller 27 mm feed 80%	119
Gambar 7.14 Waktu pemesinan finishing blade impeller 27 mm feed 90%	120
Gambar 7.15 Waktu pemesinan finishing hub impeller 27 mm feed 80%	122
Gambar 7.16 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses roughing impeller diameter 54 mm yang memiliki splitter	124
Gambar 7.17 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses roughing impeller diameter 27 mm	124
Gambar 7.18 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 54 mm	125
Gambar 7.19 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 27 mm	125
Gambar 7.20 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses finishing blade impeller diameter 54 mm yang memiliki splitter	126
Gambar 7.21 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses finishing blade impeller diameter 27 mm	126
Gambar 7.22 Penyederhanaan metode proses finishing blade (pada blade maupun splitter).....	127
Gambar 7.23 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses finishing hub impeller diameter 54 mm yang memiliki splitter	128
Gambar 7.24 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses finishing hub impeller diameter 27 mm	128
Gambar 7.25 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 54 mm	129

Gambar 7.26 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 27 mm129

Gambar 7.27 Kurva spline untuk shroud dan hub pada impeller diameter 54 mm (kiri) dan 27 mm (kanan)131

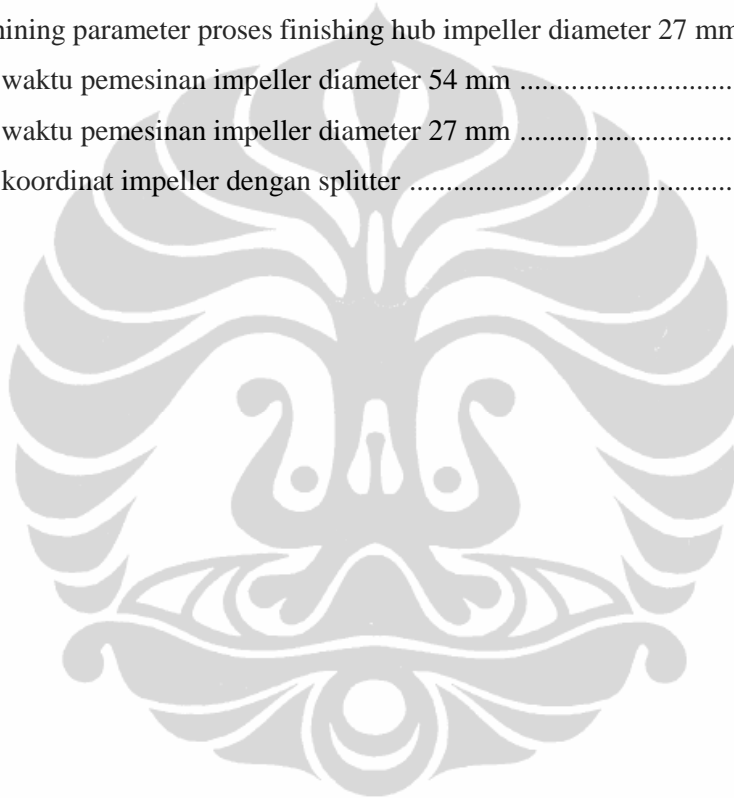
Gambar 7.28 Perbandingan shroud hasil pemesinan dengan desain awal impeller diameter 54 mm132

Gambar 7.29 Perbandingan shroud hasil pemesinan dengan desain awal impeller diameter 27 mm132



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Machining parameter proses roughing impeller diameter 54 mm	45
Tabel 3.2 Machining parameter proses finishing blade impeller diameter 54 mm	50
Tabel 3.3 Machining parameter proses finishing hub impeller diameter 54 mm	55
Tabel 4.1 Spesifikasi cutting tool	62
Tabel 5.1 Machining parameter proses roughing impeller diameter 27 mm	83
Tabel 5.2 Machining parameter proses finishing blade impeller diameter 27 mm	85
Tabel 5.3 Machining parameter proses finishing hub impeller diameter 27 mm	88
Tabel 7.1 Data waktu pemesinan impeller diameter 54 mm	111
Tabel 7.2 Data waktu pemesinan impeller diameter 27 mm	111
Tabel 7.3 Data koordinat impeller dengan splitter	130



BAB 1

PROSES PEMESINAN DAN PENGECEKAN KUALITAS HASIL PEMESINAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dunia akan *micro turbine* untuk *mini power plant* semakin meningkat dari waktu ke waktu sebagai akibat dari kebutuhan energi yang meningkat pula. Peningkatan kebutuhan tersebut menuntut industri manufaktur untuk dapat membuat *micro turbine* sesuai dengan banyaknya permintaan. *Micro turbine* dapat dibuat apabila segala komponen yang ada pada sebuah turbin ada pada ukuran yang mikro juga. Sebelum masuk ke dalam *micro turbine*, perlu dikembangkan turbin dalam ukuran mini yang dapat dijadikan acuan untuk dapat membuat turbin mikro. Di Indonesia, pembuatan turbin mini belum dibuat secara masal melainkan dalam tahap penelitian. Dalam penelitian tentang turbin mini, hal yang menjadi masalah utama adalah seberapa sulit suatu komponen berukuran mini dapat dibuat. Untuk itu, diperlukan satu komponen yang menjadi kunci bagi komponen lainnya yang berarti komponen tersebut merupakan komponen yang memiliki tingkat kesulitan paling tinggi untuk pembuatannya dibandingkan dengan komponen lainnya. *Impeller* merupakan komponen tersulit dalam pembuatan suatu turbin sehingga dapat dijadikan komponen kunci bagi komponen lainnya.

Selain karena ukurannya yang cenderung lebih kecil dibandingkan komponen lainnya pada sebuah turbin, *impeller* juga memiliki geometri yang lebih rumit dibandingkan komponen lainnya. Komponen utama dalam sebuah turbin adalah *turbine blade (rotor)* dan *compressor*. *Impeller* terdapat pada kedua bagian tersebut sehingga merupakan komponen yang berfungsi untuk menjalankan sebuah turbin. Untuk itu, untuk dapat membuat suatu turbin yang tidak hanya memiliki ukuran yang kecil tetapi juga memiliki efisiensi yang tinggi, dibutuhkan pengembangan pada *impeller* yang memiliki performa yang tinggi.

Di Indonesia, telah dilakukan penelitian pada *mini impeller*. Pada penelitian tersebut, *impeller* yang digunakan merupakan tipe *impeller* dengan *blade* tidak dipuntir dan tidak memiliki *splitter* di setiap ruas *blade*-nya. Pada

penelitian ini, dilakukan pengembangan pada *impeller* yang memiliki *blade* yang dipuntir sehingga memiliki tingkat kesulitan pemesinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Untuk dapat membuat *impeller* dengan *twisted blade* (dipuntir), digunakan mesin *milling* 5-axis agar dapat menjangkau setiap area pada *impeller* saat dilakukan proses pemesinan. Mesin *milling* yang ada di Indonesia saat ini secara keseluruhan memiliki ukuran yang besar oleh karena mesin tersebut dipergunakan untuk membuat komponen-komponen yang berukuran makro. Pada penelitian yang dilakukan, digunakan mesin *milling* 5-axis tersebut untuk dapat melakukan proses pemesinan pada *impeller* mini.

Sebelum melakukan proses pemesinan, diperlukan pengembangan lintasan pahat terlebih dahulu pada *impeller* mini tersebut agar proses pemesinan yang dilakukan dapat berjalan dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan lintasan pahat dan proses pemesinan *impeller* dengan menggunakan mesin *milling* 5-axis dan untuk melihat sejauh mana mesin *milling* 5-axis tersebut dapat digunakan dalam pembuatan *mini impeller*. Metode yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya adalah melakukan pemodelan *impeller* dengan menggunakan *software* CAD, melakukan pengembangan lintasan pahat dan simulasi pemesinan 5-axis, dan melakukan proses pemesinan 5-axis.

Impeller yang dibuat memiliki diameter 54 mm, tinggi 22 mm, dan tebal *blade* 0.6 mm. Selain itu, *impeller* yang dibuat juga memiliki enam buah *blade* disertai dengan enam buah *splitter*. Pembuatan *impeller* tersebut merupakan tahap awal untuk pengembangan *impeller twisted blade* selanjutnya. Proses pemesinan telah berhasil dilakukan pada *impeller* tersebut dan dilakukan pengecekan terhadap kualitas hasil pemesinannya.

Setelah *impeller* diameter 54 mm berhasil diproduksi, maka dikembangkan model *impeller* yang memiliki diameter 1 : 2 dengan *impeller* sebelumnya yaitu *impeller* dengan diameter 27 mm. Untuk melihat sejauh mana pengaruh dari *splitter*, maka pada pembuatan *impeller* yang kedua *splitter* dihilangkan namun menambah jumlah *blade* menjadi sepuluh buah. Segala proses yang dilakukan sama dengan proses pemesinan sebelumnya, namun terdapat

perubahan parameter pemesinan pada pengembangan lintasan pahat yang menyesuaikan dengan ukuran yang semakin kecil pada setiap bagian *impeller*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas, maka dapat dirumuskan bahwa belum diketahui secara luas tahapan pembuatan *mini impeller* mulai dari desain hingga manufaktur dengan menggunakan mesin *milling* 5-axis. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dipaparkan tahapan dari pembuatan *mini impeller* mulai dari desain hingga proses pemesinan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan lintasan pahat dan proses pemesinan *impeller* dengan menggunakan mesin *milling* 5-axis dan untuk melihat sejauh mana mesin *milling* 5-axis tersebut dapat digunakan dalam pembuatan *mini impeller*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, *raw material* yang digunakan adalah duralumin (aluminium dural) 2017-T4 sedangkan material yang digunakan pada *cutting tool* adalah *high speed steel* (HSS) dan *carbide*. Dalam penelitian ini, performa dari *impeller* yang dibuat tidak diuji.

1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan beberapa metode yaitu:

1. Pemodelan *Impeller*

Desain gambar merupakan hal utama yang perlu dilakukan dalam suatu proses produksi. Desain gambar yang dilakukan terdiri dari dua jenis, yaitu 2D dan 3D. Pada penelitian ini, gambar 2D saja tidak cukup untuk mewakili komponen yang akan dibuat yaitu *impeller*. *Impeller* terdiri dari dua komponen utama yaitu *hub* dan *blade*. Untuk mewakili *hub*, pemodelan 2D sudah cukup menggambarkan keseluruhan bentuk dari *hub*, namun pada *blade*, pemodelan tersebut kurang mendukung karena akan sulit dilihat bila tidak dilakukan pemodelan 3D. Secara keseluruhan, pemodelan 3D akan sangat berguna terutama saat melakukan simulasi

proses manufaktur sebagai landasan awal untuk melakukan proses pemesinan. Model *impeller* pada penelitian ini diambil berdasarkan literatur-literatur yang relevan mengenai *mini impeller*.

2. Pengembangan lintasan pahat dan simulasi pemesinan 5-axis

Proses yang dilakukan setelah pemodelan 3D adalah melakukan simulasi proses manufaktur yang berupa Simulasi pengembangan lintasan pahat dan simulasi pergerakan pemesinan 5-axis. Simulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan dua produk CAM *software* sebagai perbandingan, yaitu Siemens NX dan Delcam Powermill.

Simulasi pembuatan lintasan pahat dilakukan sebagai langkah awal sebelum melakukan proses pemesinan yang sesungguhnya. Simulasi ini bertujuan sebagai *template* untuk proses pemesinan yang sesungguhnya sehingga bisa diketahui dimana komponen yang akan dilakukan proses pemesinan akan mengalami *interference* dengan *cutting tool* atau pun apakah akan terjadi *gouging* atau *collision* pada *part* atau *clamping devices* atau tidak. Hasil simulasi CAM yang telah di-*generate* berupa dokumen lintasan pahat (*cutter location file*) akan digunakan pada *post-processor* untuk diproses sehingga menghasilkan titik-titik kontak (*cutter contact point*) antara *cutting tool* dengan *workpiece*.

3. Proses pemesinan (pembuatan komponen dan pengambilan data)

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan menjalankan proses pemesinan yang dilakukan di ATMI Cikarang. Lintasan pahat yang digunakan pada proses pemesinan diambil dengan menggunakan *template* simulasi CAM *software* yang telah di-*generate* sebelumnya. Pada proses pemesinan ini, data CL-File yang didapat akan di proses di *post-processor* untuk mendapatkan CC Point yang juga telah dikonversi sesuai dengan arah orientasi mesin *millng* 5-axis karena terdapat perbedaan arah orientasi antara CAM *software* dengan mesin CNC (*computer numerical control*) yang digunakan.

Pada proses pemesinan ini, lintasan pahat dari CAM *software* yang digunakan adalah lintasan pahat dari Delcam Powermill. *Software* tersebut

dipilih karena *post processor* yang digunakan hanya cocok untuk *software* Powermill sehingga lintasan pahat yang di-*generate* dari NX tidak dapat digunakan untuk proses pemesinan pada penelitian ini.

Pengambilan data yang diambil berdasarkan dari data aktual waktu proses pemesinan yang telah dilakukan dan data parameter-parameter pemesinan untuk selanjutnya data tersebut diolah sesuai dengan dasar teori yang digunakan. Produk yang telah berhasil dibuat akan diambil pula data-data model 3D-nya untuk kemudian dicari titik-titik yang dianggap dapat mewakili kepresisian dari model 3D tersebut dengan model 3D yang sebelumnya telah digambar di *CAD software*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Menjelaskan dasar pemodelan dan pengembangan model 3D yang pada bab ini merupakan pemodelan *impeller* diameter 54 mm.

BAB III : Bab ini menjelaskan parameter-parameter pemesinan yang digunakan dan pengembangan lintasan pahat pada *software* yang pada bab ini adalah pengembangan lintasan pahat pada *impeller* diameter 54 mm.

BAB IV : Berisi mengenai spesifikasi alat uji yang digunakan, prosedur yang dilalui dalam proses pemesinan, pengambilan data / proses pemesinan, dan pengecekan kualitas hasil pemesinan pada *impeller* diameter 54 mm.

BAB V : Bab ini berisi tentang perubahan model *impeller*, parameter-parameter pemesinan yang digunakan dan pengembangan lintasan pahat pada *software* yang merupakan pengembangan lintasan pahat pada *impeller* diameter 27 mm.

BAB VI : Membahas tentang prosedur yang dilalui dalam proses pemesinan, pengambilan data / proses pemesinan, dan pengecekan kualitas hasil pemesinan pada *impeller* diameter 27 mm.

BAB VII : Bab ini merupakan analisis dari seluruh tahapan yang telah dilakukan mulai dari analisis parameter pemesinan, waktu pemesinan, dan lintasan pahat.

BAB VIII : Merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran apabila penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.



BAB 2

DASAR PEMODELAN DAN PENGEMBANGAN MODEL *IMPELLER*

2.1 Dasar Pemodelan

Pemodelan yang dilakukan menggunakan *software* CAD NX. Terdapat dasar pemodelan pada *software* CAD yang perlu diketahui, seperti pembuatan garis pada pemodelan 2D, pembentukan *solid body*, dan lain-lain. Sebelum masuk pada pembentukan *solid body*, perlu diketahui metode pemodelan baik pada pemodelan 2D maupun 3D.

Pemodelan 2D adalah pemodelan yang dilakukan pada dua sumbu sehingga kombinasi pemodelan 2D dapat terbentuk dari sumbu x dan z, sumbu y dan z, dan sumbu x dan y. Selain kombinasi tersebut, pemodelan 2D juga dapat dilakukan pada sumbu diagonal yang merupakan kombinasi dari ketiga sumbu. Ciri utama yang membedakan pemodelan 2D dengan 3D adalah bentuk geometri yang dibentuk dari pemodelan 2D cenderung teratur atau dapat berbentuk simetris pada salah satu sisinya.

Berbeda dengan pemodelan 2D, pemodelan 3D adalah pemodelan yang dilakukan pada ketiga sumbu baik x, y, maupun z. Pemodelan 3D biasanya dilakukan untuk membentuk permukaan yang memiliki kontur yang kompleks yang tidak dapat digambar dengan model 2D.

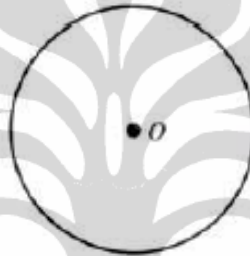
Baik pada pemodelan 2D maupun 3D, terdapat fitur-fitur yang digunakan untuk menggambar, seperti *line*, *spline*, *circle*, *circular arc*, dan lain-lain. Selain itu, terdapat juga fitur-fitur yang digunakan untuk pengeditan gambar, yaitu *trim*, *extend*, *copy*, dan lain-lain. Berikut adalah fitur-fitur dasar pemodelan.

1. Fitur *line* atau *straight line* adalah fitur yang digunakan untuk membuat garis lurus. Garis lurus tersebut biasanya dibuat berdasarkan dua titik yaitu titik awal dan titik akhir. Penentuan titik awal dan titik akhir dapat dilakukan pada bidang yang sama (pemodelan 2D) ataupun berbeda bidang (pemodelan 3D).



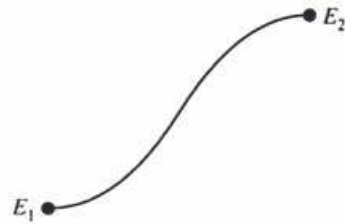
Gambar 2.1 Contoh garis dengan titik awal E_1 dan titik akhir E_2 [1]

2. Fitur *circle* adalah fitur yang digunakan untuk membuat lingkaran atau ellips. Lingkaran dapat ditentukan berdasarkan titik pusat dan diameter atau dengan menentukan tiga titik yang terdapat pada lingkaran.



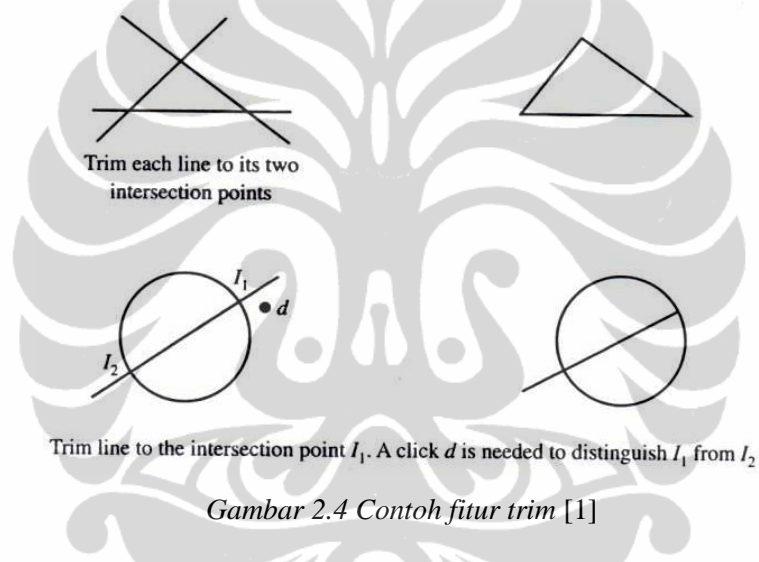
Gambar 2.2 Contoh lingkaran dengan titik pusat O [1]

3. Fitur *circular arc* mirip dengan fitur *circle* yang dibentuk berdasarkan tiga titik. Perbedaan terletak pada pendefinisian masing-masing titik. Sama seperti fitur *line*, titik pertama dan kedua dari *circular arc* digunakan sebagai titik awal dan akhir dari garis lengkung. Titik ketiga *circular arc* berfungsi sebagai titik yang menentukan kelengkungan dari *circular arc* tersebut.
4. Fitur *spline* merupakan fitur yang membuat kurva tidak beraturan berdasarkan beberapa persamaan matematika. Fitur *spline* dapat dibuat dengan dua cara, yaitu dengan menentukan titik-titik yang akan dilalui oleh kurva tidak beraturan tersebut atau dengan menentukan *control point* dari kurva tidak beraturan tersebut. *Control point* adalah titik yang berfungsi sebagai basis dari kurva tidak beraturan tanpa dilalui oleh kurva tersebut.



Gambar 2.3 Contoh spline [1]

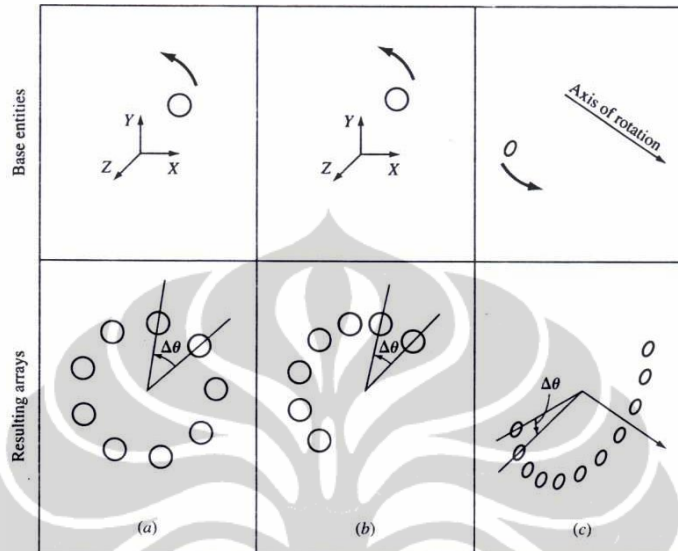
5. Fitur *trim* adalah fitur yang digunakan untuk menghapus bagian dari model yang telah dibuat. Penghapusan gambar dilakukan dengan menentukan bagian mana yang akan dihapus dan bagian mana yang akan dijadikan sebagai batas agar bagian lainnya tidak terhapus.



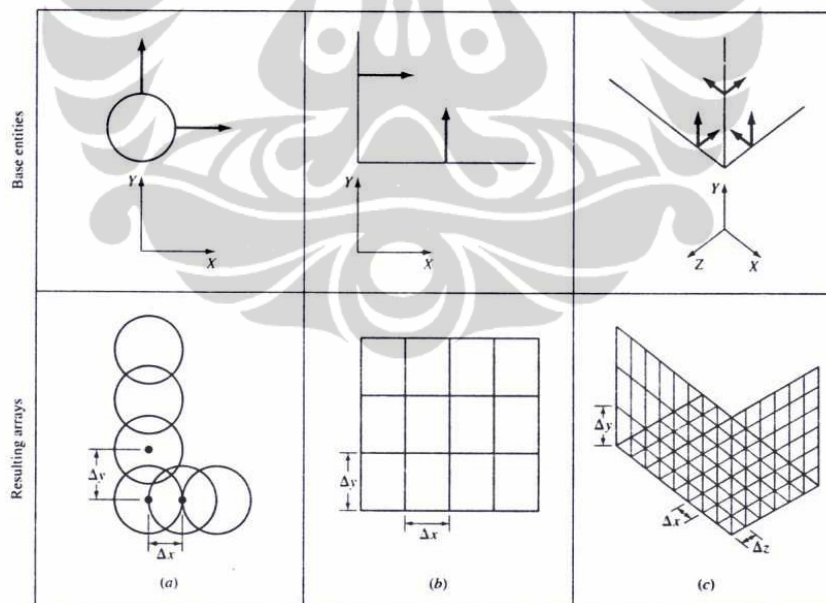
Gambar 2.4 Contoh fitur trim [1]

6. Fitur *extend* adalah fitur yang digunakan untuk menambahkan bagian pada model yang telah dibuat. Penambahan bagian dilakukan dengan menentukan daerah yang akan ditambahkan bagiannya dan juga dengan menentukan sejauh mana penambahan dilakukan dengan menentukan bagian lain sebagai batas penambahan.
7. Fitur *array* adalah fitur yang digunakan untuk menduplikasi bagian dari model yang dibuat. Duplikasi dapat dilakukan secara *rectangular* ataupun *circular*. Pada *rectangular array*, penduplikasian dapat dilakukan pada jumlah tertentu dan arah sumbu-sumbu tertentu seperti pada arah sumbu x , y , dan z atau dapat dilakukan bersamaan pada kombinasi dua arah sumbu x dan y , x dan z , dan y dan z . *Circular array* dilakukan apabila penduplikasian berada pada sumbu rotasi tertentu. Selain sumbu rotasi,

parameter yang perlu ditentukan adalah jumlah dari bagian yang akan diduplikasi. Jumlah bagian yang akan diduplikasi dapat dilakukan dengan menentukan seberapa besar sudut yang digunakan untuk melakukan *array* dan berapa jumlah *array* yang akan dibuat pada sudut tersebut.



Gambar 2.5 Circular array [1]

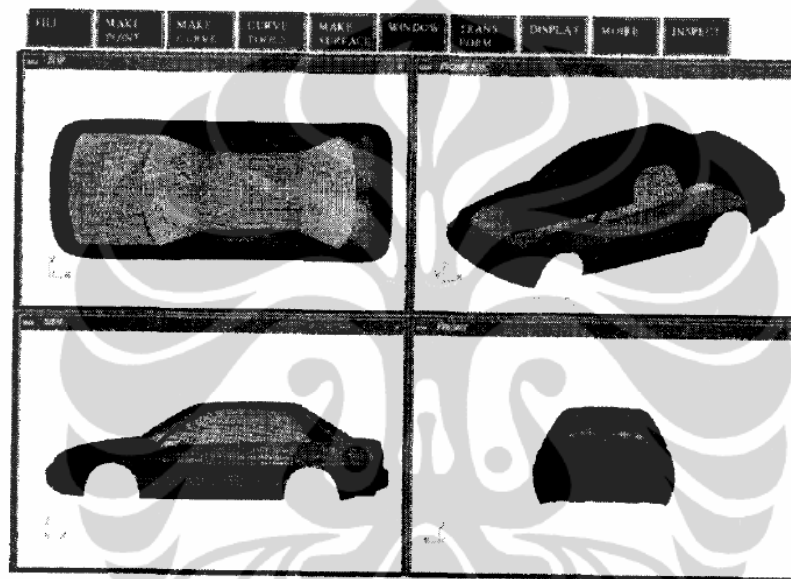


Gambar 2.6 Rectangular array [1]

2.1.1 Surface modeling

Surface modeling adalah pemodelan yang dilakukan dengan model matematika. Model matematika digunakan untuk mendeskripsikan bentuk dari permukaan yang dibuat melalui persamaan-persamaan numerik. Persamaan-

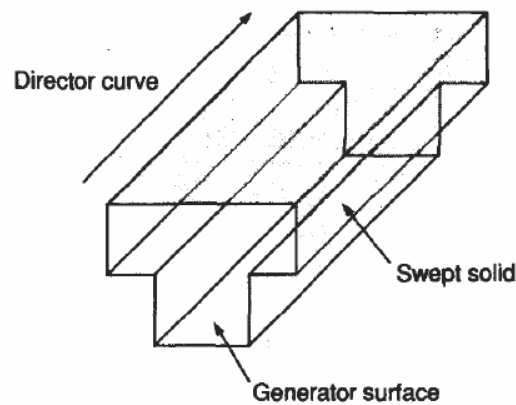
persamaan tersebut berisi informasi mengenai bagaimana permukaan tersebut terbentuk, bagaimana kurva-kurva yang dipilih bersatu menjadi permukaan, dan lain-lain. Secara umum, *surface modeling* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan melakukan metode *revolve* pada kurva atau garis dan melakukan pembentukan permukaan melalui garis atau kurva yang memiliki loop tertutup. *Surface modeling* biasa dilakukan untuk membentuk permukaan yang memiliki kontur yang tidak simetris ataupun tidak teratur. Berikut adalah contoh *surface modeling*.



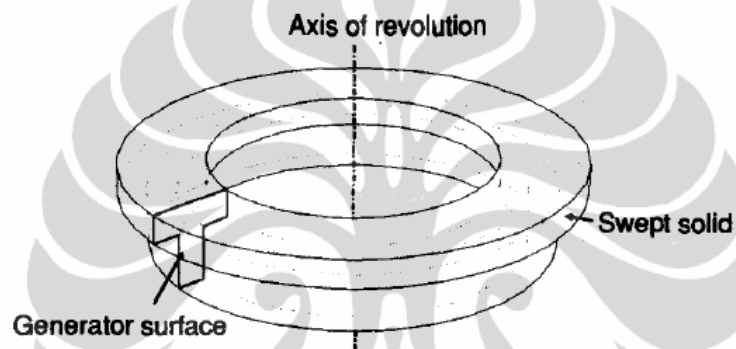
Gambar 2.7 Contoh *surface modeling* [2]

2.1.2 *Solid modeling*

Solid modeling adalah pemodelan yang dilakukan untuk mendapatkan geometri benda yang memiliki volume. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan *solid body* dari *solid modeling*, seperti *extrude*, *revolve*, *loft*, dan lain-lain. Pada metode-metode tersebut, terdapat juga *boolean* operasi yang menentukan bentuk dari *solid body*. Berikut adalah contoh-contoh operasi yang dilakukan dengan *solid modeling*.

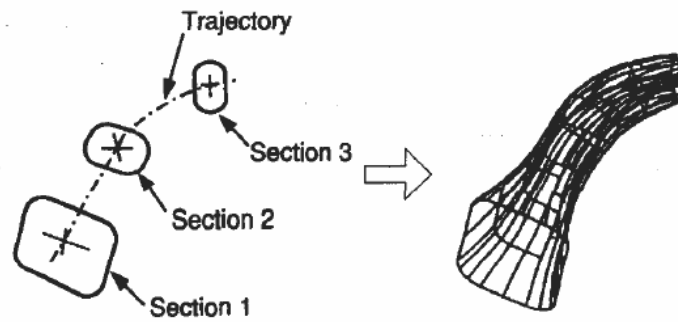


Gambar 2.8 Operasi extrude [2]

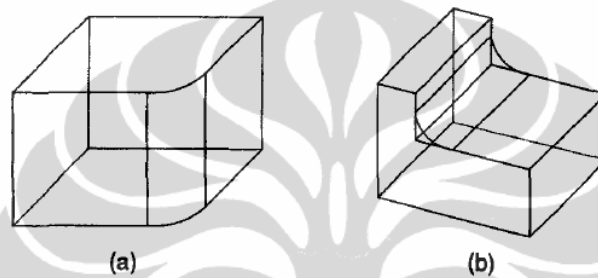


Gambar 2.9 Operasi revolve [2]

Berdasarkan gambar terlihat bahwa dilakukan pemodelan 2D yang sama namun dengan operasi pembentukan *solid body* yang berbeda, gambar 2.8 operasi *extrude* dan gambar 2.9 operasi *revolve*. Pada operasi *extrude*, yang ditentukan adalah bidang dari gambar mana yang akan di-*extrude* sedangkan pada operasi *revolve*, yang ditentukan adalah sumbu bagian mana yang digunakan sebagai sumbu rotasi. Selain kedua operasi di atas, terdapat pula operasi *loft* dan juga *fillet*. *Loft* adalah operasi yang digunakan untuk menyatukan beberapa kurva tertutup menjadi *solid body* sedangkan *fillet* adalah operasi yang digunakan untuk memodifikasi sudut pada *solid body*. Berikut adalah contoh operasi *loft* dan *fillet*.



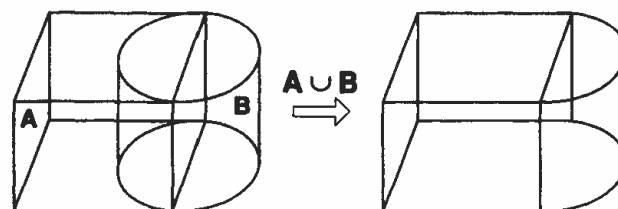
Gambar 2.10 Operasi loft [2]



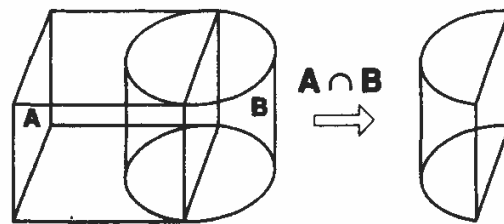
Gambar 2.11 Operasi fillet: a. fillet luar, b. fillet dalam [2]

Pada gambar 2.10 terlihat bahwa terdapat beberapa kurva tertutup yang disatukan menjadi *solid body* dengan operasi *loft*. Gambar 2.11 menunjukkan terdapat dua metode *fillet*, yaitu *fillet luar* dan *fillet dalam*. *Fillet luar* adalah *fillet* yang digunakan apabila bagian luar sudut suatu *solid body* yang akan dibuat lengkung sedangkan *fillet dalam* adalah *fillet* yang digunakan untuk membuat lengkung bagian dalam dari bidang.

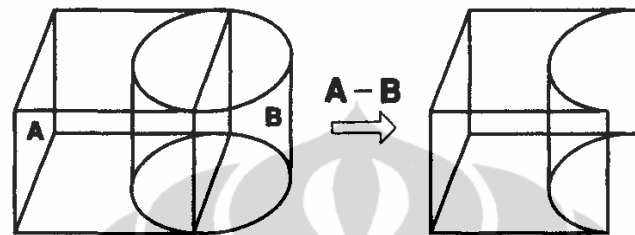
Pada pembuatan operasi-operasi di atas, terdapat modifikasi yang dapat dilakukan apabila terdapat dua *solid body*, seperti *boolean union*, *intersection*, dan *difference*. Berikut adalah contoh penggunaan *boolean*.



Gambar 2.12 Boolean union [2]



Gambar 2.13 Boolean intersection [2]

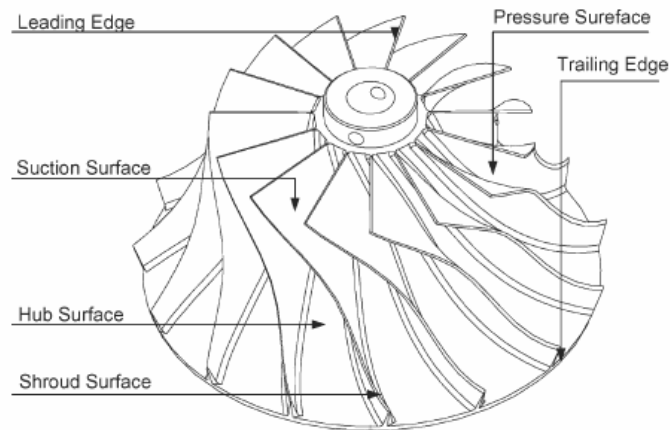


Gambar 2.14 Boolean difference [2]

Pada *boolean union*, terlihat bahwa kedua *solid body* menjadi satu sehingga *solid body* yang saling bertabrakan dihilangkan atau dianggap tidak ada. Sebaliknya, pada *boolean intersection*, yang diambil adalah bagian *solid body* yang saling bertabrakan. Pada *boolean difference*, *solid body* yang satu berfungsi untuk menghilangkan *solid body* yang lain pada daerah tempat bertabrakan sehingga apabila dilakukan *boolean difference* pada arah vektor $B-A$ maka yang terbentuk adalah seperti pada hasil *boolean intersection* namun berlawanan arah.

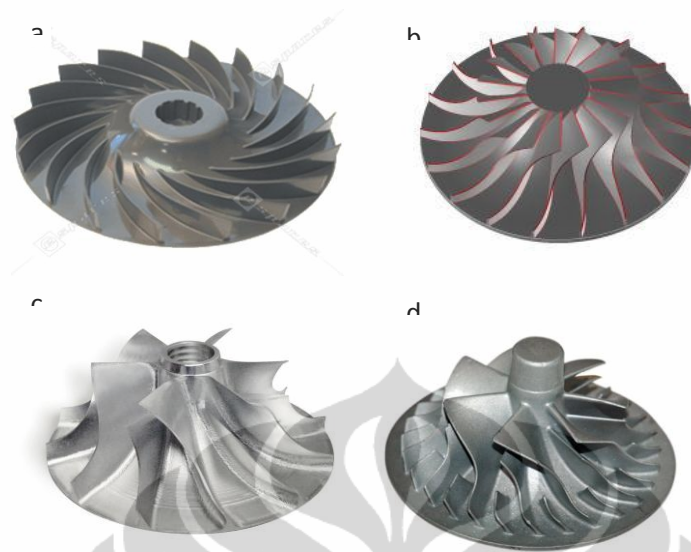
2.2 Geometri *Impeller*

Geometri *impeller* yang digunakan secara umum memiliki dua komponen utama, yaitu *hub* dan *blade*. Seperti yang terlihat pada gambar 2.15, *impeller* yang digunakan merupakan tipe *impeller* sentrifugal dimana *bladenya* merupakan *blade* yang dipuntir (*twisted blade*). *Hub* merupakan poros utama dan dapat dikatakan pula sebagai tempat melekatnya *blade*. *Blade* berfungsi untuk mengalirkan fluida yang masuk ke dalam pompa yang terdiri dari *suction surface*, *pressure surface*, *leading edge*, *trailing edge*, dan *shroud*. *Suction surface* berfungsi sebagai wadah penampung fluida yang masuk, *pressure surface* berfungsi sebagai penahan tekanan saat fluida dialirkan, *leading edge* merupakan tempat memecah fluida agar fluida benar-benar masuk ke setiap sisi *blade*, *trailing edge* merupakan tempat keluarnya fluida, dan *shroud* merupakan geometri utama dalam sebuah *impeller* karena *shroud* merupakan mantel utama yang membentuk bentuk *blade*.



Gambar 2.15 Geometri Impeller [3]

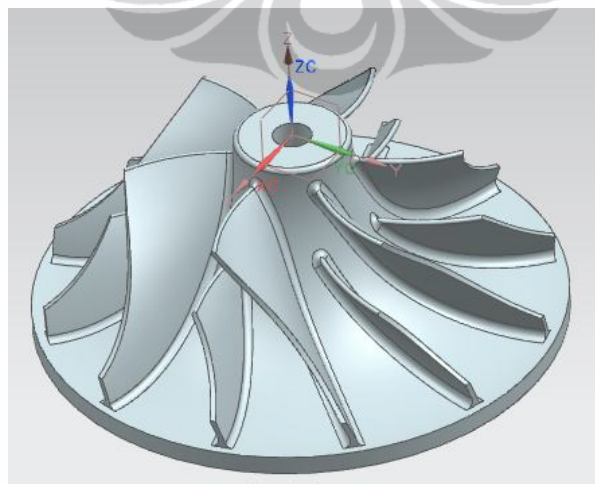
Impeller dibagi menjadi dua tipe *blade*, tipe *blade* yang dipuntir dan tipe *blade* yang lurus. Pada setiap tipe tersebut juga terdapat jenis yang membedakan berdasarkan ada tidaknya *splitter*. *Splitter* adalah *blade* yang ukurannya lebih kecil dari *blade* utama yang berfungsi untuk memecah fluida menjadi beberapa sisi bagian pada setiap jarak antar *blade*. Jumlah *splitter* pada sisi *blade* tidaklah sama. Jumlah *splitter* dapat berkisar antara satu sampai dengan lima tergantung dari kebutuhan suatu *impeller* tersebut. Jumlah *splitter* pada setiap sisi *blade* yang umum digunakan adalah satu *splitter*. Berikut adalah gambar tipe-tipe *blade* pada *impeller*:



Gambar 2.16 Jenis-jenis *impeller*: a. *impeller non-twisted blade* [4], b. *impeller twisted blade without splitter* [5], c. *impeller twisted blade with a splitter* [6], d. *impeller twisted blade with three splitters* [7]

2.3 Spesifikasi Benda Uji

Pada penelitian ini, dilakukan uji coba pembuatan *impeller* berukuran mini. *Impeller* yang dibuat merupakan *impeller* dengan *twisted blade* dan tipe yang memiliki *splitter*. *Splitter* berjumlah satu pada setiap sisi ruas *blade* pada *impeller*. Jumlah *blade* yang ada *impeller* adalah enam buah *blade* diikuti dengan enam buah *splitter*. Berikut spesifikasi dari benda uji.



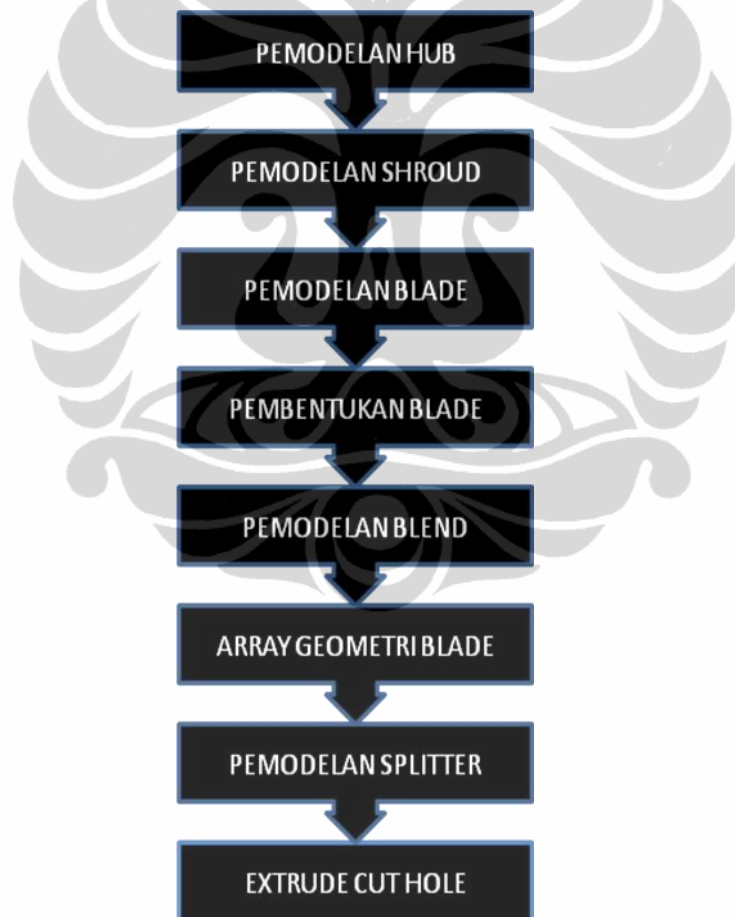
Gambar 2.17 *Impeller twisted blade dengan splitter diameter 54 mm*

Dimensi :

- Diameter *impeller* : 54 mm
- Tinggi *impeller* : 22 mm
- Tebal *blade* : 0.6 mm
- Jarak minimum antara *blade* dengan *splitter* : 3.42 mm
- Jarak minimum antar *blend* : 1.74 mm

Spesifikasi di atas dijadikan acuan untuk menentukan parameter-parameter pada proses pemesinan, seperti tipe dan ukuran *cutting tool* yang digunakan, metode pemesinan yang digunakan, model lintasan pahat yang digunakan, dan lain-lain.

Berikut adalah flowchart pemodelan *impeller*:



Gambar 2.18 Flowchart pemodelan *impeller*

2.4 Pemodelan *Hub*

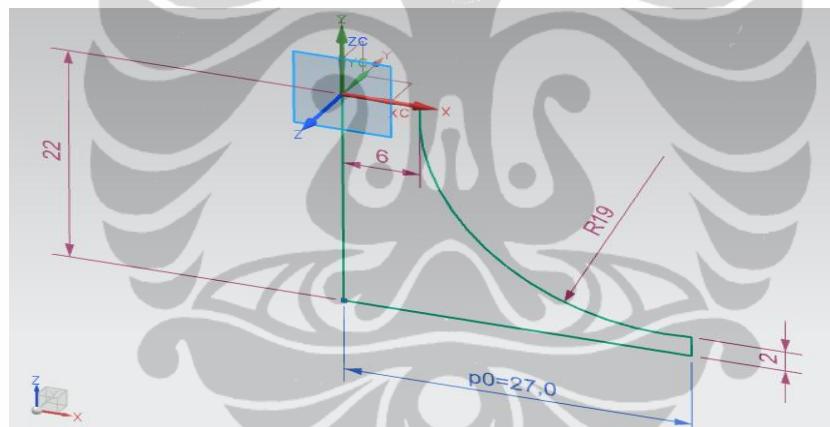
Hub merupakan bagian utama dari sebuah *impeller* selain *blade*. *Hub* merupakan poros utama yang melingkar 360° dan merupakan tempat melekatnya

bagian dalam *blade* atau pun *splitter* (warna oranye menunjukkan *hub* pada *impeller* pada gambar 2.19).



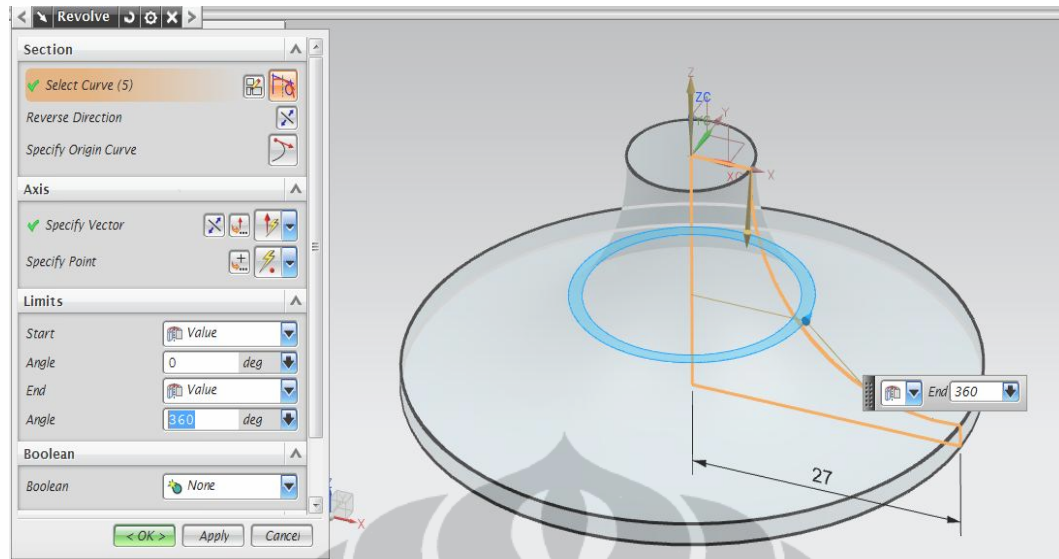
Gambar 2.19 Geometri hub pada impeller [8]

Untuk mendapatkan bentuk *hub*, pemodelan 2D dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pemodelan 3D. Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan CAD software Siemens NX. Berikut adalah pemodelan 2D dari *hub*.



Gambar 2.20 Model 2D dari hub

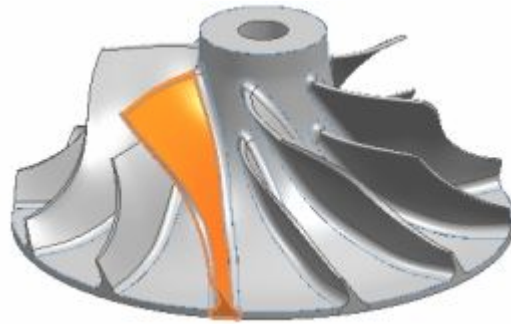
Saat melakukan pemodelan, baik itu 2D atau pun 3D, arah orientasi sangat penting untuk diperhatikan karena nantinya akan mempengaruhi saat melakukan pemrograman untuk simulasi proses pemesinan. Seperti yang terlihat pada gambar 2D di atas, karena *hub* sebagai poros utama maka sumbu putar yang digunakan adalah sumbu z yang nantinya juga akan digunakan sebagai sumbu orientasi dari *cutting tool*. Setelah berhasil membuat pemodelan 2D dari *hub*, selanjutnya adalah menciptakan *solid 3D model* dengan metode *revolve*. Metode *revolve* adalah metode yang dilakukan ketika ingin mengubah model 2D menjadi 3D dengan memutar model 2D tersebut pada suatu sumbu putar dengan sudut putar tertentu. Berikut adalah contoh dari metode *revolve*.



Gambar 2.21 Metode revolve pada solid modeling

2.5 Pemodelan Blade

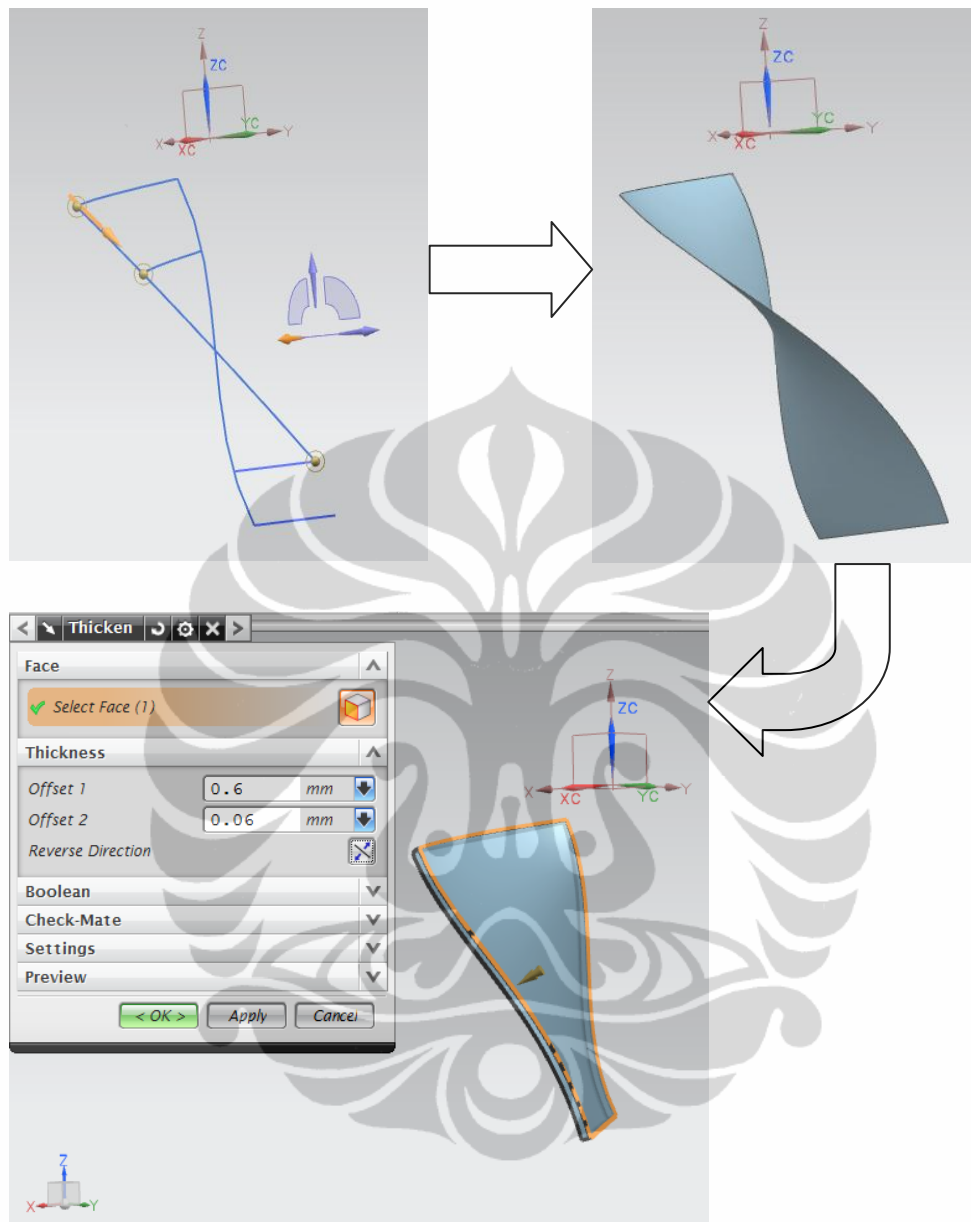
Blade adalah bagian penting dalam suatu *impeller* karena fungsinya untuk mengalirkan fluida. Bentuk *blade* ada bermacam-macam, ada yang bertipe lurus, melengkung, dan ada yang dipuntir. Pada penelitian ini, *blade* yang akan dibahas adalah yang bertipe dipuntir (*twisted blade*) karena permukaannya yang memiliki tingkat kompleksitas geometri yang tinggi. *Blade* pada suatu *impeller* dapat terdiri dari dua hingga jumlah tertentu, tergantung dari kebutuhan apa yang ingin dicapai oleh *impeller* tersebut. Dalam penelitian ini, tidak akan dibahas fungsi dari suatu jenis *impeller* tertentu atau pun tipe *blade* tertentu. Yang akan dilihat adalah bagaimana proses pemesinan untuk membentuk suatu permukaan dari *blade* yang memiliki geometri yang rumit, bagaimana mencapai bagian-bagian dalam pada *blade* yang memiliki bentuk seperti *close loop boundary*, dan bagaimana proses pemesinan yang dilakukan pada *blade* tersebut tidak mencederai bagian-bagian yang ada pada *impeller* tersebut. Berikut adalah contoh dari gambar *blade* (ditunjukkan oleh warna oranye pada gambar 2.22).



Gambar 2.22 Geometri blade pada impeller [8]

Berbeda dengan pemodelan pada *hub*, pemodelan pada *blade* langsung dilakukan pada model 3D. Pemodelan 3D dilakukan karena bentuk *blade* perlu dihubungkan dengan sebuah *spline* yang melintas sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Setelah kerangka model *blade* telah jadi, maka fitur *meshing* akan digunakan untuk membentuk sebuah permukaan yang belum memiliki volume. Metode *modeling* ini dapat disebut juga dengan *surface modeling* karena pembentukan permukaan terlebih dahulu sebelum akhirnya diberi volume sehingga menjadi benda yang *solid*. Volume diberikan dengan fitur *thicken* sehingga permukaan tadi memiliki ketebalan tertentu.

Alur proses yang diperlihatkan pada gambar 2.23 adalah alur standard yang dilakukan untuk membuat satu *blade* pada *impeller*. *Blade* tersebut dapat dianggap belum melekat pada bagian *hub* atau belum merupakan satu kesatuan komponen yang membentuk *impeller* karena belum dilakukannya fitur *blending*. Selain itu, *blade* tersebut juga belum dipotong dengan bagian *shroud* yang berfungsi sebagai pembentuk *blade*. Untuk itu, selanjutnya akan dijelaskan mengenai perapihan bentuk dari *blade* tersebut agar *blade* tersebut dapat menjadi bagian dari *impeller* yang akan dibuat.

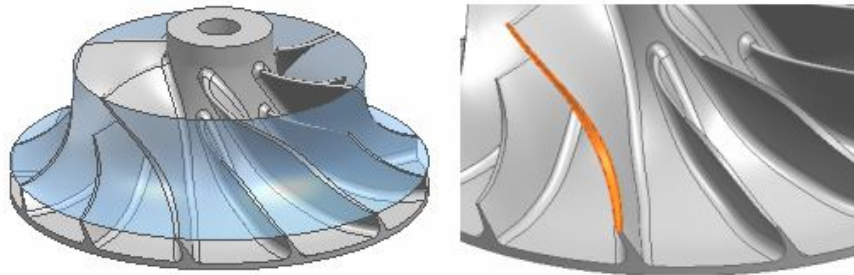


Gambar 2.23 Alur proses pembuatan blade: a. Kerangka model yang dibentuk dari garis dan spline, b. Surface yang dibentuk dari meshing, c. Solid model setelah surface diberi ketebalan

2.5.1 Pemodelan Shroud / Raw material

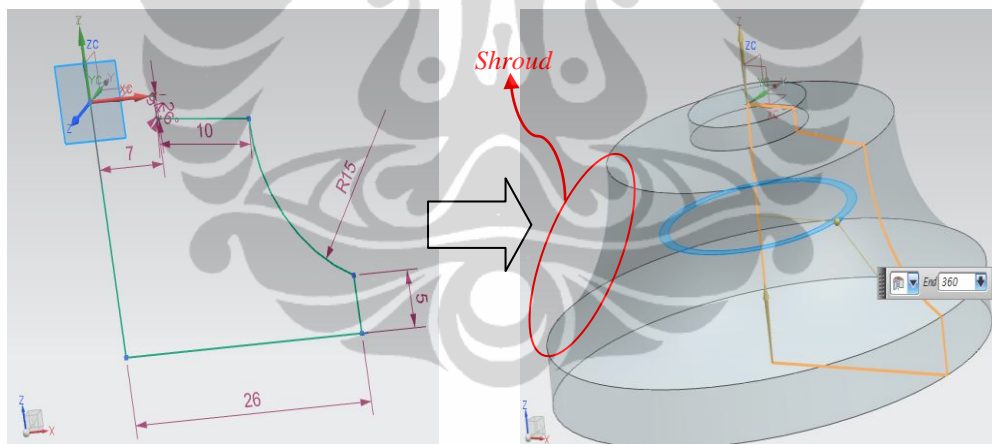
Setelah menjadi sebuah *blade* yang memiliki ketebalan, *blade* tersebut masih perlu dirapihkan untuk mendapatkan bentuk *blade* yang sesuai. Sebelum merapihkan bentuk *blade*, hal yang perlu dibuat adalah *shroud* yang merupakan salah satu bagian dari *impeller* yang berguna untuk membentuk *blade*. Pembentukan *shroud* pada *Siemens NX* dapat berfungsi juga sebagai *raw material*

yang nantinya akan digunakan pada proses simulasi CAM. Berikut adalah gambar dari *shroud* yang juga merupakan *raw material* dari *impeller*:



Gambar 2.24 Geometri *shroud* pada *impeller* [8]

Terlihat pada gambar bahwa apabila bagian dalam *blade* merupakan bagian yang melekat pada *hub* maka bagian luar *blade* adalah *shroud* yang merupakan batas dari *blank material*. Pembuatan *shroud* mirip dengan pembuatan *hub*, yakni dengan melakukan pemodelan 2D terlebih dahulu kemudian membentuk model 3D dengan metode *revolve*. Berikut adalah gambar alur proses dari pemodelan *shroud*.

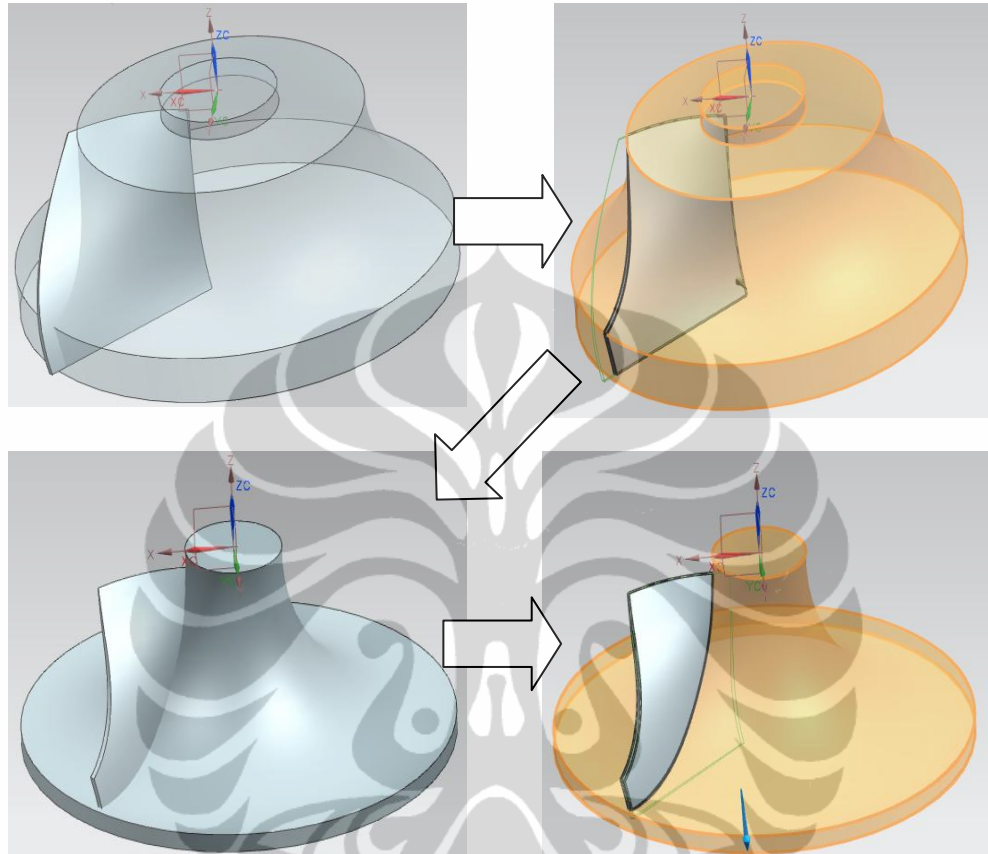


Gambar 2.25 Model 2D dari *shroud* yang diubah menjadi solid model (*blank material*) dengan metode *revolve*

2.5.2 Pembentukan *Blade*, *Blending*, Dan *Array Geometri*

Pembentukan bentuk *blade* dipengaruhi oleh *shroud* dan *hub* yang sebelumnya telah dibuat. Pembentukan *shroud* ini dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama, apabila bentuk permukaan *blade* yang sudah terbentuk di-*trim* terlebih dahulu sebelum permukaan tersebut di-*thicken*. Cara kedua adalah kebalikan dari cara pertama, apabila permukaan di-*thicken* terlebih dahulu baru setelahnya dilakukan proses *trim* pada *solid body* tersebut. Pada penelitian ini,

cara yang digunakan adalah cara kedua karena memiliki fleksibilitas yang lebih baik apabila akan dilakukan pengeditan gambar. Berikut adalah alur proses *trim body* yang dilakukan untuk membentuk *blade*.

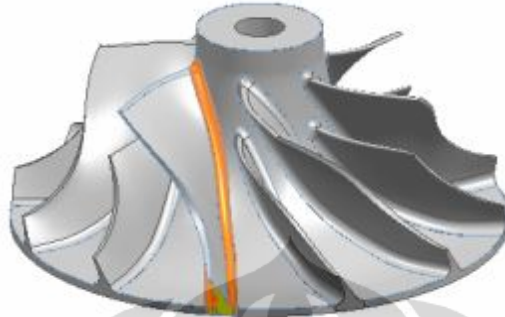


Gambar 2.26 Proses pembentukan *blade* dengan metode *trim body*

Saat melakukan proses *trim*, yang perlu diperhatikan adalah arah vektor penghilangan material atau arah vektor material yang akan diambil. Apabila arah vektor tersebut terbalik, maka hasil yang didapat akan jauh berbeda dengan gambar di atas. Untuk membalikkan arah vektor, yang perlu dilakukan cukup dengan membalik arah vektor yang sedang dipilih ke arah sebaliknya sehingga *blade* yang terbentuk sesuai dengan spesifikasi yang seharusnya.

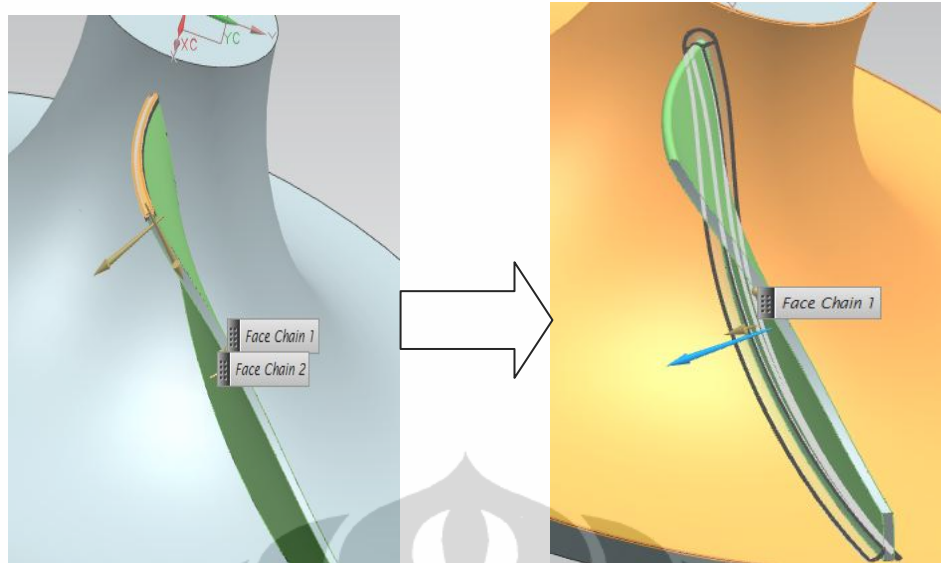
Setelah pembentukan *blade* selesai, maka proses selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menjadikan *blade* tersebut satu kesatuan dengan *hub* atau dapat dikatakan juga melekatkan *blade* pada *hub*. Proses ini dapat dilakukan dengan metode *blending* atau juga dikenal dengan *fillet*. *Fillet* atau *blend* ini nantinya akan berguna saat melakukan simulasi CAM karena merupakan salah satu syarat agar simulasi CAM dapat berjalan. Saat ada dua bagian suatu komponen yang

bertemu pada sudut tertentu, terdapat kelengkungan yang merupakan bagian sisa dari proses pemesinan. Kelengkungan tersebut tidak dapat dihindari melainkan dapat diperkecil ukurannya tergantung dari toleransi pemesinan yang diberikan.



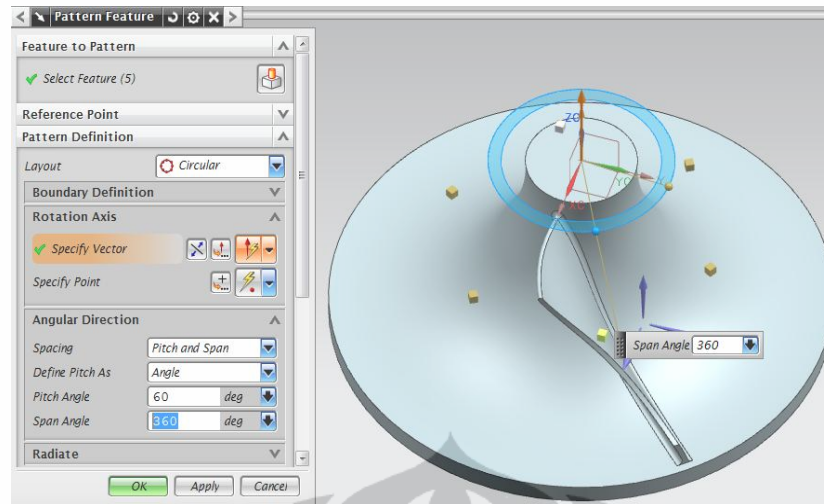
Gambar 2.27 Geometri blend pada impeller [8]

Kelengkungan pada gambar di atas adalah kelengkungan yang disebut dengan *fillet* atau *blend*. *Blend* dapat dijadikan acuan suatu proses pemesinan untuk mampu atau tidaknya suatu mesin melakukan proses pemesinan dengan tingkat kelengkungan yang sangat kecil. Semakin kecil radius kelengkungan yang dapat dicapai oleh suatu mesin, maka mesin tersebut dapat dikatakan memiliki *machine ability* yang baik. Akan tetapi, perlu diperhatikan juga bahwa sebelum melakukan proses *blend* antara *hub* dan *blade*, bagian atas dari *blade* juga perlu dilakukan proses *blend* terlebih dahulu. Hal ini dilakukan agar didapatkan *blend* yang merata diseluruh permukaan *blade* yang bertemu dengan permukaan *hub*. Bagian atas *blade* yang di-*blending* akan menjadi penghubung antara bagian depan *blade* dengan bagian belakang *blade*. Selain itu, *blend* atau *fillet* memiliki fungsi lain yakni memenuhi kebutuhan estetika suatu produk. Artinya adalah, produk yang telah dilakukan proses *blending* memiliki sudut kelengkungan yang lebih halus dibandingkan yang tidak dilakukan proses *blending* sehingga produk yang di-*blending* memiliki faktor aman yang lebih baik. Fungsi *blending* juga akan bermanfaat bagi produsen untuk membuat produknya tidak terlihat kaku di mata konsumen. Untuk proses pemodelannya dapat dilihat pada gambar berikut.

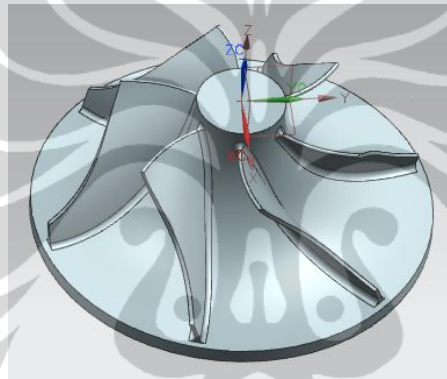


Gambar 2.28 Proses *blending* pada bagian atas blade (kiri) dan di daerah pertemuan antara hub dan blade (kanan)

Setelah *blade* telah memiliki bentuk yang sesuai dan telah menjadi satu kesatuan komponen dengan *hub* (telah melewati proses *trim* dan *blend*), proses selanjutnya adalah meng-*array* geometri dari *blade* tersebut sebanyak yang diperlukan. Proses *array* ini dilakukan dengan menggunakan metode *pattern feature* yang dapat meng-*copy blade* sesuai jumlah yang diinginkan. Telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa *array* dapat dilakukan secara *linear* atau pun *circular*. Pada penelitian ini, *array* yang dilakukan adalah tipe *circular*, yakni melingkar dengan *hub* sebagai poros utamanya. *Blade* akan di-*array* setiap 60° sampai dengan sudut 360° (satu putaran lingkaran), sehingga *blade* yang terbentuk berjumlah enam *blade*. Perlu diperhatikan bahwa saat melakukan *array* geometri, yang perlu di-*array* bukan hanya *blade*-nya saja tetapi juga seluruh proses yang sudah dilakukan sebelumnya seperti proses *trim* dan *blend* agar *blade* yang terbentuk telah identik dengan semua proses yang telah dilakukan sebelumnya tersebut. Dapat dilihat pada gambar 2.29 pilihan fitur untuk dilakukan *array* berjumlah lima fitur yakni *thicken* pada *blade*, *trim* bagian luar, *trim* bagian dalam, *blend* bagian atas *blade*, dan *blend* pada bagian antara *hub* dan *blade*.

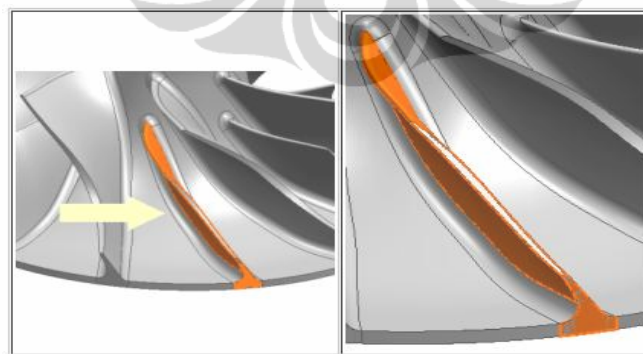


Gambar 2.29 Proses array blade secara circular



Gambar 2.30 Impeller dengan enam blade

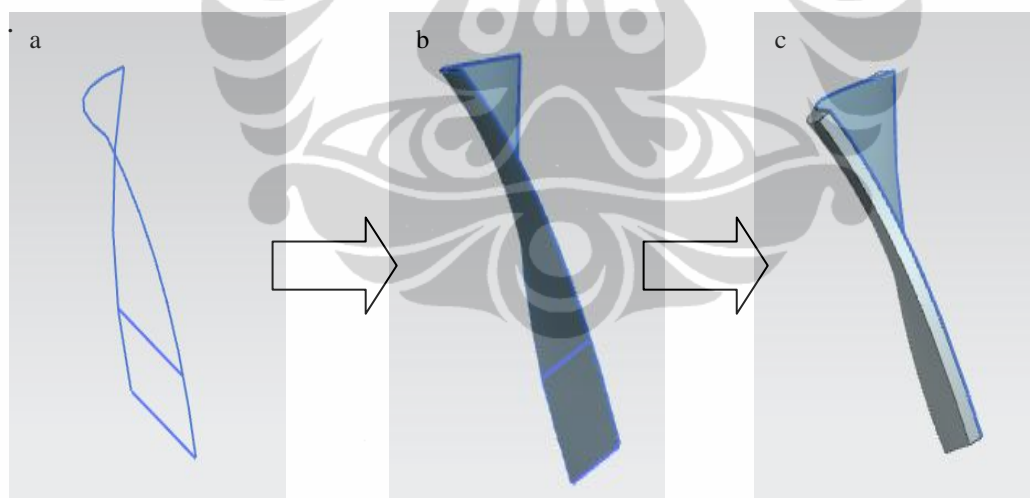
2.6 Pemodelan Splitter



Gambar 2.31 Geometri splitter pada impeller [8]

Gambar 2.31 menunjukkan geometri *splitter* pada *impeller* yang memperlihatkan *splitter* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada *blade* dan terletak di antara dua buah *blade*. Secara garis besar pemodelan pada *splitter* tidak

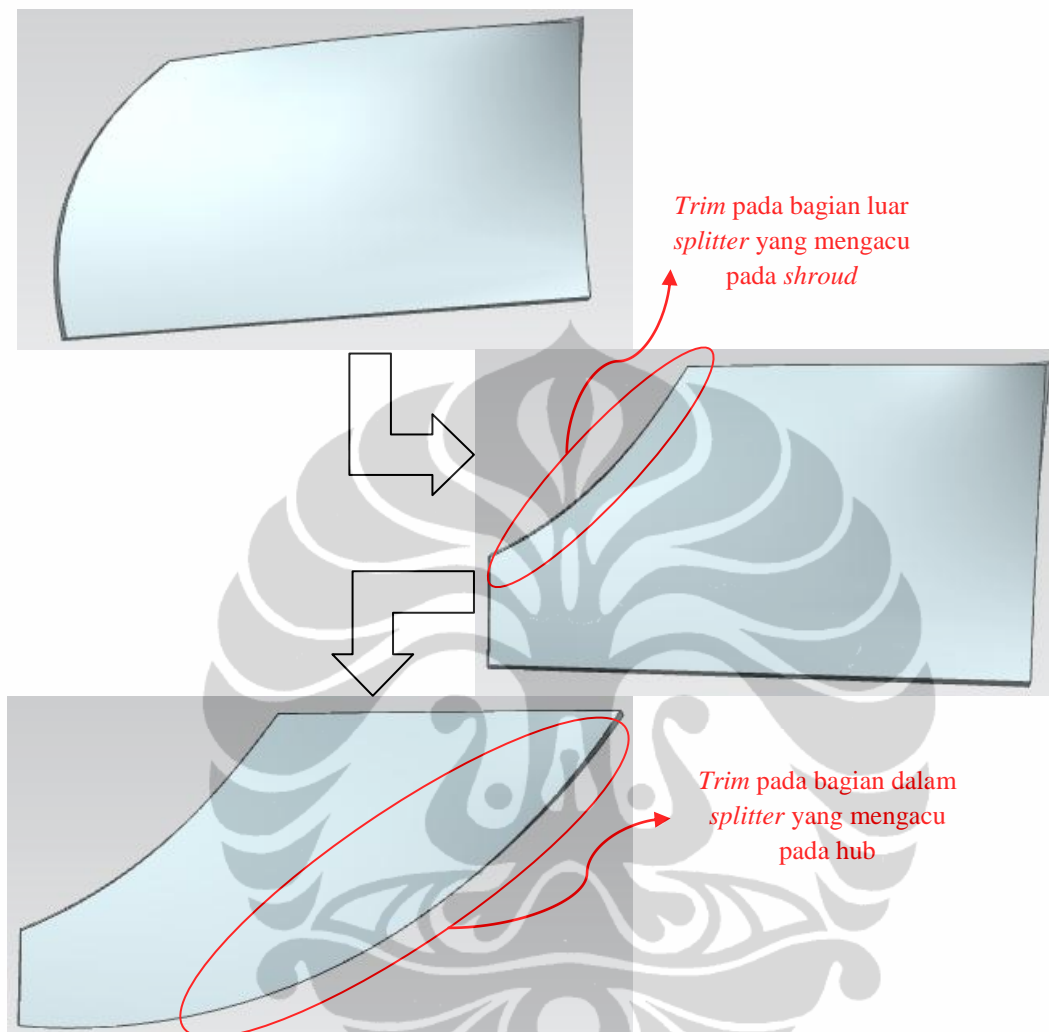
jauh berbeda dengan pemodelan pada *blade*. Perbedaan terjadi hanya saat membuat kerangka pada pemodelan 3D yang memiliki kerangka yang lebih pendek dibandingkan dengan kerangka pada *blade*. Apabila kerangka pada *splitter* telah dibuat, alur proses untuk pembuatan *splitter* sama dengan pembuatan *blade*, yaitu melakukan *meshing* untuk membentuk permukaan, memberikan ketebalan pada permukaan tersebut, melakukan pembentukan *blade* dengan proses *trimming* yang juga mengacu pada *hub* dan *shroud*, melakukan proses *blending*, dan terakhir melakukan geometrical *array* pada *splitter* yang sudah jadi. Untuk mempermudah melakukan penglihatan pada saat melakukan pemodelan, dapat digunakan fitur *hide* untuk menyembunyikan bagian dari komponen yang tidak perlu untuk dilihat sementara. Fitur ini sangat berfungsi karena proses pemodelan dapat difokuskan pada yang akan dikerjakan selanjutnya dengan menyembunyikan model yang telah dikerjakan sebelumnya. Pada proses pemodelan *splitter* ini, untuk mempermudah penglihatan, maka bagian yang disembunyikan dengan menggunakan fitur *hide* adalah *hub* dan *blade*. Berikut adalah alur proses pemodelan *splitter*.



Gambar 2.32 Proses pemodelan *splitter*: a. kerangka *splitter*, b. *mesh splitter*, c. *solid body splitter*

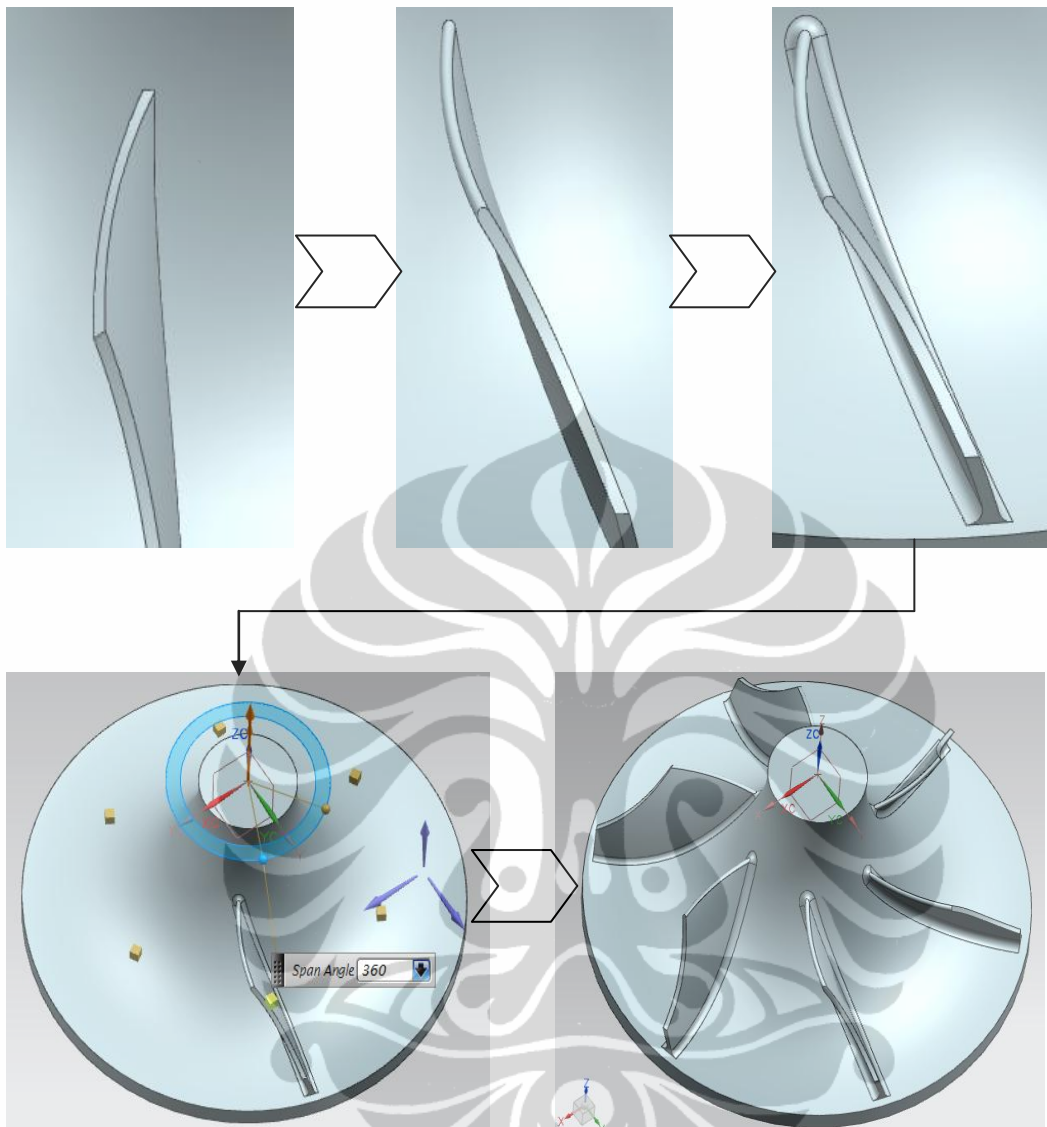
Pada gambar 2.32, terlihat *hub* dan *blade* yang sebelumnya telah dibuat, disembunyikan terlebih dahulu menggunakan fitur *hide* untuk mempermudah melakukan pemodelan *splitter*. Setelah *splitter* memiliki *solid body*, *splitter* juga akan dibentuk dengan menggunakan fitur *trim* yang mengacu pada *hub* dan

shroud yang sama dengan yang digunakan pada saat pemodelan *blade*. Proses *trimming* terlihat pada gambar 2.33 berikut.



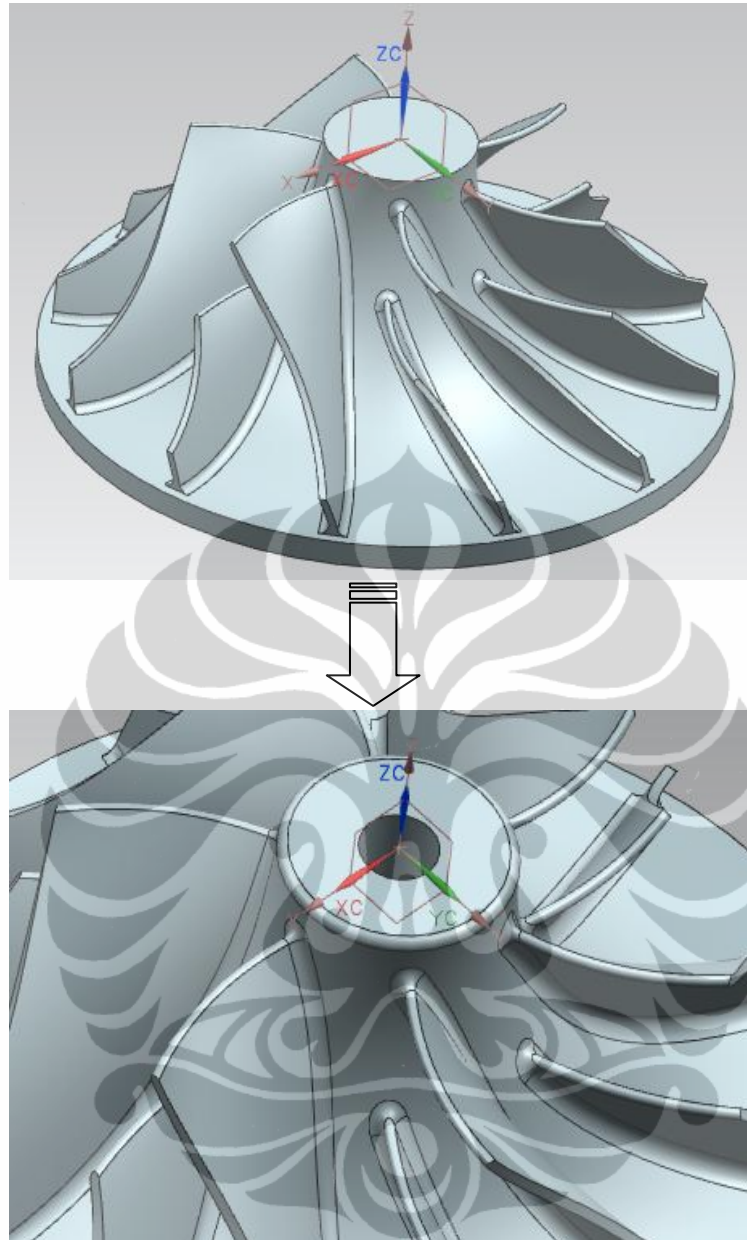
Gambar 2.33 Pembentukan *splitter blade* dengan proses *trimming*

Selanjutnya akan diperlihatkan proses pembentukan *blend* sampai dengan *array* geometri dari *splitter*. Sama seperti pada geometri *blade*, *blend* pada *splitter* juga membutuhkan bagian atas *splitter* yang harus *blending* terlebih dahulu agar *blending* antara *splitter* dengan *hub* dapat merata di seluruh permukaan bagian bawah *splitter*. Alur proses dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.34 Alur proses *blending* dan *array* geometri *splitter*

Setelah selesai melakukan proses *array* geometri dari *splitter*, tampilan geometri *blade* yang sebelumnya disembunyikan dengan fitur *hide* ditampilkan kembali dengan fitur *show*. Sampai dengan tahap ini, *impeller* telah selesai dibuat dengan semua komponen utamanya namun perlu dilakukan beberapa pemodelan lagi untuk memperhatikan segi estetika dan juga untuk mempermudah proses pemesinan. Pemodelan yang akan dibuat adalah *blending* pada sisi atas *hub* dan juga melakukan *extrude cut* pada sisi tengah *hub*. Pelubangan bagian tengah pada *hub* ini berguna pada saat melakukan proses pemesinan untuk meng-*attach* *clamping device*. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.35.



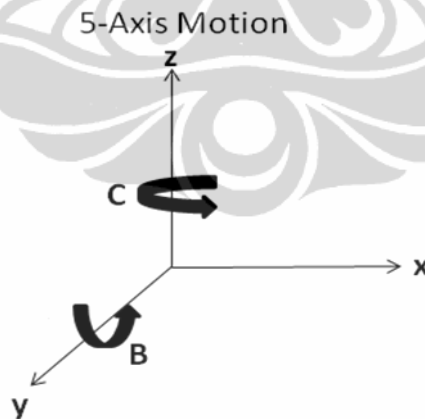
Gambar 2.35 Pelubangan pada bagian tengah impeller dan blending pada bagian atas hub

BAB 3

PENGEMBANGAN LINTASAN PAHAT DAN PARAMETER PEMESINAN *IMPELLER* DIAMETER 54 MM

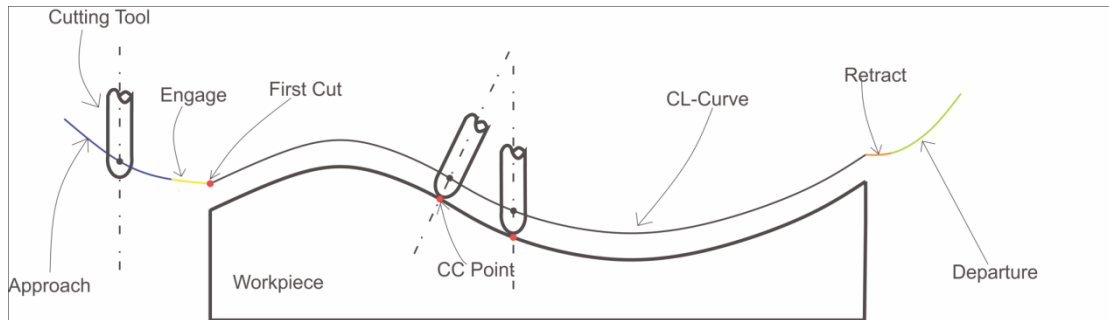
3.1 Dasar Pemesinan *Milling* 5-Axis

Pemesinan 5-axis merupakan pemesinan yang digunakan saat pemesinan 3-axis tidak mampu untuk menjangkau area yang kompleks. Pemesinan 5-axis juga digunakan untuk mendapatkan hasil permukaan yang lebih baik dikarenakan terdapat sudut pemakanan tertentu yang dapat diatur saat melakukan pemrograman lintasan pahat. Prinsip pemesinan 5-axis biasanya berorientasi pada proses *finishing*. Namun, dalam penelitian ini dilakukan proses *roughing* 5-axis karena proses 3-axis tidak mampu menjangkau bagian dalam ruas *blade* bila tidak dilakukan proses pemesinan 5-axis. Apabila proses pemesinan 3-axis dipaksakan, maka perlu dilakukan proses *semi-finishing* dengan metode 5-axis sebelum dilakukan proses *finishing* yang justru akan merugikan biaya produksi sebagai akibat dari lamanya waktu pemesinan dibandingkan dengan *roughing* 5-axis. Berikut adalah skema pergerakan mesin 5-axis.



Gambar 3.1 Arah gerak *milling* 5-axis

Terdapat tiga sumbu utama yaitu sumbu x, y, dan z yang memiliki gerak *linear*. Pada sumbu y, terdapat sumbu rotasi B dan pada sumbu z terdapat sumbu rotasi C yang membuat gerakan dari *machine tool* menjadi 5-axis. Terdapat pula tipe gerakan pada proses pemesinan yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Tipe gerakan cutting tool pada milling 5-axis

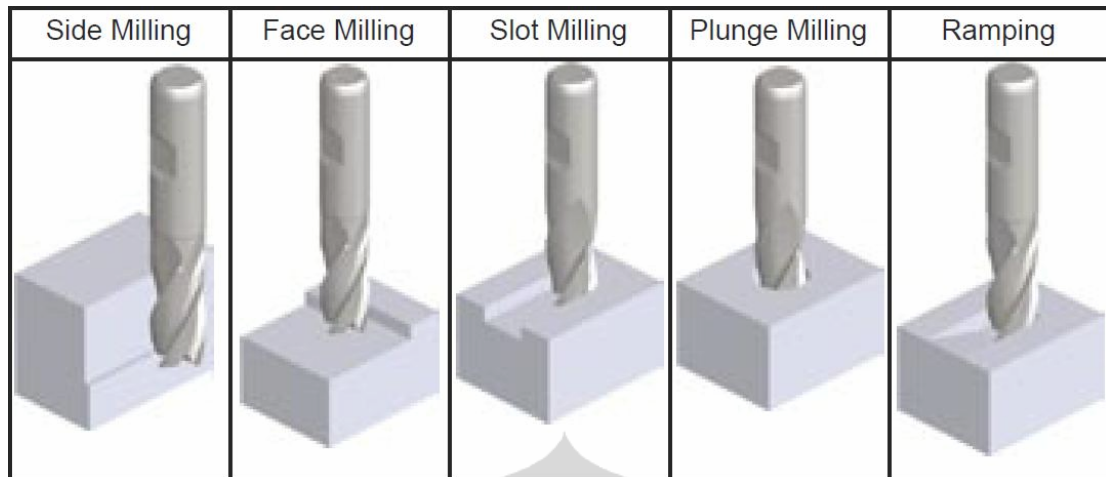
Approach adalah gerakan tidak memotong pada *cutting tool* saat akan memasuki *workpiece*, *engage* adalah gerakan *cutting tool* saat akan memulai pemakanan, *retract* adalah gerakan *cutting tool* sesaat setelah pemakanan, dan *departure* adalah gerakan tidak memotong pada *cutting tool* saat keluar dari *workpiece*.

Selain arah gerak dan tipe gerakan, terdapat pula jenis pemakanan yang dilakukan *cutting tool*, yaitu jenis *climb milling* dan *conventional milling*. Jenis pemakanan tersebut dibagi berdasarkan arah kecepatan makan *cutting tool* terhadap *workpiece*.



Gambar 3.3 Jenis pemakanan cutting tool [9]

Pada aplikasi pemakanan oleh *cutting tool* terhadap *workpiece*, terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan, diantaranya *side milling*, *slot milling*, *face milling*, *plunge milling*, dan *ramping*.



Gambar 3.4 Tipe pemakanan *cutting tool* berdasarkan arah masuknya terhadap *workpiece* [9]

Side milling adalah tipe pemakanan berdasarkan persentase *step over* (*radial depth of cut*), *face milling* adalah tipe pemakanan untuk menghaluskan permukaan *workpiece*, *slot milling* adalah tipe pemakanan menggunakan 100% diameter *cutting tool*, *plunge milling* adalah tipe pemakanan berdasarkan *step down* (*axial depth of cut*), dan *ramping* adalah gabungan antara *slot milling* dan *plunge milling*.

3.2 Parameter Pemesinan

Parameter-parameter pada proses pemesinan menentukan proses pemesinan yang berlangsung apakah telah berjalan sesuai dengan yang diinginkan atau belum. Terdapat parameter bebas dan terikat pada setiap proses pemesinan []. Parameter bebas adalah parameter yang harus dipenuhi tanpa terikat dengan parameter lainnya sedangkan parameter terikat adalah parameter yang bergantung pada perubahan yang terjadi pada parameter bebas. Saat mengalami kegagalan pemesinan, faktor utama yang harus ditinjau adalah parameter bebas terlebih dahulu apakah sudah sesuai dengan perhitungan atau terdapat kesalahan dalam perhitungan. Parameter-parameter bebas tersebut diantaranya:

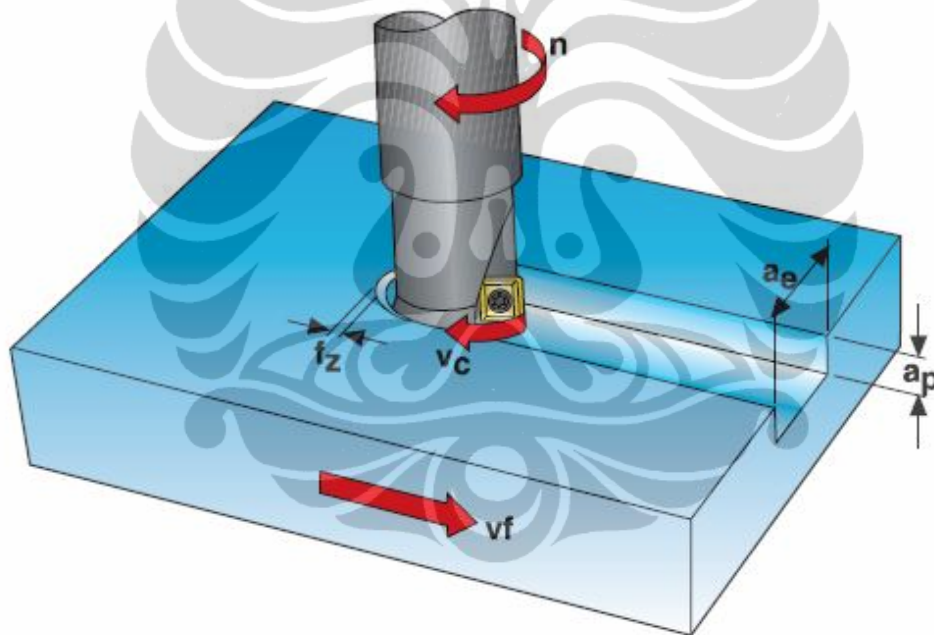
- Material dari *cutting tool* dan kondisi dari *cutting tool*
- Bentuk dari *cutting tool*, spesifikasi permukaan, toleransi pemesinan
- Material dari *workpiece*, kondisi, dan temperatur operasi
- *Cutting speed*, *feed rate*, *depth of cut*
- *Coolant* atau *cutting fluid* yang digunakan

- Karakteristik dari mesin, kekakuan *bed* dan *holder*, dan peredam getaran

Sedangkan parameter-parameter terikat adalah:

- Tipe dari *chip* yang dihasilkan
- *Cutting force*
- Perubahan temperatur pada *workpiece*, *chip*, dan *cutting tool*
- Laju keausan *cutting tool*
- Hasil akhir permukaan setelah proses pemesinan

Berdasarkan parameter-parameter di atas, terdapat persamaan-persamaan untuk mencari ketentuan yang valid saat akan melakukan proses pemesinan. Parameter yang masuk ke dalam persamaan apabila proses pemesinan akan dilakukan adalah *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*.



Gambar 3.5 Parameter pemesinan pada proses milling [10]

Cutting speed adalah kecepatan *tangential* pada *cutting tool* sedangkan *feed rate* adalah kecepatan *cutting tool* terhadap *workpiece* atau sebaliknya. Selain kedua hal tersebut, terdapat *cutting* parameter yang juga penting yaitu *depth of cut*. *Depth of cut* adalah kedalaman suatu *cutting tool* untuk melepas atau membuang material. Terdapat dua jenis *depth of cut*, *axial depth of cut* dan *radial depth of cut*. *Axial depth of cut (step down)* adalah *depth of cut* yang berada pada

axis dari *cutting tool* sedangkan *radial depth of cut (step over)* adalah *depth of cut* yang berada tegak lurus dari axis *cutting tool*.

Berikut adalah persamaan yang berhubungan dengan parameter di atas:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \text{ (mm/min)} \quad (3.1)$$

Keterangan:

v_c : *Cutting speed* (mm/min)

D : *Cutting tool diameter* (mm)

n : *Spindle speed* (rev/min)

Parameter bebas yang sesuai dengan aktual adalah diameter dari *cutting tool* yang akan digunakan pada proses pemesinan sehingga besar dari diameter tersebut dapat langsung digunakan pada persamaan (3.1). Untuk kecepatan potong dan kecepatan *spindle*, besarnya diatur berdasarkan data mana yang diatur terlebih dahulu. Apabila kecepatan potong yang diatur, maka akan didapatkan kecepatan dari *spindle* sedangkan apabila kecepatan *spindle* yang diatur, maka kecepatan makan yang akan didapatkan dari persamaan tersebut.

Selain persamaan di atas, kecepatan putar *spindle* juga dapat didapat melalui persamaan:

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \text{ (mm/tooth)} \quad (3.2)$$

Keterangan:

v_f : *Feed rate* (mm/min)

f_z : *Feed per tooth* (mm/tooth)

z : *Number of teeth*

Saat melakukan proses pemesinan, kecepatan makan adalah seberapa jauh *cutting tool* bergerak untuk melepas material yang harus dibuang. Kecepatan makan dari *cutting tool* bergantung dari jumlah *flute* atau *teeth* yang ada pada suatu *cutting tool*. Semakin banyak jumlah *flute* yang ada pada suatu *cutting tool* dengan diameter yang sama, semakin kecil area dari suatu *flute* untuk membuang material yang ditunjukkan pada f_z . Semakin besar area *flute* maka akan semakin besar area dan ketebalan dari *chip*. *Chip* adalah material sisa hasil permesinan yang jumlahnya berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

Material removal rate (laju pelepasan material) merupakan volume dari material yang dibuang dalam satu satuan waktu. MRR terdiri dari *feed rate*, *axial depth of cut*, dan *radial depth of cut*. *Radial depth of cut* akan menentukan seberapa besar *step over* yang dapat dilakukan oleh suatu *cutting tool*. Secara umum, *radial depth of cut* tidak boleh lebih besar dari 30% terhadap diameter dari *cutting tool* yang digunakan. Berikut adalah persamaan MRR:

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f \text{ (mm}^3\text{/min)} \quad (3.3)$$

Keterangan:

Q : *Material removal rate* (mm³/min)

a_p : *Axial depth of cut* (mm)

Axial depth of cut adalah arah makan yang searah dengan sumbu pada *cutting tool*. *Axial depth of cut* akan menentukan seberapa dalam *cutting tool* dapat memakan *workpiece* (*step down*).

Untuk menghitung waktu pemesinan, berikut adalah persamaan yang dapat digunakan:

$$T_c = \frac{L}{v_f} \text{ (min)} \quad (3.4)$$

Keterangan:

T_c : Waktu pemesinan (min)

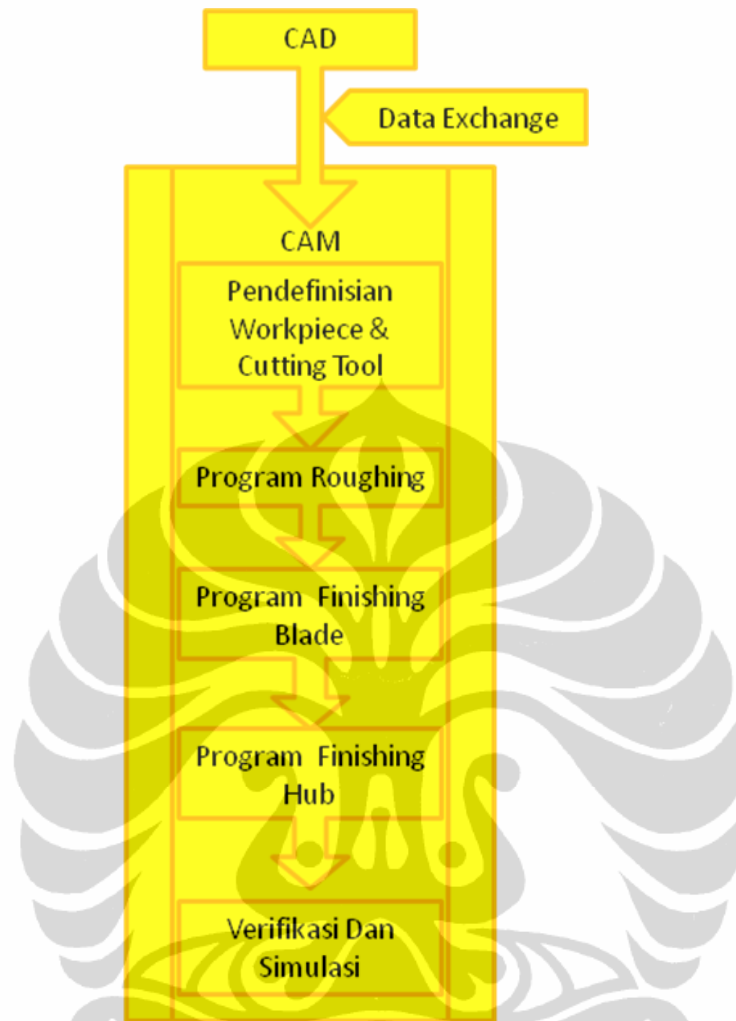
L : Panjang lintasan pahat (mm)

Waktu pemesinan adalah total dari waktu *cutting tool* saat melepas material ditambah dengan waktu *cutting tool* saat melakukan gerakan tidak membuang material. Untuk setiap gerakan *cutting tool* tersebut memiliki kecepatan makannya masing-masing. Oleh karena itu, panjang dari lintasan pahat pun dibagi menjadi dua, lintasan pahat saat *cutting tool* melepas material dan saat *cutting tool* tidak melepas material.

3.3 Pengembangan Lintasan Pahat

Saat model 3D telah dibuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pemrograman lintasan pahat untuk mendapatkan *cutter location file* (CL-*file*) dan *cutter contact point* (CC *point*). Selain untuk mendapat CL-*file* dan CC *point*, pemrograman lintasan pahat juga dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang nantinya akan digunakan pula untuk proses pemesinan.

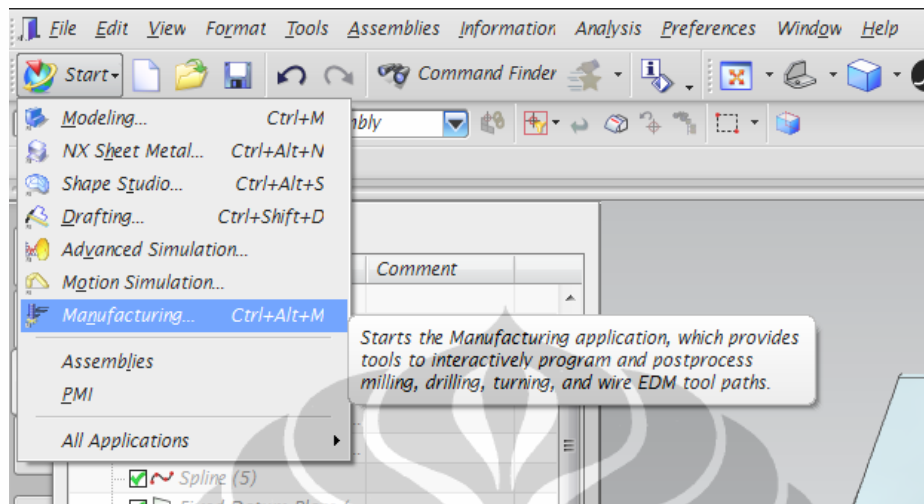
Berikut adalah *flowchart* pengembangan lintasan pahat:



Gambar 3.6 *Flowchart* pengembangan lintasan pahat

Untuk melakukan pemrograman lintasan pahat, komponen yang akan diprogram harus berada dalam CAM *software*. Beberapa CAM *software* sudah terintegrasi dengan CAD *software* namun ada juga beberapa CAM *software* yang tidak terintegrasi dengan CAD *software*. Contoh CAM *software* yang terintegrasi adalah *software* NX. Dengan adanya pengintegrasian antara CAD dan CAM *software* dapat mempermudah operator untuk melakukan pertukaran data (*data exchange*). Dengan adanya pengintegrasian CAD dan CAM *software*, penyimpanan data menjadi lebih baik karena tidak adanya data yang hilang saat perpindahan format dari format CAD ke format CAM. Selain itu, pengintegrasian CAD dan CAM *software* memiliki kelebihan mempercepat proses perpindahan data tanpa harus berpindah *software* sekalipun *software* tersebut memiliki

kesamaan produsen. Berikut adalah gambar perpindahan data dari format CAD ke format CAM pada *software NX*.



Gambar 3.7 Perpindahan format CAD menjadi format CAM pada NX

Pada gambar 3.7, kemudahan perpindahan format dapat terlihat dengan tersedianya menu *manufacturing*. Pengeditan gambar juga akan lebih mudah untuk dilakukan karena adanya menu *modeling*.

Pemrograman pada NX dilakukan dengan membuat folder program bila diperlukan, menentukan geometri dari *workpiece*, memilih tipe *cutting tool* dan menentukan ukurannya, dan menentukan operasi yang akan digunakan.

Pada penjelasan sebelumnya, terdapat CAD dan CAM *software* yang terintegrasi dan tidak terintegrasi. *Software Powermill* adalah contoh *software* yang tidak terintegrasi dengan CAD *software*. Powermill hanya dapat melakukan segala simulasi pada CAM tetapi tidak dapat melakukan pengeditan gambar. Pengeditan gambar yang sesuai dengan *software Powermill* adalah *software CAD Powershape* yang memiliki produsen yang sama yaitu Delcam.

Dengan tidak terintegrasinya antara CAD dan CAM akan mempengaruhi kecepatan olah data dari desain ke proses manufaktur. Proses pertukaran data akan menjadi lebih lama dan data yang tersimpan dari model CAD tidak dapat semuanya terbaca dengan baik oleh CAM *software* terkecuali memiliki kesamaan produsen atau format data. Untuk itu, pada saat melakukan pemindahan data dari *software NX* ke Powermill, terdapat format-format yang bisa digunakan untuk pertukaran data, seperti STL (*stereo lithography file*), stp (*STEP file*), parasolid,

dan lain sebagainya. Format-format data tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Sebagai contoh format *file* STL. Format *file* STL memiliki kelebihan pembacaan *surface* (permukaan dari part) yang akan di *import* atau pun *export* lebih baik dibandingkan format *file* lain. Akan tetapi, format *file* ini memiliki kelemahan permukaan terluar merupakan kulit dari suatu solid *body*. Contohnya apabila diekspor suatu *file* yang memiliki material jadi dan *raw material*, maka material jadi tidak terbaca dengan baik karena dianggap bagian *solid body* dari *raw material* sehingga saat melakukan pendefinisian model, terdapat bagian dari model yang tidak terbaca dengan baik. Pada penelitian ini, format data yang digunakan adalah prt *file* (format dari NX), dgc *file* (format dari Powermill dan Powershape), dan stp (format STEP sebagai format pertukaran data).

Hal pertama yang dilakukan sebelum melakukan pemrograman adalah mengimport *file* yang akan dijadikan sebagai *project* untuk simulasi CAM menggunakan Powermill. Setelah model berhasil di *import*, Pendefinisian model dilakukan mirip dengan pendefinisian *workpiece* yang dilakukan dengan *software* NX namun terdapat perbedaan parameter yang harus didefinisikan. *Software* Powermill lebih berorientasi ke arah *surface* atau permukaan sedangkan *software* NX berorientasi ke arah *solid body* sehingga pendefinisian yang dilakukan pada *software* Powermill hanya meliputi permukaan-permukaan yang akan dilakukan proses pemesinan. Pengerjaan program pada *software* Powermill memiliki parameter-parameter pemesinan yang sama dengan yang didefinisikan pada *software* NX.

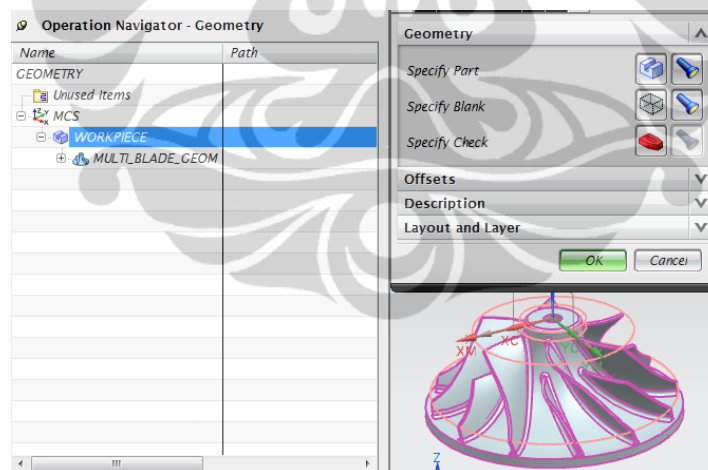
Pendefinisian pada Powermill dilakukan dengan menggunakan fitur *level and set*. Fitur tersebut menentukan mana bagian yang akan menjadi *hub* dari suatu *impeller*, menentukan *blade*, *splitter*, *fillet*, dan *shroud*. Sebelum melakukan pendefinisian, terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan, yaitu apakah model yang di *import* telah sesuai dengan spesifikasi dari *software* Powermill.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, model yang di *import* dengan format stp memiliki kekurangan pada pembacaan bagian *fillet*. Bagian permukaan *blade* dan *fillet* dianggap satu permukaan sedangkan Powermill menginginkan bagian tersebut terdiri dari dua permukaan untuk dapat melakukan perhitungan

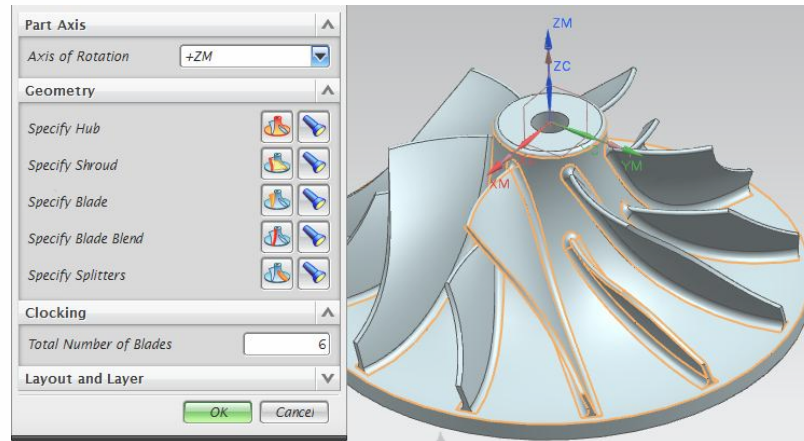
terhadap lintasan pahat yang akan dibuat. Untuk itu, dibuatlah model 3D *impeller* pada *software NX* dengan dua tipe, tipe yang telah dilakukan proses *blending* dan tipe yang tidak dilakukan proses *blending*. Kedua model tersebut di *import* untuk kemudian dilakukan pemilihan model yang mana yang digunakan dan model yang mana yang dibuang.

3.3.1 Menentukan *Workpiece* Dan *Cutting tool*

Penentuan *workpiece* adalah hal pertama yang perlu dilakukan agar dapat menjalankan proses simulasi. Pada proses pemesinan *impeller*, *workpiece* yang harus didefinisikan terdiri dari beberapa bagian. Bagian-bagian tersebut sama dengan apa yang telah digambar pada saat pemodelan. Bagian pertama yang didefinisikan adalah keseluruhan komponen yang akan dibuat yaitu *impeller* seutuhnya. Kedua, adalah *blank material* yang berfungsi sebagai *raw material* dari benda yang akan dibuat. Setelah itu, bagian-bagian lain didefinisikan agar program simulasi dapat membaca dan memperhitungkan lintasan pahat yang akan dilalui oleh *cutting tool*. Berikut adalah gambar pendefinisian *workpiece* pada *software NX*.

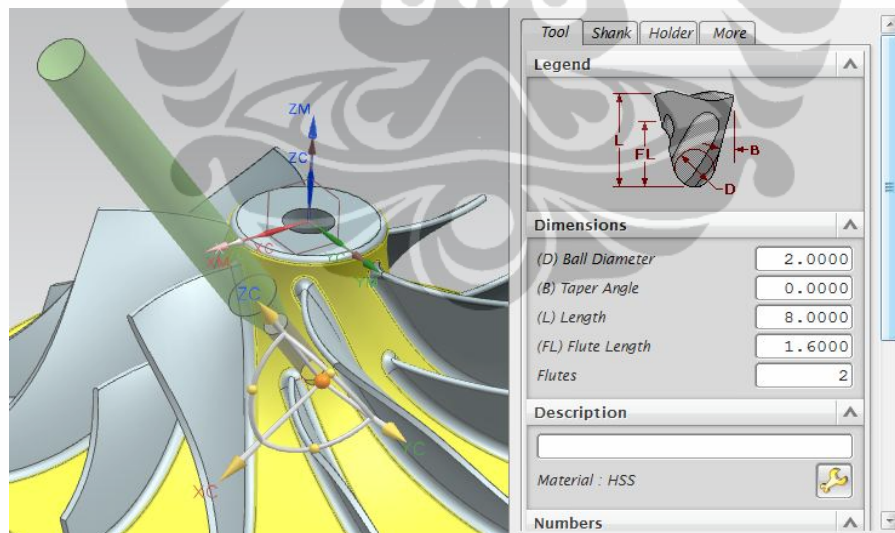


Gambar 3.8 Pendefinisian part dan blank material



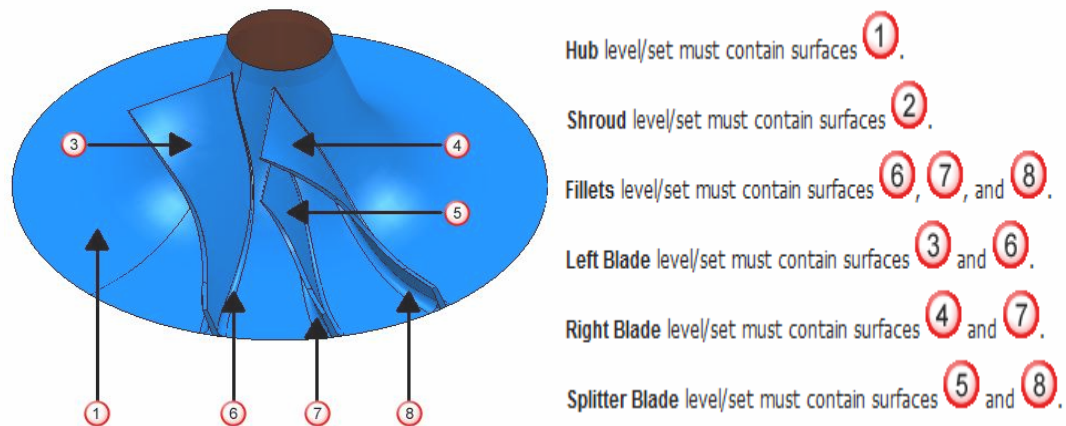
Gambar 3.9 Pendefinisian bagian pada impeller

Setelah penentuan *workpiece* selesai, penentuan *cutting tool* dilakukan. Tipe, ukuran, dan material dari *cutting tool* ditentukan berdasarkan spesifikasi dari katalog. Dalam penelitian ini, merk *cutting tool* yang digunakan adalah Boo Young *Cutting tool* dengan tipe SKRB (*long neck ball end mills*). *Cutting tool* yang digunakan bertipe *ball end mill* baik yang digunakan pada saat *roughing* maupun saat *finishing*. Berikut adalah spesifikasi dari *cutting tool* yang digunakan.



Gambar 3.10 Spesifikasi cutting tool

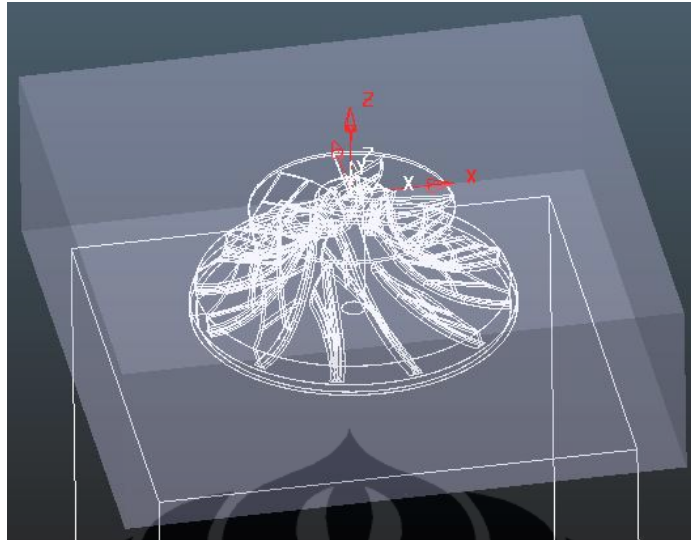
Pada *software* Powermill, fitur yang digunakan untuk mendefinisikan bagian-bagian dari model adalah *level and set*. Fitur *level and set* digunakan berdasarkan bagian-bagian yang telah disebutkan sebelumnya. Berikut adalah gambar pendefinisian model dengan menggunakan fitur *level and set*.



Gambar 3.11 Pendefinisian level dan set pada Powermill [11]

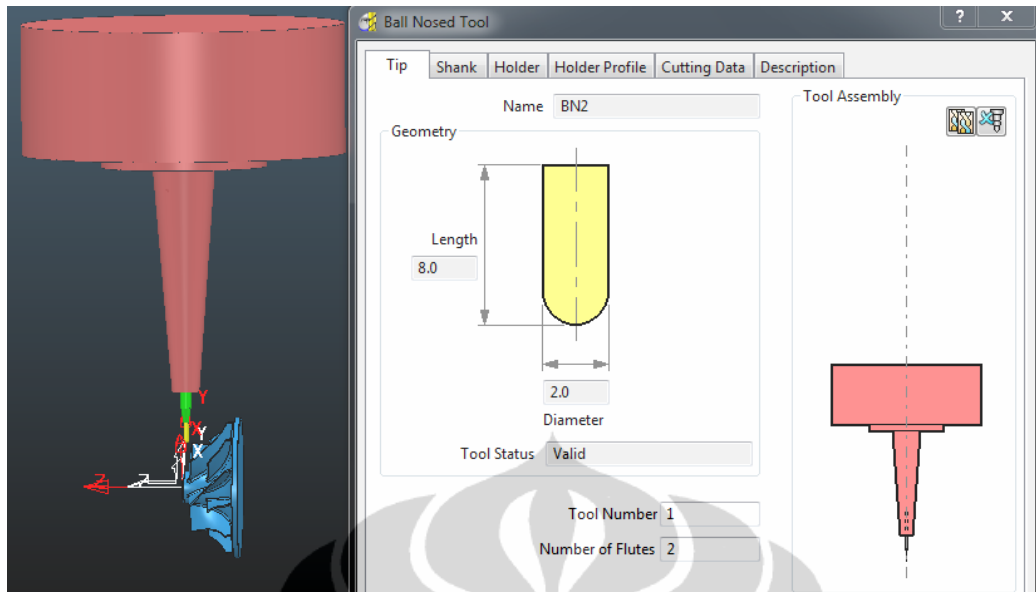
Setelah selesai mendefinisikan model, selanjutnya adalah menentukan *blank material* yang akan digunakan sebagai *raw material* pada proses pemesinan. *Blank material* pada Powermill telah disediakan melalui fitur *block*. *Block* dapat didefinisikan dengan menentukan bentuknya apakah persegi, silinder, segitiga, atau dapat didefinisikan berdasarkan *boundary*-nya. Ukuran *block* juga dapat diatur besarnya berdasarkan material jadi yang diinginkan untuk dibuat.

Setelah mendefinisikan *block*, proses selanjutnya adalah menentukan *cutting tool* yang akan digunakan pada proses pemesinan. Proses simulasi pemesinan yang dilakukan pada *software* Powermill sedikit berbeda dengan proses simulasi pemesinan pada *software* NX dikarenakan pada *software* Powermill, data *CL-file* yang didapat akan langsung diproses pada *post processor* untuk mendapatkan lintasan pahat yang akan digunakan pada proses pemesinan yang sebenarnya. Perbedaan tersebut terletak pada awal simulasi, yaitu adanya proses pemesinan pembuatan lintasan pahat untuk membuat *shroud* terlebih dahulu dari *raw material* yang berbentuk persegi. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan dengan *raw material* yang ada saat akan melakukan proses pemesinan. Untuk itu, tidak seperti pada *software* NX, pendefinisian *raw material* dapat dilakukan pada setiap programnya. Berikut adalah pendefinisian *raw material* pada program *roughing* pertama.



Gambar 3.12 Pendefinisian block

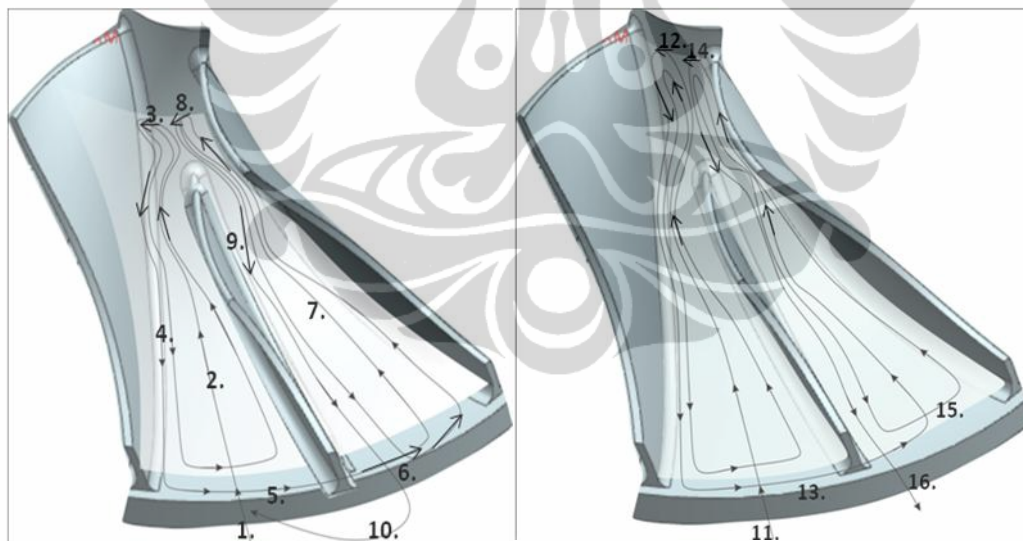
Sama halnya dengan pendefinisian *block*, *cutting tool* yang digunakan pada *software* Powermill ini beragam tidak seperti pada *software* NX. Pada *software* NX, program simulasi dimulai dari *roughing* pada *impeller* yang telah terbentuk *shroudnya* sedangkan pada *software* Powermill, program simulasi dimulai dari *blank material* yang berbentuk persegi untuk kemudian dibentuk *shroudnya* terlebih dahulu. Oleh karena itu, *cutting tool* yang digunakan berjumlah dua buah. *Cutting tool* yang digunakan terdiri dari *cutting tool* yang berdiameter 10 mm tipe *flat end mill* yang digunakan pada saat *roughing* awal dan pemotongan *impeller* dengan *raw material* dan *cutting tool* yang berdiameter 2 mm tipe *ball end mill* digunakan untuk seluruh proses pemesinan *impeller*. Spesifikasi lebih jelas pada *cutting tool* yang digunakan pada seluruh proses pemesinan *impeller* adalah sebagai berikut.



Gambar 3.13 Pendefinisian cutting tool beserta shank dan holder

3.3.2 Membuat Operasi Proses *Roughing*

Pengembangan lintasan pahat pada proses *roughing* yang dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.14 Strategi proses *roughing*, layer awal (kiri) dan layer akhir (kanan) pada impeller diameter 54 mm

Strategi proses *roughing* yang dilakukan terdiri dari layer (berdasarkan *depth of cut*) dan lintasan (berdasarkan *step over*). Jalur pemakanan pada *impeller* dilakukan berturut-turut dari nomor 1 hingga 10. Setelah nomor 10, jalur pemakanan masuk dari layer awal ke layer akhir dilakukan dengan gerakan yang

sama. Nomor 11 menunjukkan arah masuknya cutting tool pada layer berikutnya dan nomor 16 merupakan arah keluar dari cutting tool setelah proses roughing pada satu ruas blade selesai. Prinsip dari proses *roughing* ini adalah melakukan pemakanan mulai dari bagian tengah ruas *blade* yang semakin lama menuju pada *blade* sisi kiri dan kanan. Karena *impeller* memiliki splitter, pemakanan dilakukan dengan memakan bagian yang berada pada sisi kiri splitter terlebih dahulu yang dimulai dari bagian tengah kemudian baru memakan sisi kanan dari splitter yang juga dimulai dari tengah.

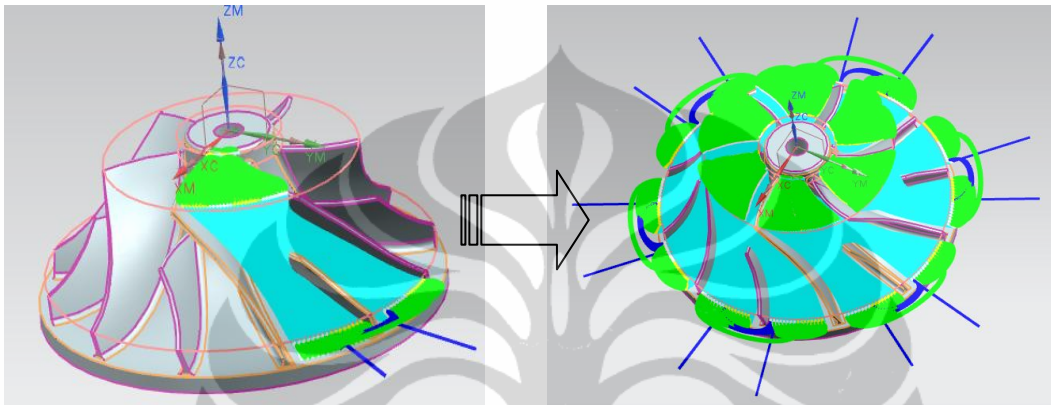
Operasi dibuat dengan fitur *create operation*. Parameter awal yang harus ditentukan adalah metode proses pemesinan. Metode yang digunakan adalah metode *rough* yang akan membuat *software* memperhitungkan segala aspek yang ada pada saat melakukan *roughing* termasuk mendahulukan pengambilan volume material sebanyak mungkin dibandingkan memperhatikan kualitas permukaan. Strategi *roughing* yang dilakukan adalah dengan mengatur arah pemakanan *cutting tool*, darimana *cutting tool* tersebut memulai pemakanannya, seberapa besar kecepatan *spindle* yang digunakan, seberapa besar kecepatan pemakanan, dan lain-lain. Berikut adalah *machining parameter* proses *roughing impeller diameter 54 mm*.

Tabel 3.1 *Machining parameter proses roughing impeller diameter 54 mm*

No	<i>Machining Parameter</i>	Keterangan
1	Diameter <i>cutting tool</i>	2 mm
2	Tipe <i>cutting tool</i>	<i>ball end mill</i>
3	<i>Depth of cut</i>	0.15 mm
4	<i>Step over</i>	0.7 mm
5	<i>Spindle Speed</i>	10000 rpm
6	<i>Feed rate</i>	1300 mm/min
7	<i>Tolerance</i>	0.01 mm
8	<i>Hub stock</i>	1 mm
9	<i>Blade stock</i>	1 mm

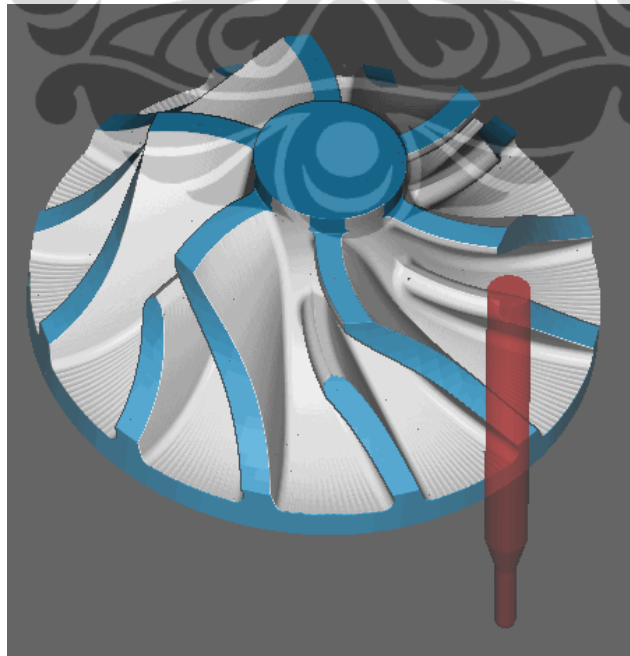
Setelah selesai mendefinisikan machining parameter, lintasan pahat dapat dibuat dengan memperhitungkan kemungkinan terjadinya *collision* atau tidak. Terdapat pula fitur *gouge check* untuk dapat melihat langsung dimana saja terjadi *collision*. Pergerakan *cutting tool* pada lintasan pahat juga dapat dilihat dengan menggunakan fitur *simulate* atau pun *verify*. Setelah selesai melakukan

pemrograman pada satu ruas *blade* (antara *blade* pertama dengan *blade* kedua), program tersebut dapat di-copy seperti melakukan *array* geometri pada saat pemodelan. Cara untuk melakukan *array* program lintasan pahat tersebut adalah menggunakan fitur *object transform*. Perlu diperhatikan bahwa lingkup dari *array* tersebut harus dalam keadaan *entire assembly* (seluruh komponen *impeller* dalam posisi dipilih). Jumlah lintasan pahat yang di-copy adalah lima lintasan pahat. Berikut adalah gambar lintasan sebelum dan setelah di-copy.



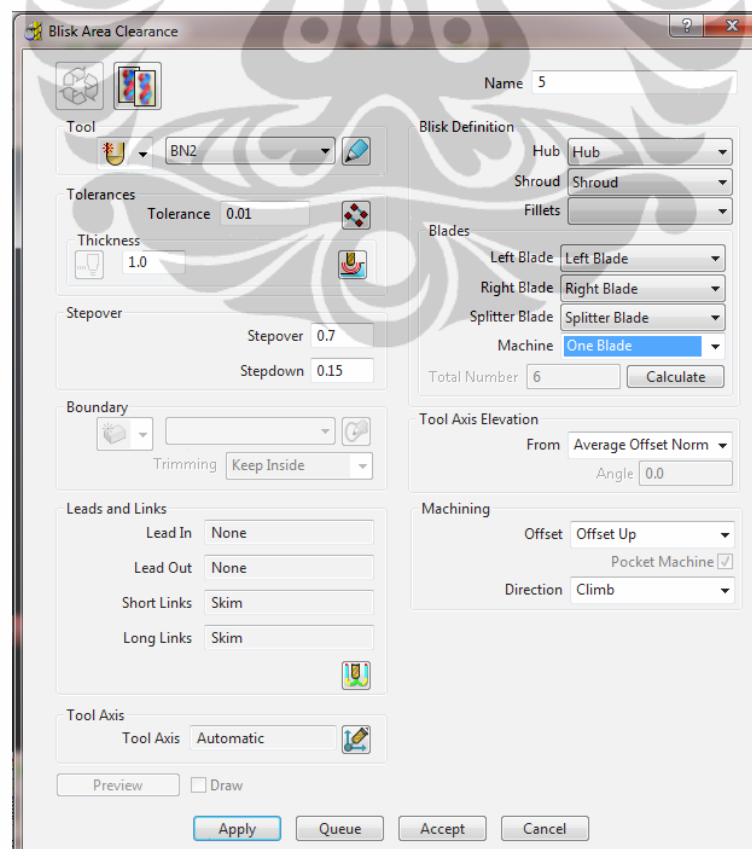
Gambar 3.15 Program roughing sebelum dan sesudah di-copy pada impeller diameter 54 mm

Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada software NX.



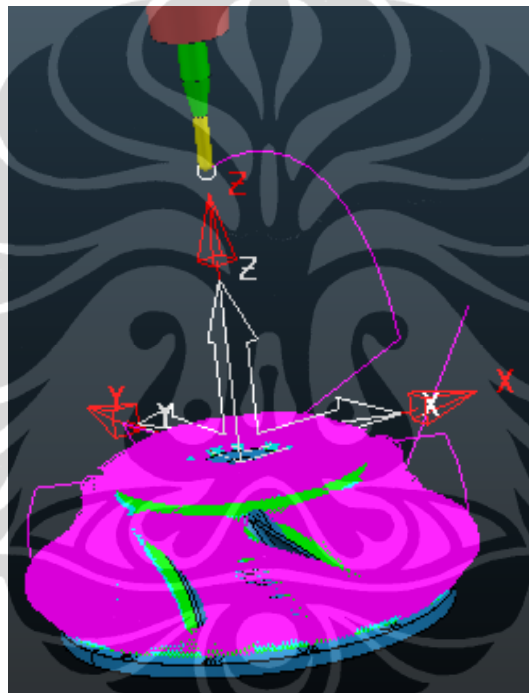
Gambar 3.16 Simulasi proses roughing impeller diameter 54 mm pada software NX

Pada *software* Powermill, lintasan pahat dibuat dengan menggunakan fitur *toolpath strategies*. Pada dasarnya, pembuatan program pada *software* Powermill tidak jauh berbeda dengan pembuatan program pada *software* NX. Parameter-parameter proses pemesinan yang diatur pada Powermill sama dengan parameter-parameter proses pemesinan yang diatur pada NX. Untuk melakukan proses pemesinan *impeller*, dapat menggunakan program *blisks* yang terdiri dari *blisk areaclear model*, *blade finishing*, dan *hub finishing*. Untuk melakukan proses *roughing*, maka program yang digunakan adalah *blisk areaclear model*. Pergantian *cutting tool* terjadi pada program ini karena sebelumnya menggunakan *cutting tool* yang lebih besar untuk melakukan *roughing* awal dan *finishing shroud* sehingga pergantian *cutting tool* tidak terlewat. Berbeda dengan NX, untuk menduplikasi lintasan pahat yang telah diprogram, Powermill dapat melakukan perhitungan awal untuk mengetahui berapa jumlah *blade* yang ada pada suatu *impeller* atau *blisk* sehingga proses pemesinan dapat dilakukan berdasarkan perhitungan awal tersebut. Terdapat pilihan untuk membuat satu program lintasan pahat terlebih dahulu sebelum seluruh *blade* dapat dibuat lintasan pahatnya.



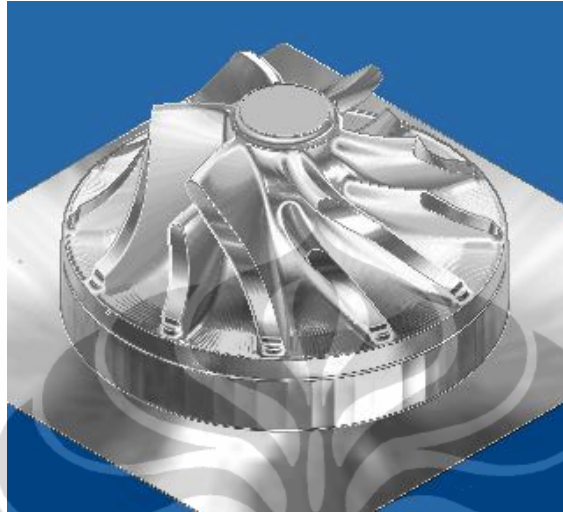
Gambar 3.17 Interface pemrograman *roughing* pada Powermill

Perhitungan pembuatan lintasan pahat dilakukan setelah *machining parameter* selesai didefinisikan. Sama halnya dengan NX, Powermill juga memperhitungkan kemungkinan terjadinya *collision* dan juga apakah proses pemesinan dengan program lintasan tersebut dapat tercapai atau tidak. Perlu diperhatikan bahwa dalam melakukan pemrograman untuk *blisk* atau *impeller*, perhitungan jumlah *blade* telah sesuai dengan model atau belum. Apabila belum sesuai, terdapat pendefinisian *level* dan *set* yang masih salah sehingga Powermill tidak dapat membaca jumlah *blade* dan *splitter* yang ada.



Gambar 3.18 Lintasan pahat pada proses roughing

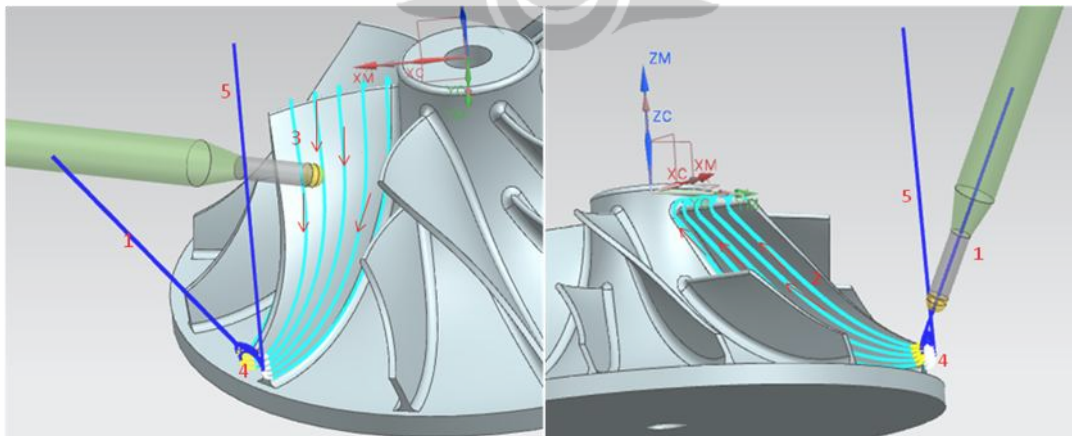
Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 3.19 Simulasi proses roughing impeller diameter 54 mm pada software Powermill

3.3.3 Membuat Operasi Proses *Finishing* Pada *Blade* Dan *Splitter*

Strategi yang dilakukan pada proses *finishing blade* maupun *splitter* adalah pemakanan *blade* secara keliling dengan profil penampang *blade* sebagai kedalaman dari model pemakan keliling. Metode ini disebut juga dengan *peripheral milling*. Berikut adalah metode *peripheral milling* yang dilakukan pada proses *finishing blade*.



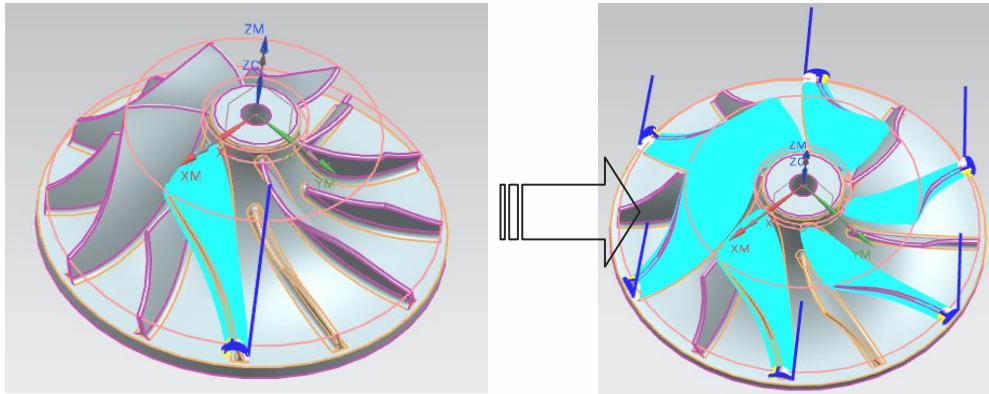
Gambar 3.20 Strategi proses finishing blade, tampak depan (kiri) dan tampak belakang (kanan) pada impeller diameter 54 mm

Proses *finishing* pada *blade* adalah proses yang memiliki resiko paling tinggi saat proses pemesinan dilakukan karena *blade* yang memiliki kontur permukaan yang paling rumit dan juga ketebalan yang paling tipis. Strategi yang dilakukan adalah dengan menyisakan ketebalan tertentu sebelum proses *finishing* agar saat proses *finishing* dilakukan, bagian *blade* yang seharusnya tidak termakan dapat tetap aman. Selain itu, pemakanan yang dilakukan juga harus merata pada setiap sisi secara terus menerus sampai pada kedalaman pemakanan yang ditentukan. Gerakan pemakanan dilakukan dari nomor 1 sampai dengan nomor 5. Nomor 1 merupakan gerakan *approach* dan *engage*, nomor 5 adalah gerakan *retract* dan *departure*. Nomor 2, 3, dan 4 adalah gerakan yang diulang terus menerus pada setiap layer. Gerakan 2 dan 3 adalah gerakan *cutting* sedangkan gerakan 4 adalah *retract* dan *engage*. Berikut adalah *machining parameter* pada operasi *blade finishing*.

Tabel 3.2 *Machining parameter proses finishing blade impeller diameter 54 mm*

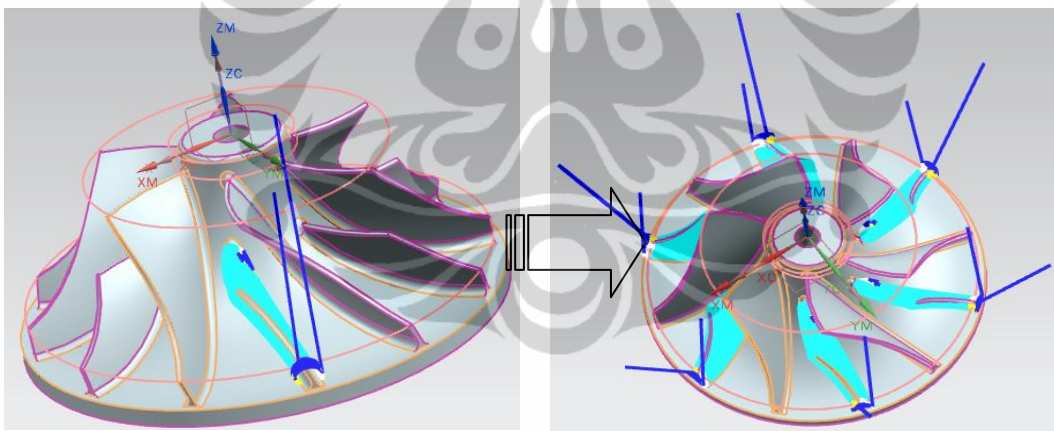
No	Machining Parameter	Keterangan
1	<i>Diameter cutting tool</i>	2 mm
2	<i>Tipe cutting tool</i>	ball end mill
3	<i>Depth of cut</i>	0.08 mm
4	<i>Step over</i>	-
5	<i>Spindle Speed</i>	10000 rpm
6	<i>Feed rate</i>	1300 mm/min
7	<i>Tolerance</i>	0.01 mm
8	<i>Hub stock</i>	1 mm
9	<i>Blade stock</i>	0 mm

Sama halnya dengan proses *roughing*, setelah selesai melakukan pemrograman lintasan pahat pada proses *blade finishing*, perlu dilakukan *array* pada setiap *blade*. Jumlah *array* lintasan pahat sama dengan pada saat proses *roughing*, yakni lima. Berikut adalah gambar lintasan pahat sebelum dan sesudah di-copy.



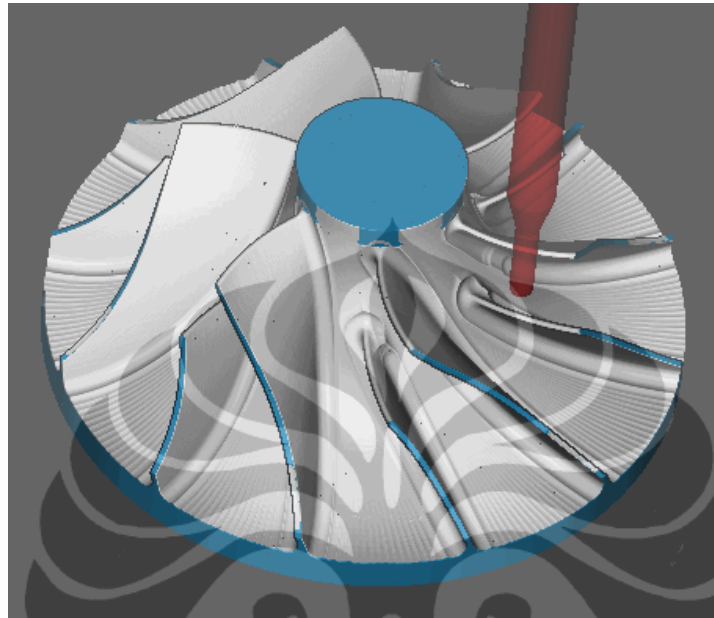
Gambar 3.21 Program finishing blade sebelum dan sesudah di-copy diameter 54 mm

Setelah selesai melakukan pemrograman pada *blade*, dilakukan pemrograman lintasan pahat pada *splitter*. Fitur-fitur dan *machining parameter* yang digunakan sama dengan proses *finishing* pada *blade*, hanya saja pada fitur *drive method*, geometri yang akan dilakukan proses pemesinan adalah *splitter*. Setelah program berhasil dibuat, lintasan pahat pun di-copy dengan jumlah yang sama dengan *blade* yaitu lima lintasan pahat. Berikut gambar lintasan pahat pada *splitter*.



Gambar 3.22 Gambar finishing splitter sebelum dan sesudah di-copy

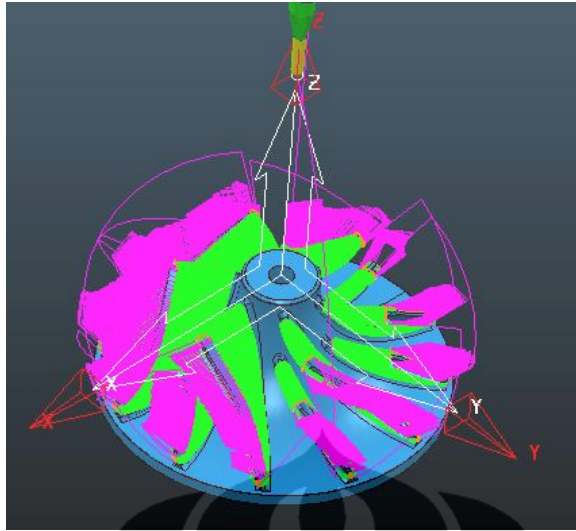
Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada software NX.



Gambar 3.23 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 54 mm pada software NX

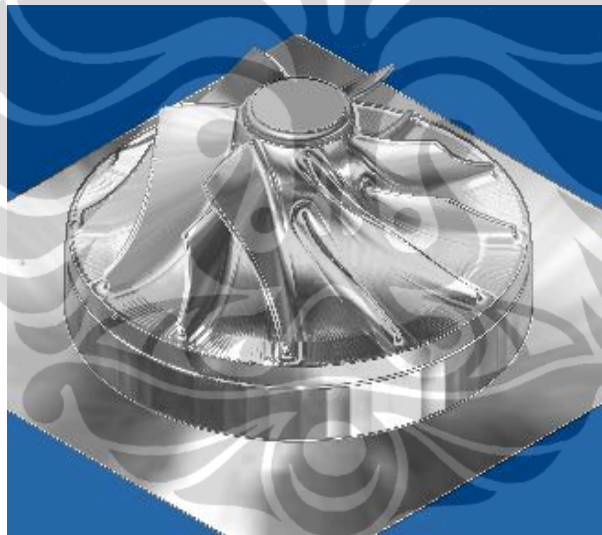
Strategi pada proses *finishing blade* yang dilakukan pada *software NX* juga diterapkan pada *Powermill* agar dapat dilakukan pemakanan yang sesuai dan aman bagi *blade*. Saat menyisakan ketebalan pada *blade*, hal yang perlu diperhatikan adalah jarak antar *blade* yang semakin tipis dikarenakan *blade* hasil proses *roughing* yang masih tebal. Hal ini akan mempengaruhi program *roughing* yang sebelumnya telah dibuat. Apabila disisakan ketebalan *blade* yang terlalu berlebih maka program *roughing* akan berhenti sebelum sampai pada hasil yang diinginkan. Sebaliknya, apabila ketebalan *blade* hanya disisakan sedikit maka resiko *blade* patah atau terjadinya *collision* akan semakin besar.

Pada proses *finishing blade* yang dilakukan, arah perubahan *tool axis* harus dibatasi mulai dari 0° sampai dengan 90° . Hal ini dilakukan sebagai upaya penyesuaian dengan mesin untuk melakukan proses pemesinan yang sebenarnya. Pada mesin tersebut, gerakan pada sumbu B dibatasi hanya sampai dengan 90° sehingga apabila program dibuat dengan *tool axis* melebihi batas tersebut, maka saat melakukan proses pemesinan mesin akan berhenti karena tidak mampu mencapai sudut melebihi batas tersebut.



Gambar 3.24 Lintasan pahat pada proses finishing blade dan splitter

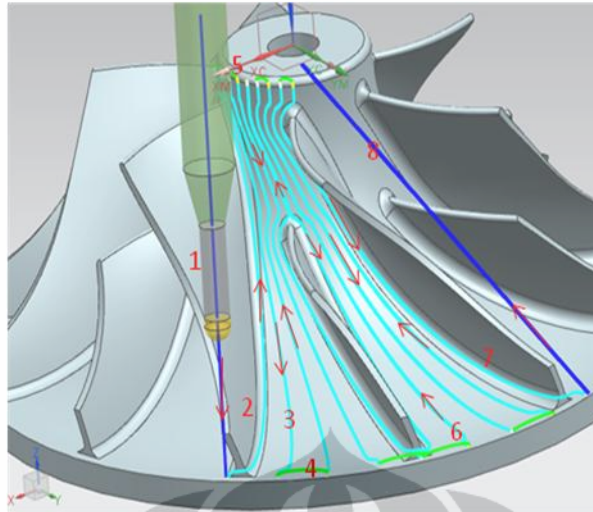
Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 3.25 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 54 mm pada software Powermill

3.3.4 Membuat Operasi Proses *Finishing* Pada Hub

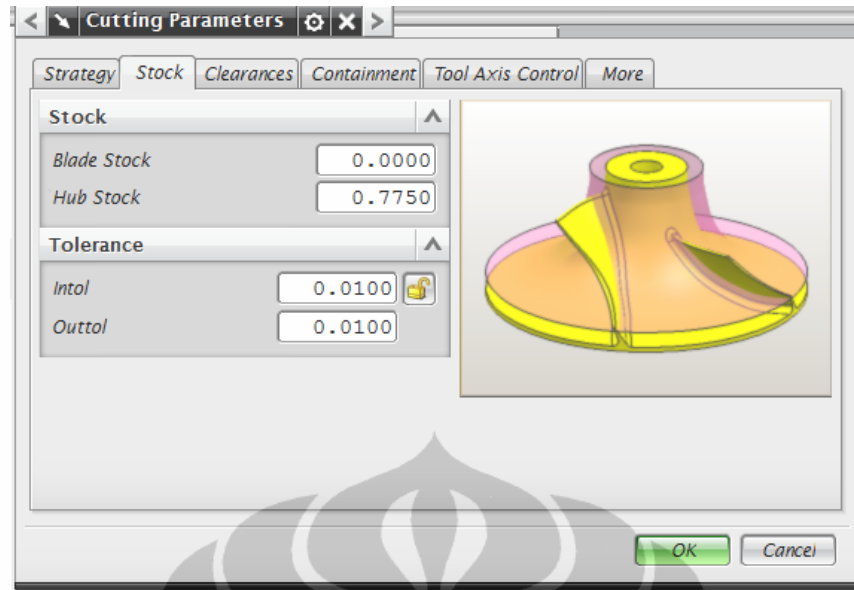
Meskipun dilakukan berulang kali sampai pada kedalaman permukaan hub, proses *finishing* hub selalu menggunakan strategi yang sama. Berikut adalah gambar strategi pemesinan yang dilakukan pada proses *finishing* hub.



Gambar 3.26 Strategi proses finishing hub pada impeller diameter 54 mm

Strategi yang dilakukan adalah melakukan proses pemakanan dari *blade* yang berada di sebelah kiri menuju ke splitter lalu ke *blade* yang berada di sebelah kanan. Gerakan makan ditunjukkan dari nomor 1 sampai dengan nomor 8.

Proses *finishing* pada *hub* mirip dengan proses *roughing*. Perbedaan terletak pada *machining parameter* dari *hub finishing* yang tidak memiliki *depth of cut*. *Depth of cut* atau kedalaman pemakanan pada *finishing hub* berbeda dengan *roughing*. Pada saat proses *roughing*, *depth of cut* diatur untuk setiap kedalaman pemakanan secara terus menerus sedangkan pada proses *hub finishing*, acuan kedalaman adalah permukaan yang akan dilakukan pemakanan karena orientasi dari *finishing* adalah permukaan. Proses *finishing* pada *hub* dilakukan secara bertahap dikarenakan masih terdapat material yang belum dibuang saat proses *roughing*. Oleh karena itu, ketebalan pada *hub* dan *blade* diatur pada fitur *stock* di dalam operasi *hub finishing*. Berikut adalah gambar *stock* yang diatur.



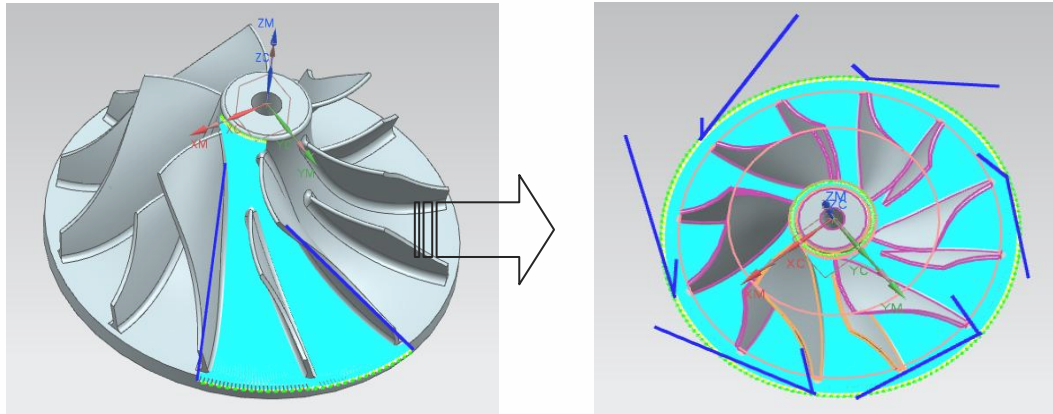
Gambar 3.27 Pengaturan stock pada model

Machining parameter yang terdapat pada proses *hub finishing* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 *Machining parameter* proses finishing hub impeller diameter 54 mm

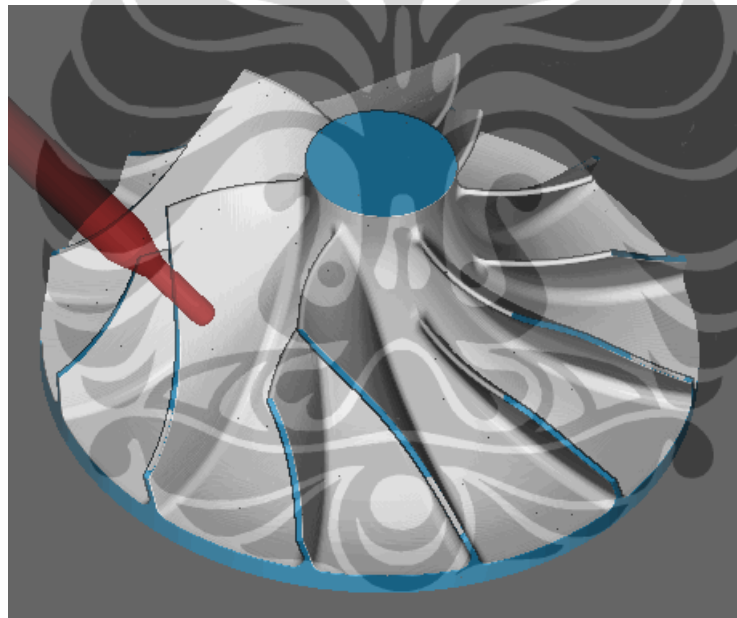
No	<i>Machining Parameter</i>	<i>Keterangan</i>
1	<i>Diameter cutting tool</i>	2 mm
2	<i>Tipe cutting tool</i>	ball end mill
3	<i>Increment</i>	0.225 mm
4	<i>Step over</i>	0.5 mm dan 0.2 mm
5	<i>Spindle Speed</i>	10000 rpm
6	<i>Feed rate</i>	1300 mm/min
7	<i>Tolerance</i>	0.01 mm
8	<i>Hub stock</i>	0 mm
9	<i>Blade stock</i>	0 mm

Sama seperti proses sebelumnya, lintasan pahat yang telah berhasil diprogram di-*array* berdasarkan jumlah ruas antar *blade* yang ada, yaitu lima. Berikut adalah hasil lintasan pahat pada *hub finishing*.



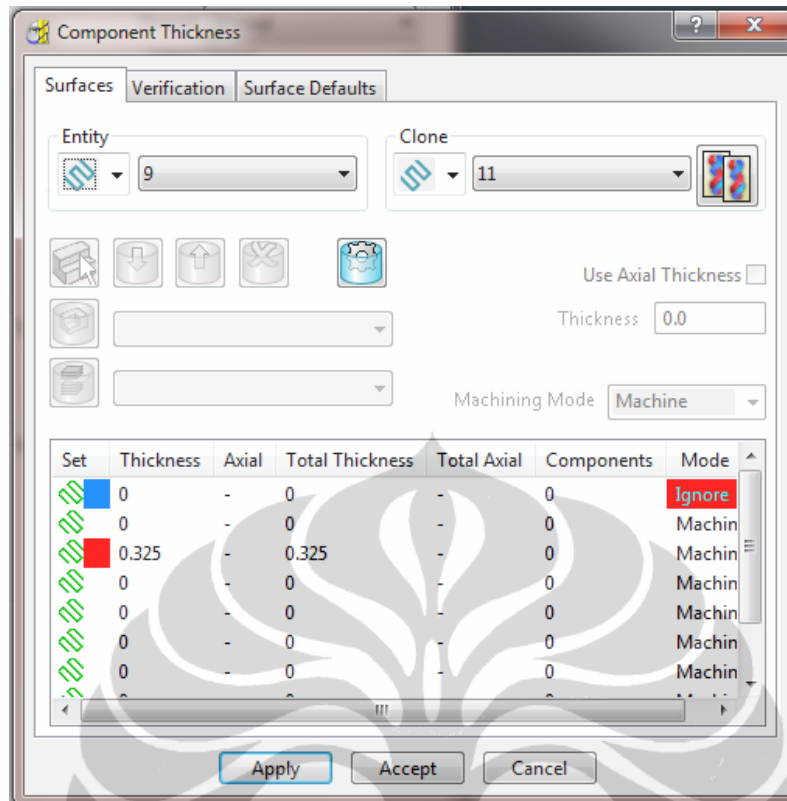
Gambar 3.28 Proses finishing hub sebelum dan sesudah di-copy impeller diameter 54 mm

Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada software NX.



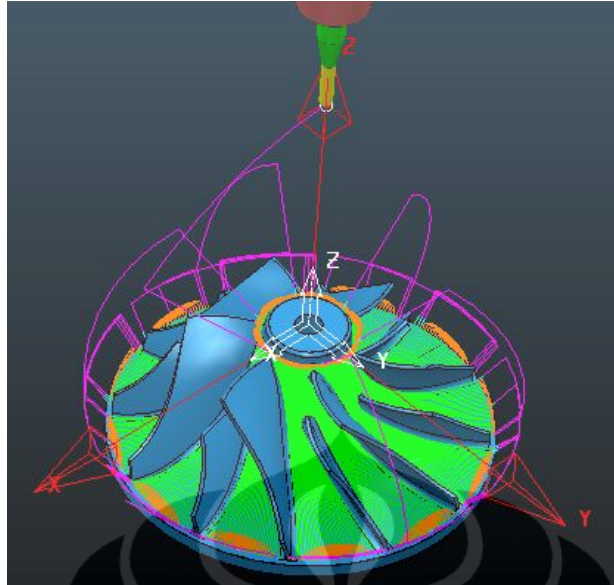
Gambar 3.29 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 54 mm pada software NX

Fitur *stock* pada NX diatur pada setiap program yang dibuat begitu pula fitur *thickness* pada Powermill. Berikut adalah pengaturan fitur *thickness* pada software Powermill.



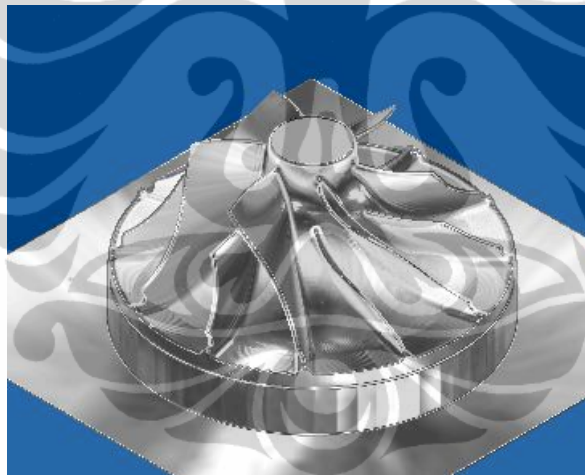
Gambar 3.30 Pengaturan ketebalan sisa saat proses finishing hub

Proses *hub finishing* yang telah selesai menandakan bahwa *impeller* telah selesai dibuat. Akan tetapi, perlu dilakukan program pemotongan agar *impeller* tersebut terpisah dari *raw material*-nya. Pergantian *cutting tool* terjadi pada proses ini yaitu dengan menggunakan *cutting tool flat end mill* berdiameter 10 mm. Strategi pemesinan yang dilakukan adalah memotong *raw material* yang berada tepat di bagian bawah *impeller* dengan menyisakan persegi sebesar 20 mm x 20 mm x 10 mm. Hal tersebut dilakukan untuk proses selanjutnya, *raw material* yang disisakan tersebut dipotong secara manual dengan gergaji tangan.



Gambar 3.31 Lintasan pahat pada proses finishing hub

Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 3.32 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 54 mm pada software Powermill

BAB 4

PROSES PEMESINAN DAN PENGECEKAN KUALITAS HASIL PEMESINAN *IMPELLER* DIAMETER 54 MM

4.1 Spesifikasi Alat Uji

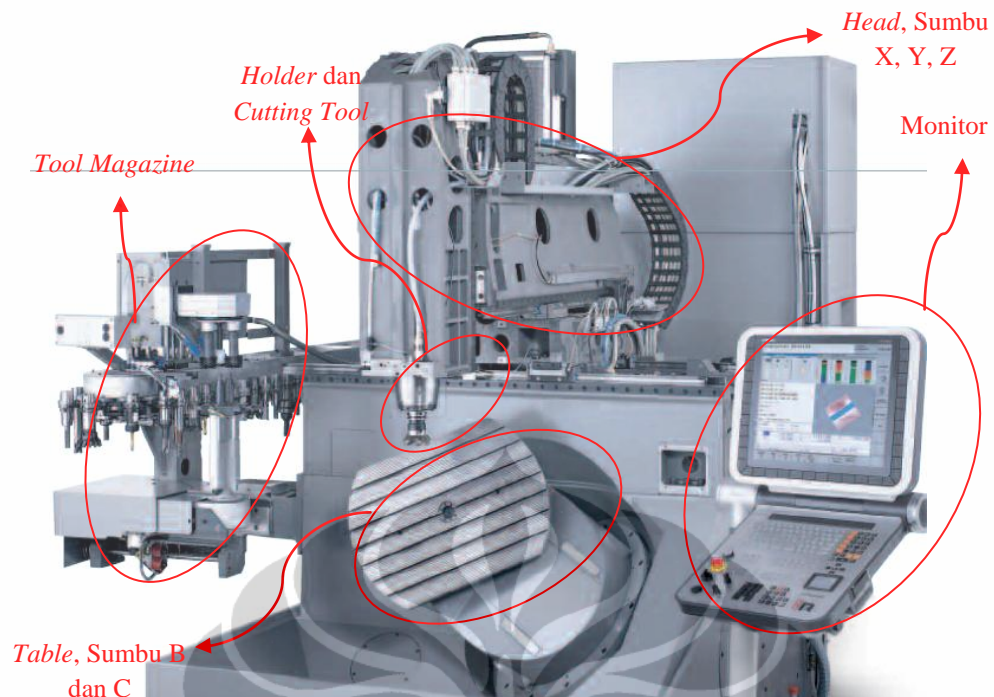
Pada penelitian ini, terdapat dua mesin utama yang digunakan yaitu mesin *milling* 5-axis dan mesin pengukuran CMM. Mesin *milling* 5-axis yang digunakan adalah mesin Deckel Maho Gildemeister DMU 50 evo *linear* sedangkan mesin pengukuran CMM yang digunakan adalah Mitutoyo CMM crista-plus M443.

4.1.1 Mesin *Milling* 5-axis DMU 50 evo *linear*

Mesin *milling* 5-axis ini berada pada lingkup kerja $p \times l \times t = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$. Berdasarkan dimensi lingkup kerja tersebut, dapat disimpulkan bahwa mesin tersebut digunakan untuk mengerjakan benda-benda yang berukuran makro.



Gambar 4.1 DMG DMU 50 evo linear [12]



Gambar 4.2 Keterangan pada mesin DMU 50 [12]

Berdasarkan gambar, ruang kerja dari mesin DMU 50 berada pada lingkup *bed*, *head*, dan *holder*. *Bed* merupakan tempat untuk meletakkan *workpiece* dimana *bed* tersebut memiliki sumbu B dan sumbu C yang merupakan sumbu putar (rotation axis) yang membuat mesin DMU bekerja 5-axis. Sumbu putar B dibatasi gerakannya hanya dari 0° sampai dengan 90° sedangkan sumbu putar C memiliki gerak dari 0° sampai dengan 360° . *Workpiece* yang akan dikerjakan diletakkan pada *table* melalui *clamping device*. *Bed* merupakan komponen yang tetap pada mesin sehingga apabila terdapat berbagai macam bentuk dan ukuran benda kerja, maka *clamping device* yang memiliki bentuk dan ukuran yang berubah menyesuaikan terhadap benda kerja.

Head merupakan tempat diletakkannya *cutting tool* yang bergerak pada sumbu X, Y, dan Z. Arah gerak dari *head* adalah *linear* yang berarti gerakan *cutting tool* adalah *linear* sepenuhnya. Saat melakukan pemakanan, sumbu Z biasanya mengalami peningkatan daya yang paling besar dibandingkan dengan dua sumbu lainnya yaitu sumbu X dan Y.

Selain *head* dan *bed*, *holder* merupakan bagian dari mesin yang terdapat pada lingkup kerja dari mesin. *Holder* dan *cutting tool* terdapat pada *head* yang juga memiliki arah gerakan *linear* pada sumbu X, Y, dan Z. *Holder* merupakan

tempat meletakkan *cutting tool* yang digunakan saat proses pemesinan berlangsung. *Holder* dapat terhubung dengan *magazine tool* apabila terjadi pergantian *cutting tool* saat proses pemesinan berlangsung.

Magazine tool adalah tempat meletakkan segala *cutting tool* yang akan digunakan saat melakukan proses pemesinan. *Magazine tool* adalah bagian yang penting dari mesin karena dapat mempercepat proses pemesinan terutama pada proses pemesinan yang membutuhkan pergantian *cutting tool* dalam jumlah besar (sering terjadi pergantian *cutting tool*). Pergantian *cutting tool* yang dilakukan dalam mesin diatur dalam monitor yang juga termasuk bagian dari mesin.

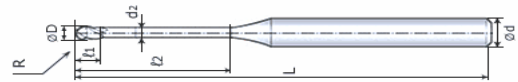
Monitor berfungsi sebagai panel kontrol terhadap seluruh kegiatan yang terjadi pada mesin mulai dari proses pergantian *cutting tool* pada *magazine tool* kepada *holder* sampai dengan proses pemakanan. Pada monitor dapat dipantau seberapa besar *feed* yang dilakukan pada masing-masing sumbu sehingga dapat dilihat pada sumbu mana motor menanggung daya yang besar. Hal ini terkait dengan kenaikan dan penurunan *feeding* dari suatu program apabila salah satu sumbu mengalami peningkatan daya yang melebihi batas kemampuannya. Optimalnya, daya yang ditanggung pada setiap sumbu tidak boleh lebih dari 100% agar motor pada tiap sumbu dapat tahan lebih lama. Monitor juga dapat berfungsi sebagai tempat untuk melihat sejauh mana proses pemesinan tengah berlangsung, sudah berapa lama proses pemesinan berlangsung, untuk melakukan interupsi saat proses pemesinan tengah berlangsung, dan sebagainya. *Software* yang digunakan pada monitor dapat berbagai jenis tergantung kebutuhan dan penguasaan suatu *software* oleh operator yang bertugas menjalankan proses pemesinan.

4.1.2 Cutting Tool

Pada penelitian ini, seluruh *cutting tool* yang digunakan merupakan *cutting tool* produksi Boo Young. Produk ini dipilih karena memiliki akses yang cepat. Terdapat empat tipe *cutting tool* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *ball end mill* 1 mm, *ball end mill* 2 mm, *flat end mill* 6 mm, dan *flat end mill* 10 mm. *Cutting tool* yang digunakan pada proses utama, yakni proses pemesinan *impeller* hanya *cutting tool* tipe *ball end mill*. Berikut spesifikasi dari *cutting tool* yang digunakan.

SKRB

/ SK007 LONG NECK BALL END MILLS (2 FLUTES)



Gambar 4.3 Tipe cutting tool [13]

Tabel 4.1 Spesifikasi cutting tool [13]

Model No.	Radius x Effective Length	Length of cut	Overall Length	Neck Dia	Shank Dia
	R x L ₂	L ₁	L	d ₂	Ød(h6)
SKRB 02008	R 1.0 x 8	1.6	45	1.95	4
SKRB 01005	R 0.5 x 5	0.8	45	0.95	4

4.1.3 Clamping Device

Pada penelitian ini, *clamping device* yang digunakan merupakan produksi system 3R dengan tipe 3R-610.21-S. *Clamping device* berfungsi sebagai penghubung antara *raw material* dengan *bed* (tempat untuk meletakkan *workpiece*). Digunakan aksesoris pendukung *clamping device* tersebut agar *raw material* yang dikerjakan tidak membahayakan *bed* dan *holder* dari mesin.

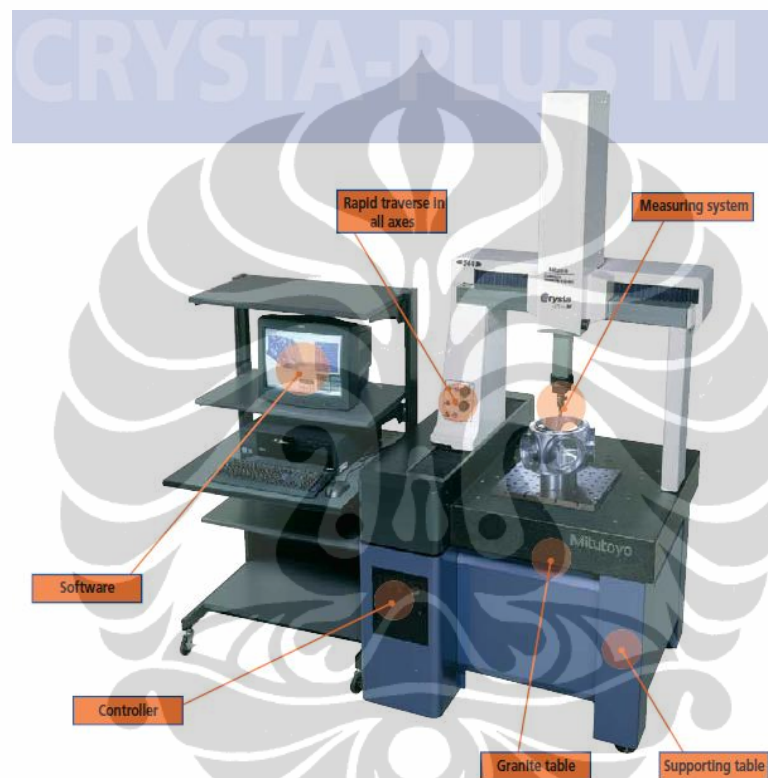


Gambar 4.4 Clamping system 3R [14]

4.1.4 Mesin CMM Mitutoyo M443

- *Coordinate measurement machine* adalah mesin yang digunakan untuk mengukur dimensi dari suatu benda yang juga dapat digunakan untuk *reverse engineering*. *Reverse engineering* adalah proses rekayasa produksi yang dilakukan dengan cara meniru suatu

benda jadi agar dapat diproduksi ulang. Pada penelitian ini, penggunaan mesin CMM bukan untuk melakukan *reverse engineering* melainkan mencocokkan hasil pengukuran CMM dengan desain awal benda uji. Mesin CMM yang digunakan adalah Mitutoyo tipe M443. Metode pengukuran yang dilakukan adalah dengan menggunakan *touch probe* untuk mendapatkan titik-titik koordinat pada benda uji.



Gambar 4.5 Mesin CMM Crystal-Plus M443 [15]

Berdasarkan gambar, terdapat tiga komponen utama yang diperlukan dalam pengukuran, yaitu sistem kontrol, sistem pengukuran, dan *software*. Ketiga komponen tersebut menjadi satu kesatuan dengan didukung juga dengan hardware seperti meja tempat ukur, pengatur gerakan *probe*, dan kaki meja sebagai penyangga yang seluruhnya berguna untuk mempermudah operator melakukan pengukuran terhadap benda uji. Lingkup kerja dari mesin CMM ini adalah $p \times l \times t = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$. Berdasarkan lingkup kerja tersebut, dapat disimpulkan bahwa mesin CMM pada penelitian ini digunakan untuk benda-benda yang berukuran makro walaupun *touch probe* yang digunakan memiliki tingkat ketelitian sampai dengan $0.5 \text{ } \mu\text{m}$. Pergerakan pada setiap axisnya

menggunakan udara untuk mempermudah dan memperhalus pergerakan pada tiap sumbu dan mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.

4.1.5 *Touch probe*

Touch probe adalah alat yang digunakan sebagai sensor pada mesin CMM. *Touch probe* memiliki karakteristik yang mirip dengan *cutting tool* namun memiliki fungsi yang berbeda yaitu untuk mengukur koordinat dari benda uji. *Touch probe* memiliki ukuran yang beragam namun yang digunakan pada penelitian ini adalah *touch probe* yang memiliki diameter 1 mm. *Touch probe* tersebut dipilih agar dapat menjangkau seluruh geometri yang ada pada benda uji yang berukuran mini.



Gambar 4.6 *Touch probe* pada mesin CMM [15]

4.2 Persiapan Proses Pemesinan

Persiapan proses pemesinan masuk ke dalam standard prosedur operasi (*standard operating procedure / SOP*) dari mesin DMU 50 *evo linear* yaitu mesin yang digunakan dalam penelitian ini. Standard operasi ini merupakan segala hal yang harus dilakukan baik sebelum, saat, dan sesudah mesin dijalankan. Berikut ini adalah rincian SOP yang harus dilakukan :

1. *START*

- ✓ Mengecek oli *gear*, oli mesin, *coolant*, air radiator pada indikator tiap bagian mesin
- ✓ Menyalakan mesin dengan memutar saklar yang ada di bagian belakang mesin
- ✓ Menekan tombol *switch on* pada monitor

- ✓ Melakukan pembersihan mesin terlebih dahulu
- ✓ Melakukan pemanasan mesin selama \pm 20 menit

2. *SETTING*

- ✓ Mengecek material yang akan dikerjakan, meliputi ukuran dan jenis material
- ✓ Mempelajari gambar kerja dengan teliti, meliputi ukuran, toleransi, kehalusan, profil, dan performa yang diminta
- ✓ Mengatur letak benda sesuai dengan gambar kerja atau program yang dibuat

3. *PROCESSING*

- ✓ Memastikan kelengkapan *safety* telah lengkap meliputi kacamata, *safety shoes*, dan sebagainya
- ✓ Memasang benda kerja dengan *clamping device* sesuai dengan gambar kerja dan program yang dibuat
- ✓ Memasang *cutting tool* pada *magazine tool* sesuai dengan *cutting tool* yang ada pada program
- ✓ Memastikan *coolant* terpasang dengan baik, meliputi *coolant* cair dan angin
- ✓ Melakukan proses pemesinan dengan teliti

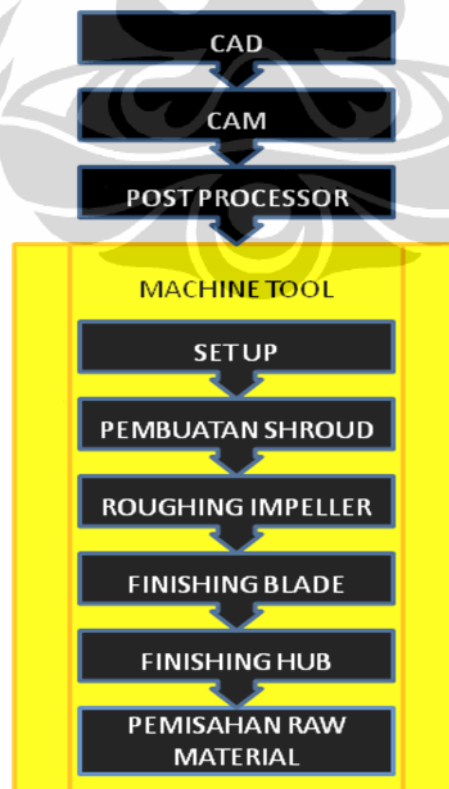
4. *ENDING*

- ✓ Mengecek benda kerja yang telah selesai diproses sebelum dilepas dari *clamping device*
- ✓ Memastikan tidak ada bagian dari benda kerja yang terlewat, meliputi ukuran, kehalusan, toleransi, kesejajaran, profil, dan performa
- ✓ Memastikan hasil akhir benda kerja sesuai dengan gambar kerja
- ✓ Menulis waktu aktual proses pemesinan pada *production sheet*
- ✓ Mengirim benda kerja ke seksi selanjutnya apabila diperlukan atau mengangkat benda kerja dari mesin apabila telah selesai dikerjakan
- ✓ Membersihkan mesin apabila telah selesai digunakan
- ✓ Melumasi bagian-bagian mesin yang mudah terkorosi dengan oli
- ✓ Mematikan mesin dengan menekan tombol *switch off* pada layar
- ✓ Memastikan saklar pada bagian belakang mesin dalam keadaan *off*

Dengan adanya SOP tersebut, diharapkan proses pemesinan yang dilakukan berlangsung dengan baik sehingga benda kerja yang dihasilkan memiliki kualitas yang sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 4.7 Mesin DMU 50 evo linear dan benda kerja



Gambar 4.8 Flowchart proses pemesinan

4.3 Proses Pemesinan *Impeller* Diameter 54 mm

Pada proses pemesinan yang dilakukan, terdapat empat proses utama yang dilakukan, yaitu proses pembuatan *shroud*, proses *roughing impeller*, proses *finishing blade* dan *splitter*, dan proses *finishing hub*. Pembagian proses pada setiap program merupakan hasil dari pemrograman yang dilakukan dengan *software* Powermill. Proses pemesinan yang dilakukan merupakan proses yang sebelumnya telah dijalankan atau disimulasikan pada *software* Powermill. Apabila prosedur proses pemesinan telah sesuai dengan program pada *software* maka benda kerja yang dihasilkan akan sesuai dengan gambar kerja pada desain awal.

4.3.1 Proses Pembuatan *Shroud*

Proses pembuatan *shroud* pada *impeller* dengan *splitter* terdiri dari empat bagian, yaitu *roughing* awal *raw material*, *finishing* bagian bawah *shroud*, *facing* bagian atas *hub*, dan *finishing* seluruh *shroud*.



Gambar 4.9 Raw material awal

Proses pertama pada pembuatan *shroud* adalah *roughing* awal *raw material*. *Raw material* yang disediakan berukuran $p \times l \times t = 70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. Diameter terluar dari *shroud* adalah 54 mm. *Cutting tool* tipe *flat end mill* 10 mm dipilih untuk melakukan proses *roughing* awal ini. Sebelumnya, digunakan *cutting tool* dengan tipe yang sama namun memiliki diameter 20 mm agar proses *roughing* dapat berlangsung dengan cepat. Namun, pada saat melakukan proses pemesinan, daya pada *spindle* terlalu besar dan juga terjadi

vibrasi pada *workpiece* yang menyebabkan proses pemesinan harus dihentikan agar tidak merusak *cutting tool* dan juga *raw material* sehingga dipilih *cutting tool* yang memiliki diameter 10 mm. *Machining parameter* yang terdapat pada proses ini meliputi *depth of cut* 0.5 mm, *step over* 6 mm, *spindle speed* 5000 rpm, *feed rate* 3000 mm/menit, toleransi pemesinan 0.1 mm, *stock* pada *shroud* 0.3 mm. Dari *cutting parameter* tersebut, ketebalan *shroud* sampai akhir proses *roughing* masih memiliki sisa 0.3 mm dari seharusnya sehingga perlu dilakukan proses *semi finishing*. Proses *roughing* ini menggunakan strategi *model area clearance* untuk membuat bentuk persegi dari *raw material* menjadi bentuk *shroud*. Saat menjalankan proses pemesinan, *feeding* dari mesin diatur sampai dengan 120% karena mesin dianggap mampu melakukan pemakanan dengan *feed rate* yang lebih besar daripada yang diatur dalam program.



Gambar 4.10 Kerusakan *raw material* akibat *cutting tool* yang besar

Proses kedua adalah *finishing* bagian bawah *shroud*. *Finishing* bagian bawah *shroud* ini membuat ketebalan bagian bawah *shroud* yang sebelumnya memiliki ketebalan 0.3 mm menjadi 0 mm. *Cutting tool* dan *machining parameter* yang dilakukan masih sama yaitu menggunakan *flat end mill* dengan diameter 10 mm. Pada proses pemakanan ini, toleransi pemesinan yang diberikan adalah sebesar 0.005 mm agar permukaan memiliki hasil yang baik. Strategi pemesinan yang dilakukan adalah dengan program *constant Z finishing*. *Feeding* yang

dilakukan selama proses pemesinan disamakan dengan yang ada pada program yakni 100% *feed* sehingga *feed rate*-nya adalah 3000 mm/menit.

Proses ketiga adalah *facing* bagian atas *hub* dengan menggunakan strategi *offset flat finishing*. Proses *facing* ini merupakan proses yang paling cepat dilakukan selama proses pembuatan *impeller*. *Machining parameter* dan *cutting tool* yang digunakan sama dengan pada program *constant Z finishing*.

Proses terakhir dalam pembuatan *shroud* adalah *finishing shroud* secara menyeluruh. *Finishing shroud* ini menggunakan strategi *optimized constant Z finishing*. Terjadi pergantian *cutting tool* pada program ini menggunakan tipe *ball end mill* dengan diameter 2 mm. Lingkup dari program ini sama dengan program *model area clearance* yang digunakan pada proses *roughing* awal. *Machining parameter* pada program ini meliputi *step over* 0.1 mm, *spindle speed* 10000 rpm, *feed rate* 1300 mm/menit, toleransi pemesinan 0.005 mm, *stock* pada *shroud* 0 mm. Pada proses ini *feeding* diatur sebesar 60% dikarenakan pergerakan *finishing shroud* ini harus menghasilkan permukaan dengan kualitas yang baik.



Gambar 4.11 Hasil proses pembuatan *shroud*

4.3.2 Proses *Roughing Impeller*

Saat melakukan proses *roughing* pada proses pemesinan, hal yang diinginkan adalah dapat mengambil material sebanyak mungkin dengan waktu yang secepat-cepatnya. Kemungkinan terjadinya *collision* saat proses *roughing* sangat kecil bila dibandingkan dengan saat proses *blade finishing* dan *hub finishing*. *Feeding* awal proses *roughing* diatur pada 80% dari program karena

diperkirakan motor pada sumbu B tidak mampu menahan beban pergerakan apabila *feeding* tetap sama seperti program. Akan tetapi, saat proses berlangsung, *feeding* 80% masih terlalu besar sehingga mesin berhenti akibat dari motor pada sumbu B yang tidak mampu berputar dengan kecepatan *feed* tersebut sehingga *feeding* diatur sebesar 50% dari program. *Feeding* pada program adalah 1300 mm/menit sehingga yang terjadi pada mesin adalah sekitar 600 mm/menit sampai dengan 700 mm/menit. *Machining parameter* lainnya meliputi *spindle speed* 10000 rpm, *depth of cut*, 0.15 mm, *step over* 0.7 mm, toleransi pemesinan 0.01 mm. *Stock* pada *hub* dan *blade* diatur pada ketebalan 1 mm untuk dikerjakan pada proses *finishing*.



Gambar 4.12 Impeller saat proses roughing



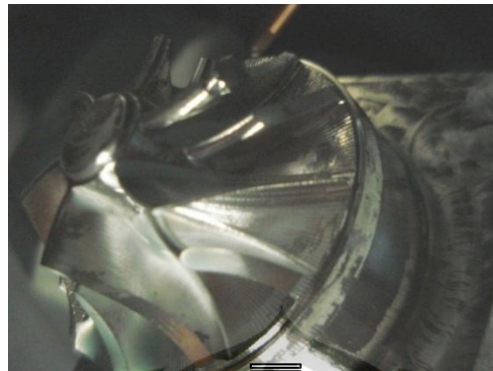
Gambar 4.13 Impeller setelah proses roughing; tampak atas (kiri), tampak depan (kanan)

Hasil dari proses *roughing impeller* terlihat pada gambar 4.13. Penampang atas menunjukkan ketebalan *hub* yang masih menyisakan 1 mm dari seharusnya

sesuai dengan pengaturan *stock* pada program. Penampang samping menunjukkan *blade* yang masih tebal yang juga memiliki *stock* 1 mm pada setiap sisinya. Apabila pengambilan gambar diambil dalam jarak dekat, terlihat bahwa terdapat *scallop height* hasil pemesinan yang cukup besar karena permukaan benda belum diperhalus. Proses *roughing* yang dilakukan memakan waktu yang paling lama dibandingkan dengan proses lainnya dan juga berbeda dari estimasi waktu pada program hingga dua kali lipatnya. Hal ini dapat terjadi karena kecepatan makan mesin diturunkan hingga 50%.

4.3.3 Proses *Finishing Blade Dan Splitter*

Proses *finishing blade* dan *splitter* yang dilakukan sesuai dengan program yang dibuat pada *software* Powermill namun berbeda dengan yang dilakukan pada Powermill yang melakukan *finishing* terhadap *splitter* terlebih dahulu, saat proses pemesinan dilakukan, proses *finishing* dilakukan terhadap *blade* terlebih dahulu. Proses *finishing* tidak dilakukan secara bersamaan melainkan menyelesaikan proses *finishing* pada keenam *blade* terlebih dahulu dilanjutkan dengan *finishing* pada keenam *splitter*. Saat melakukan proses pemesinan, *feeding* diatur sama dengan saat proses *roughing* yaitu sekitar 50% namun mesin kembali mengalami hal yang sama seperti saat melakukan proses *roughing* yakni mengalami motor yang berhenti pada sumbu B. *Feeding* diperkecil hingga 40% sehingga kecepatan makan dari mesin turun sampai dengan 440 mm/menit. *Spindle speed* dan toleransi pemesinan diatur sama dengan proses *roughing* yaitu putaran 10000 rpm dan toleransi 0.01 mm. *Depth of cut* dari proses *finishing blade* dan *splitter* ini diatur untuk setiap 0.08 mm. *Cutting tool* yang digunakan sama dengan pada proses *roughing* yaitu menggunakan tipe *ball end mill* dengan diameter 2 mm. *Stock* pada *hub* tetap dijaga pada 1 mm yang nantinya akan dihilangkan saat melakukan *finishing* pada *hub*.



Gambar 4.14 Impeller saat proses finishing blade (atas) dan setelah finishing blade (bawah)

4.3.4 Proses Finishing Hub

Finishing hub pada proses pemesinan *impeller* dengan *splitter* memiliki lima bagian yang dilakukan secara bertahap. Tahap pertama sampai dengan tahap keempat memiliki parameter-parameter proses pemesinan yang sama, meliputi *spindle speed* 10000 rpm, *feed rate* 1300 mm/menit, *step over* 0.5 mm, dan toleransi pemesinan 0.01 mm. *Stock* pada masing-masing program juga sama yaitu 0 mm akan tetapi setiap program memiliki perbedaan *thickness* yang diatur yang turun secara berkala dari 0.775 mm, 0.55 mm, 0.325 mm, dan 0.1 mm. Pada tahap kelima *hub finishing* yang merupakan tahap akhir dari proses *finishing hub* memiliki parameter proses pemesinan yang sama dengan keempat tahap sebelumnya namun *step over* diatur pada 0.2 mm agar hasil permukaan *hub* lebih

halus dan memiliki kualitas yang lebih baik. Proses pemesinan *hub* dari tahap pertama hingga tahap keempat memiliki waktu aktual yang hampir sama dan pada tahap akhir *finishing hub* memiliki waktu aktual yang lebih lama dikarenakan *step over* yang lebih kecil. Sama halnya dengan proses *finishing blade, feeding* pada proses *finishing hub* diatur hingga 40% dikarenakan gerakan sumbu putar B yang dianggap ekstrim dan terlalu cepat.



Gambar 4.15 Impeller saat proses finishing hub (atas) dan setelah finishing hub (bawah)

4.3.5 Proses Pemotongan *Impeller* Dengan *Raw material*

Untuk mendapatkan benda jadi, proses pemotongan dilakukan pada bagian bawah dari *impeller* agar terpisah dari *raw material* yang masih tersisa. Proses pemotongan dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan menggunakan mesin dan dengan gergaji tangan manual. Penggunaan mesin untuk memotong dilakukan

agar saat melakukan pemotongan dengan gergaji tangan kerja yang dilakukan tidak terlalu besar dan hasil dapat lebih baik. Pemotongan dengan mesin diatur dalam program Powermill dengan strategi yang sama saat melakukan *finishing* bagian bawah *shroud* yakni dengan program *constant Z finishing*. Perbedaan terletak dengan mengubah arah sumbu Z pada program sehingga dapat mengubah sumbu x atau sumbu y menjadi sumbu z. Pemotongan yang dilakukan berada pada sumbu x (-), x (+), y (-), dan y (+). Seluruh sumbu tersebut diubah menjadi sumbu z sehingga menghasilkan empat program pada arah orientasi sumbu z yang berbeda. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan *cutting tool flat end mill* 10 mm. Keempat program tersebut menghasilkan kubus yang menghubungkan *impeller* dengan *raw material* dengan volume $p \times l \times t = 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$.



Gambar 4.16 Impeller setelah proses pemotongan bagian bawah dengan mesin

Setelah pemotongan dengan menggunakan mesin dilakukan, pemotongan secara manual dengan gergaji tangan dilakukan untuk mendapatkan *impeller* jadi yang telah terpisah dari *raw material*-nya.



Gambar 4.17 Raw material sisa hasil pemesinan impeller dengan splitter



Gambar 4.18 Impeller diameter 54 mm

4.4 Pengukuran Menggunakan Mesin CMM

Mesin CMM yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin CMM mitutoyo crista-plus M443. Pengukuran yang dilakukan tidak pada seluruh bagian *impeller* melainkan pada bagian *blade* dan *splitter* saja mulai dari bagian *hub* sampai dengan *shroud*.

Prosedur operasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Menyalakan saklar mesin CMM pada ruang panel
- Memasang selang kompresor pada mesin apabila belum terpasang
- Menyalakan saklar kompresor pada ruang panel
- Membuka katup angin secukupnya
- Memasang *touch probe* sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
- Memasang benda kerja pada meja CMM

- Menjalankan *software* pada komputer agar terhubung dengan mesin CMM
- Melakukan pengukuran koordinat dari benda kerja



Gambar 4.19 Flowchart pengukuran menggunakan CMM



Gambar 4.20 Mesin CMM Mitutoyo M443

Karena benda yang diukur memiliki ukuran yang kecil, *impeller* diukur menggunakan alat bantu agar mempermudah pengukuran yang dilakukan. Alat bantu yang digunakan adalah kubus dan balok yang berfungsi sebagai alat bantu ketinggian agar pengukuran lebih mudah dilakukan. Selain alat bantu ketinggian, alat bantu lainnya yang juga digunakan adalah lilin. Lilin digunakan untuk melekatkan alat bantu ketinggian pada benda kerja dan juga pada meja CMM agar benda kerja selalu pada tempatnya dan tidak menyebabkan berubahnya koordinat pengukuran.



Gambar 4.21 Penggunaan lilin untuk melekatkan komponen pada meja ukur

Pada pengukuran menggunakan CMM, keahlian dari operator menggunakan mesin ini sangat berpengaruh karena posisi koordinat ditentukan dari penglihatan operator. Titik pengukuran yang diukur juga ditentukan oleh operator yang menentukan bagian mana saja yang akan diukur. Semakin banyak titik yang diambil hasilnya akan semakin baik.

Untuk mengetahui koordinat (0,0,0) pada mesin adalah hal yang mudah untuk dilakukan, yaitu dengan menyentuhkan *touch probe* ke bola kalibrasi yang berada pada meja ukur sebagai titik acuan. Untuk menentukan koordinat (0,0,0) benda kerja adalah persoalan lain. Diperlukan teknik-teknik tertentu pada setiap benda yang memiliki profil tertentu. Pengukuran yang dilakukan menggunakan *touch probe* yang memiliki ketelitian hingga $3.5 \mu\text{m}$. *Touch probe* yang digunakan memiliki keunggulan anti debu sehingga akurasi pemesinan semakin tajam.



Gambar 4.22 Penentuan koordinat (0,0,0) pada mesin



Gambar 4.23 Penentuan titik $(0,0,0)$ pada benda uji

Mencari titik referensi adalah hal yang paling sulit dilakukan dalam melakukan pengukuran pada mesin CMM karena titik referensi akan menentukan koordinat akhir dari benda yang diukur apakah telah sesuai dengan desainnya atau belum. Titik referensi akan mudah untuk didapatkan apabila benda yang diukur memiliki bagian-bagian yang parallel. Akan tetapi, apabila bagian parallel tersebut yang justru akan ditinjau hasilnya, maka hal tersebut justru akan mempengaruhi hasil pengukuran.

Contoh benda yang mudah untuk diukur adalah kubus. Kubus memiliki banyak bidang referensi sehingga mudah untuk diukur dan mencari acuan pada setiap sumbu. Akan tetapi, apabila yang akan dilihat dari hasil pengukuran adalah keparalellan pada bagian setiap sisi kubus maka strategi yang digunakan haruslah strategi yang berbeda. Contoh benda yang sulit diukur adalah bola. Mencari titik referensi pada bola adalah hal yang hampir mustahil. Karena itu, untuk keperluan penelitian, sebaiknya benda uji memiliki titik referensi yang dapat membantu saat dilakukan pengukuran.

Pada penelitian ini, teknik yang dilakukan adalah dengan menandakan ketinggian *hub* yang berada di paling atas *impeller* sebagai titik Z_0 . Untuk menjadikan bagian atas *hub* sebagai titik Z_0 , benda yang diukur harus memiliki titik referensi yang memiliki sumbu yang sebidang sehingga bagian atas *hub* tersebut telah parallel dengan bagian sumbu referensi. Bagian yang dijadikan sumbu referensi adalah bagian bawah dari *hub* yang terkena proses pemotongan. Referensi diambil berdasarkan arah sumbu X_0 dan Y_0 . Untuk menandakan titik X_0

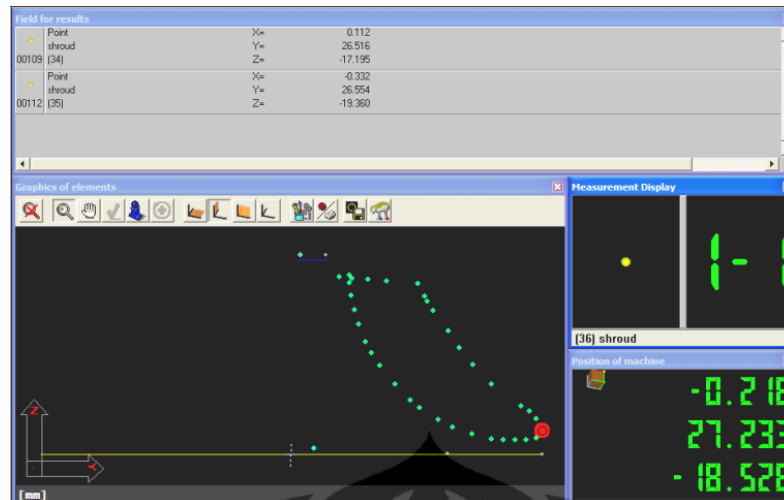
dan Y_0 dilakukan metode jari-jari lingkaran yaitu dengan mengukur diameter lingkaran kemudian membaginya menjadi dua. Hal ini sulit dilakukan dikarenakan titik yang diukur pada luar lingkaran belum benar-benar sejajar atau lurus terhadap titik yang lainnya. Karena geometri dari benda berbentuk lingkaran, sumbu X_0 dan Y_0 didapatkan secara bersamaan pada arah Z_0 yang sama.

Untuk menentukan titik yang sama berada pada jarak yang sama maka diambil sampel titik pada ujung *blade*, walaupun terdapat masalah lain yaitu ujung *blade* berbentuk kurva yang memiliki ketebalan. Jumlah *blade* yang ada adalah genap sehingga masing-masing *blade* memiliki pasangannya masing-masing. Berdasarkan hal tersebut, pada setiap pasangan *blade*, titik ujung *blade* dapat dicocokkan agar mendapatkan diameter yang sesuai kemudian dibagi dengan dua untuk mendapatkan jari-jarinya yang merupakan koordinat (0,0) dari *impeller* tersebut.

Berikut adalah gambar saat melakukan pengukuran koordinat *impeller*.



Gambar 4.24 Pengukuran *impeller* diameter 54 mm



Gambar 4.25 Titik-titik hasil pengukuran pada impeller diameter 54 mm

Pengukuran pada *impeller* tidak hanya dilakukan satu kali dan setiap pengukuran dilakukan dengan teknik dan metode yang berbeda-beda dan dicari hasil yang paling mendekati desain awal.

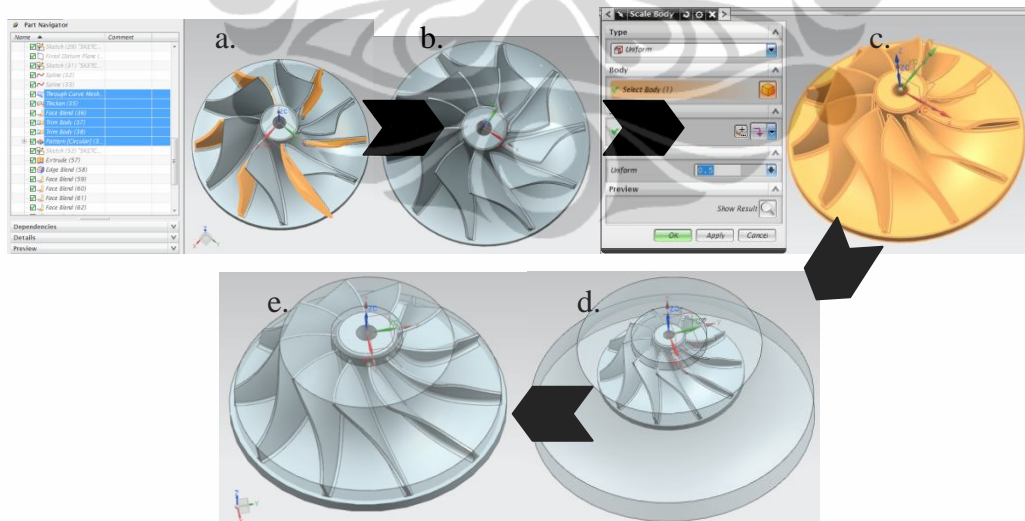
BAB 5

PENGEMBANGAN LINTASAN PAHAT DAN PARAMETER PEMESINAN *IMPELLER* DIAMETER 27 MM

5.1 Perubahan Model *Impeller*

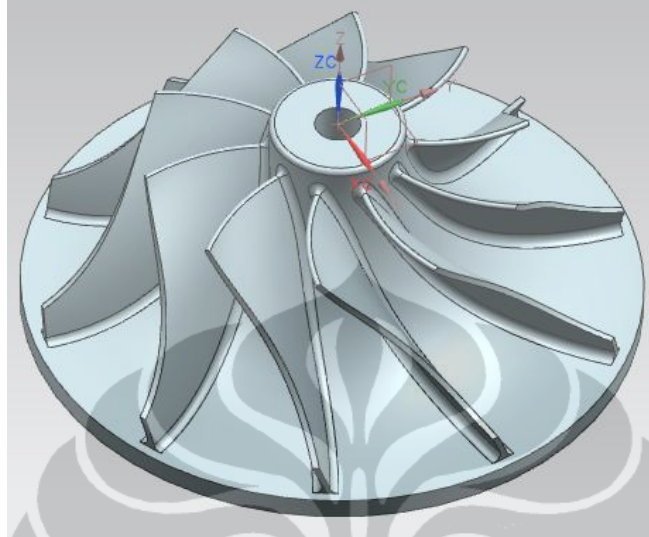
Setelah berhasil memproduksi *impeller* dengan diameter 54 mm, dilakukan penskalaan 1 : 2 pada model untuk mendapatkan *impeller* yang lebih kecil. Pada pembuatan *impeller* sebelumnya, diketahui adanya *splitter* membuat waktu proses pemesinan menjadi lama sehingga pada pembuatan *impeller* kedua *splitter* ditiadakan. *Impeller* pertama memiliki enam *blade* dan enam *splitter* sedangkan *impeller* kedua yang dibuat memiliki sepuluh *blade*. Yang menjadi fokus penelitian pada pembuatan *impeller* kedua adalah tebal *blade* yang sebelumnya 0.6 mm menjadi 0.3 mm. Tipisnya ketebalan *blade* menjadi tolak ukur untuk pengembangan mini *impeller* yang dibuat.

Sebelum masuk ke dalam proses pengembangan lintasan pahat, dilakukan perubahan pada model yang telah dibuat sebelumnya. Alur prosesnya adalah sebagai berikut.



Gambar 5.1 Flowchart pengembangan model *impeller*: a. penghapusan *splitter*, b. penambahan jumlah *blade*, c. penskalaan *impeller*, d. penskalaan raw material, e. *impeller* diameter 27 mm dan raw material

Sama seperti pada bab sebelumnya, setelah model berhasil dibuat, maka langkah selanjutnya adalah membuat pengembangan lintasan pahat. Parameter pemesinan akan ditampilkan sesuai dengan program lintasan pahat yang dibuat.



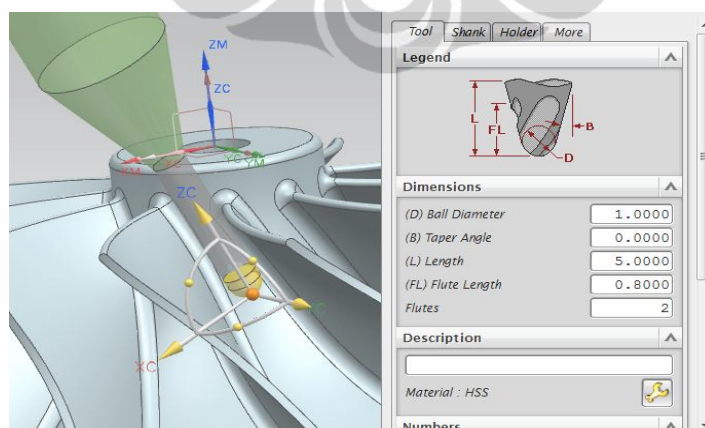
Gambar 5.2 Impeller twisted blade diameter 27 mm

5.2 Pengembangan Lintasan Pahat

Sama seperti pada bab sebelumnya, alur proses pengembangan lintasan pahat dapat dilihat pada gambar 3.6.

5.2.1 Menentukan *Workpiece* Dan *Cutting tool*

Penentuan *workpiece* dan *cutting tool* juga sama seperti pada bab 3, berikut gambar pendefinisian *cutting tool* pada *impeller* diameter 27 mm.



Gambar 5.3 Spesifikasi *cutting tool*

Cutting tool yang digunakan memiliki diameter 1 mm untuk dapat memasuki area tersempit pada ruas antar *blade*. Pendefinisian *part* dan *raw*

material juga sama seperti pada pendefinisian *part* dan *material* pada *impeller* diameter 54 mm.

5.2.2 Membuat Operasi Proses *Roughing*

Pengembangan lintasan pahat pada proses *roughing* yang dilakukan adalah sebagai berikut.



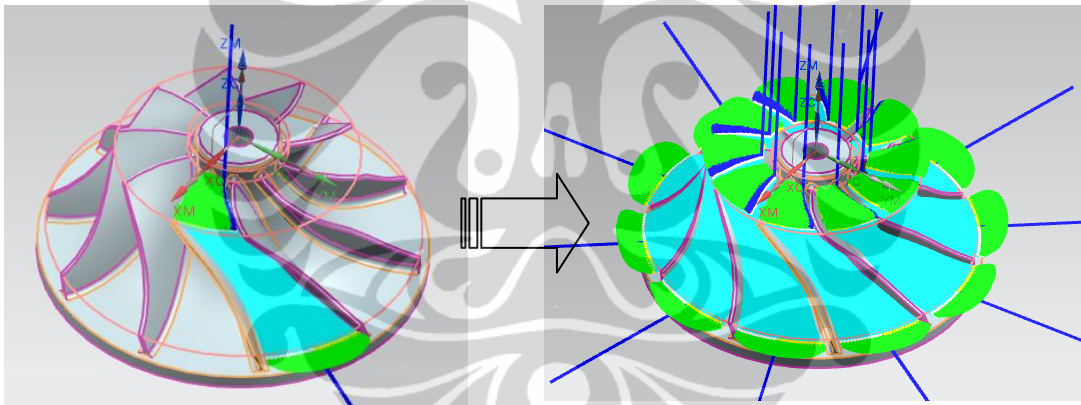
Gambar 5.4 Strategi proses *roughing*, layer awal (kiri) dan layer akhir (kanan) pada *impeller* diameter 27 mm

Strategi pemakanan mirip dengan *impeller* diameter 54 mm, namun seperti melakukan pemakanan pada satu ruas *blade* dan *splitter* saja. Arah pemakanan dimulai dari nomor 1 sampai dengan nomor 5. Setelah nomor 5, maka proses pelepasan material berlangsung pada *layer* berikutnya. Nomor 6 menunjukkan arah masuk pertama diteruskan hingga nomor 10. *Blade stock* disisakan sebesar 0.5 mm sedangkan *hub stock* disisakan 1.2 mm.

Tabel 5.1 Machining parameter proses roughing impeller diameter 27mm

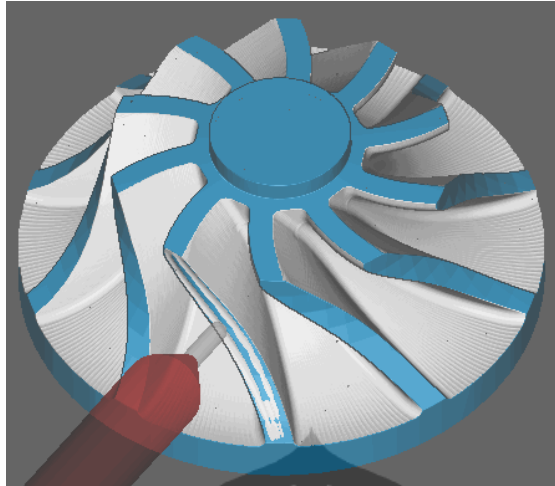
No	Machining Parameter	Keterangan
1	Diameter cutting tool	1 mm
2	Type cutting tool	ball end mill
3	Depth of cut	0.1 mm
4	Step over	0.3 mm
5	Spindle Speed	9000 rpm
6	Feed rate	800 mm/min
7	Tolerance	0.01 mm
8	Hub stock	1.2 mm
9	Blade stock	0.5 mm

Berikut adalah gambar lintasan sebelum dan setelah di-copy.



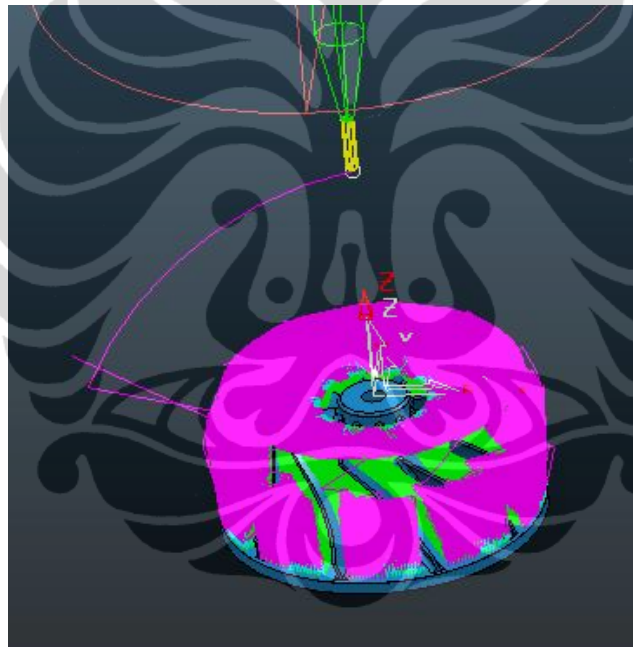
Gambar 5.5 Program roughing sebelum dan sesudah di-copy pada impeller diameter 27 mm

Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada software NX.



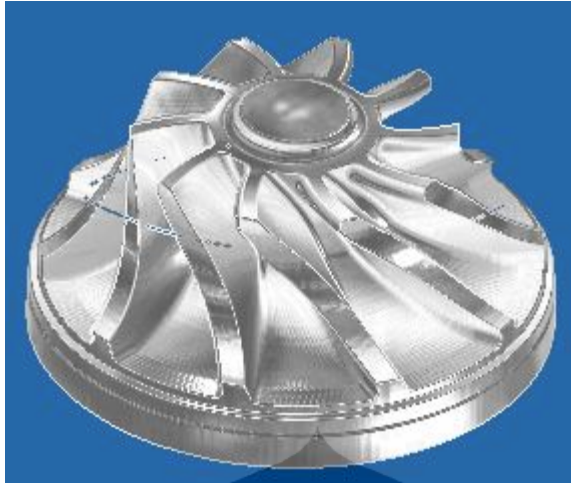
Gambar 5.6 Simulasi proses roughing impeller diameter 27 mm pada software NX

Berikut adalah lintasan pahat yang terbentuk pada software Powermill.



Gambar 5.7 Lintasan pahat pada proses roughing

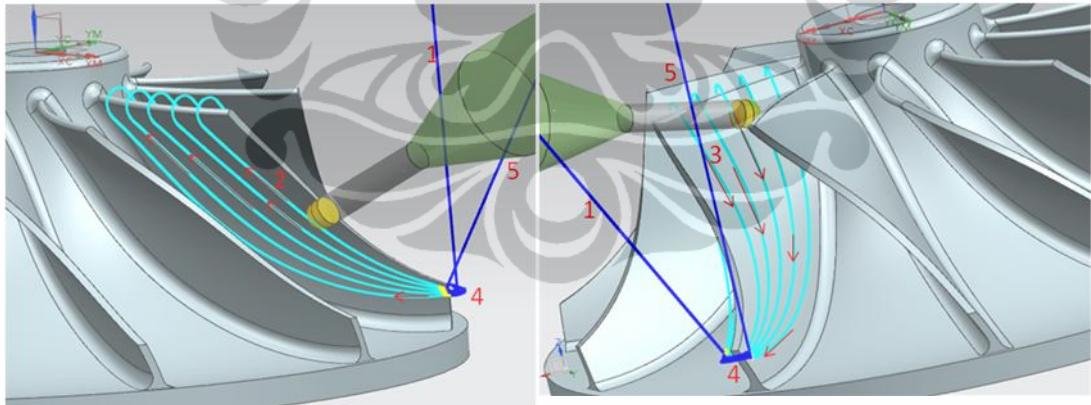
Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 5.8 Simulasi proses *roughing* impeller diameter 27 mm pada software *Powermill*

5.2.3 Membuat Operasi Proses *Finishing* Pada *Blade* Dan *Splitter*

Proses *finishing blade impeller* diameter 27 mm memiliki resiko paling tinggi karena ketebalan *blade* hanya 0.3 mm. Metode yang dilakukan mirip dengan metode proses *finishing blade impeller* diameter 54 mm yaitu dengan *peripheral milling*. *Stock* dari *blade* adalah 0.5 mm sehingga pemakanan dilakukan pada area tersebut pada setiap *bladenya*.



Gambar 5.9 Strategi proses *finishing blade*, tampak depan (kiri) dan tampak belakang (kanan) pada impeller diameter 27 mm

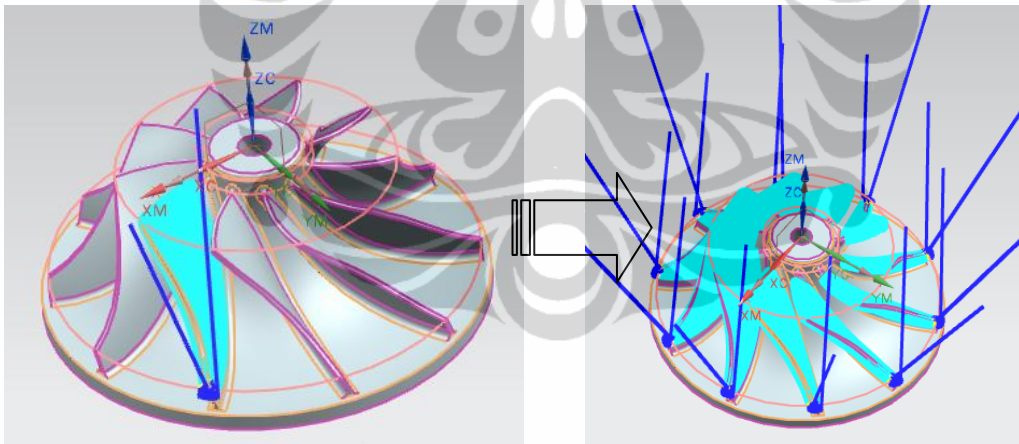
Gerakan *peripheral milling* terlihat dari gerakan *cutting tool* yang bergerak melingkar mengelilingi *blade*. Gerakan yang dilakukan berturut-turut dari nomor 1 (*approach + engage*), nomor 2 dan 3 (*cutting*), 4 (*retract + engage*), dan 5 (*departure*). Proses 1 dan 5 hanya terjadi satu kali pada setiap proses (pada awal dan akhir). Proses 2, 3, dan 4 terjadi berulang kali sampai *cutting tool* berada pada dasar *blade* (*hub*)

Berikut adalah *machining parameter* yang digunakan pada proses *finishing blade impeller* diameter 27 mm.

Tabel 5.2 *Machining parameter* proses *finishing blade impeller* diameter 27 mm

No	<i>Machining Parameter</i>	keterangan
1	Diameter <i>cutting tool</i>	1 mm
2	Tipe <i>cutting tool</i>	<i>ball end mill</i>
3	<i>Depth of cut</i>	0.05 mm
4	<i>Step over</i>	-
5	<i>Spindle Speed</i>	9000 rpm
6	<i>Feed rate</i>	800 mm/min
7	<i>Tolerance</i>	0.01 mm
8	<i>Hub stock</i>	1.2 mm
9	<i>Blade stock</i>	0 mm

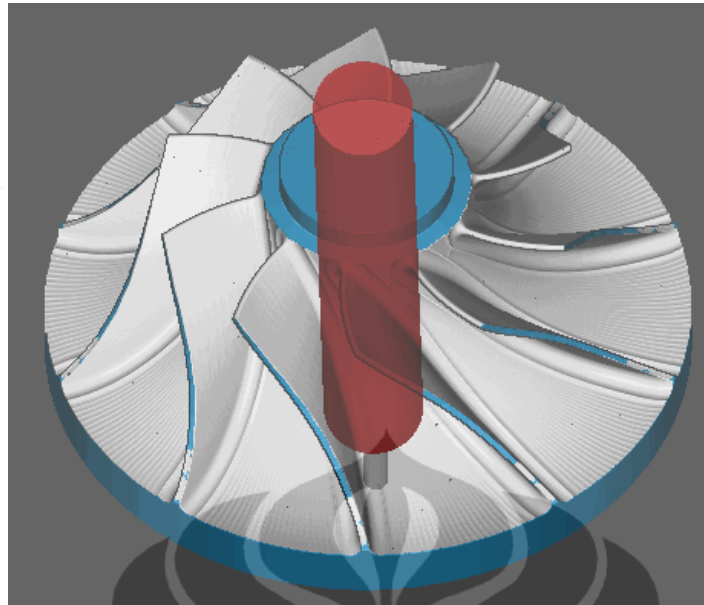
Berikut adalah gambar lintasan pahat sebelum dan sesudah di-copy.



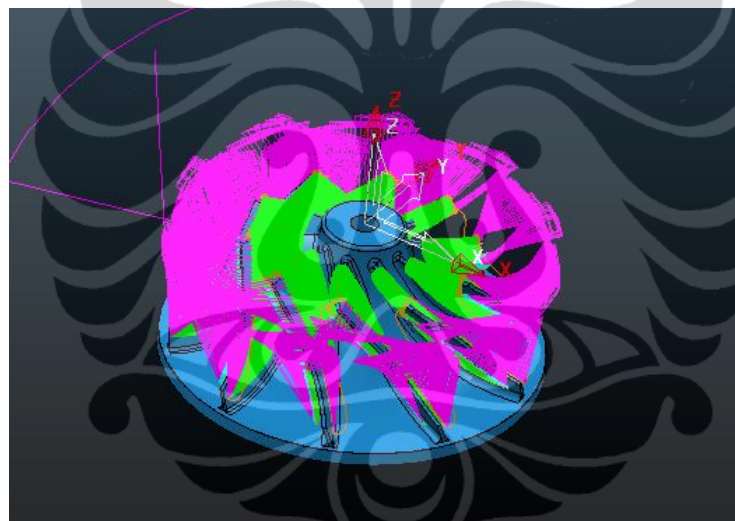
Gambar 5.10 Program *finishing blade* sebelum dan sesudah di-copy diameter 27 mm

Berikut adalah *toolpath* yang terbentuk pada proses *finishing blade impeller* diameter 27 mm pada software Powermill.

Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada software NX.

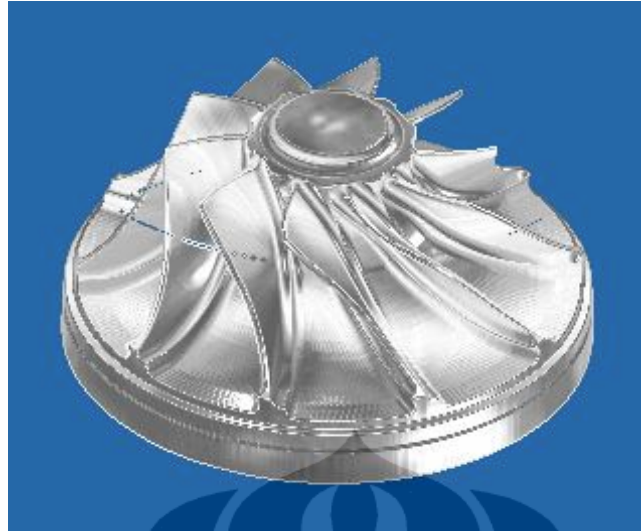


Gambar 5.11 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 27 mm pada software NX



Gambar 5.12 Toolpath proses finishing blade impeller diameter 27 mm

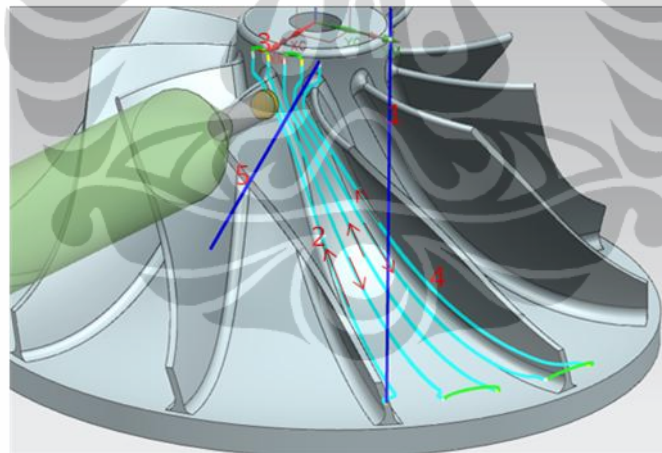
Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 5.13 Simulasi proses finishing blade impeller diameter 27 mm pada software Powermill

5.2.4 Membuat Operasi Proses *Finishing* Pada *Hub*

Meskipun dilakukan berulang kali sampai pada kedalaman permukaan *hub*, proses *finishing hub* selalu menggunakan strategi yang sama. Berikut adalah gambar strategi pemesinan yang dilakukan pada proses *finishing hub*.



Gambar 5.14 Strategi proses finishing hub impeller diameter 27 mm

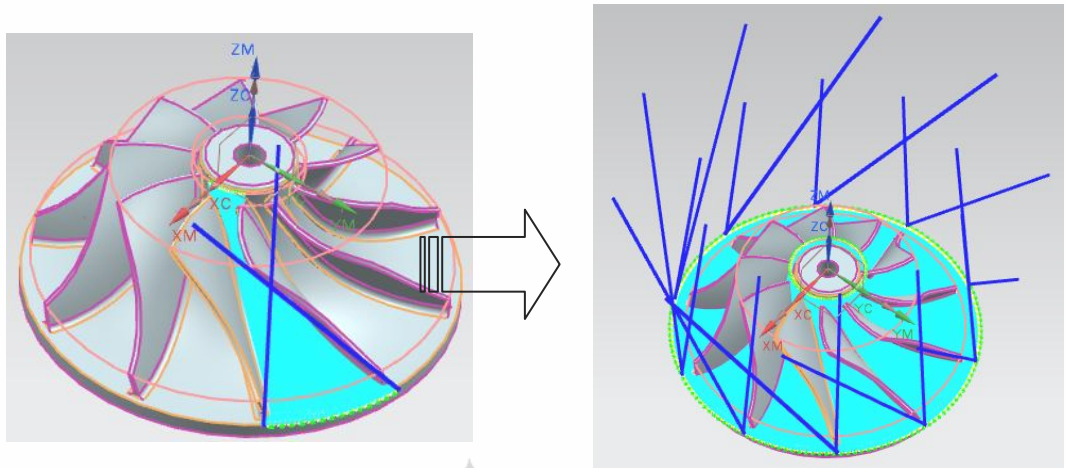
Gerakan proses *finishing hub* berturut-turut dilakukan dari nomor 1 (*approach + engage*) sampai dengan nomor 5 (*retract + departure*). Nomor 2, dan 4 adalah proses *cutting* dimana pemakanannya berjalan dari bagian *trailing edge* menuju *leading edge*, berjalan dari kiri ke kanan (dari *suction surface* menuju *pressure surface*). Nomor 3 merupakan *engage* dan *retract* para proses *finishing hub*.

Berikut adalah machining parameter yang digunakan pada proses *finishing* *hub impeller* diameter 27 mm.

Tabel 5.3 Machining parameter proses finishing hub impeller diameter 27mm

No	Machining Parameter	Keterangan
1	Diameter <i>cutting tool</i>	1 mm
2	Tipe <i>cutting tool</i>	<i>ball end mill</i>
3	<i>Increment</i>	0.1 mm
4	<i>Step over</i>	0.3 mm dan 0.1 mm
5	<i>Spindle Speed</i>	12000 rpm
6	<i>Feed rate</i>	600 mm/min
7	<i>Tolerance</i>	0.01 mm
8	<i>Hub stock</i>	0 mm
9	<i>Blade stock</i>	0 mm

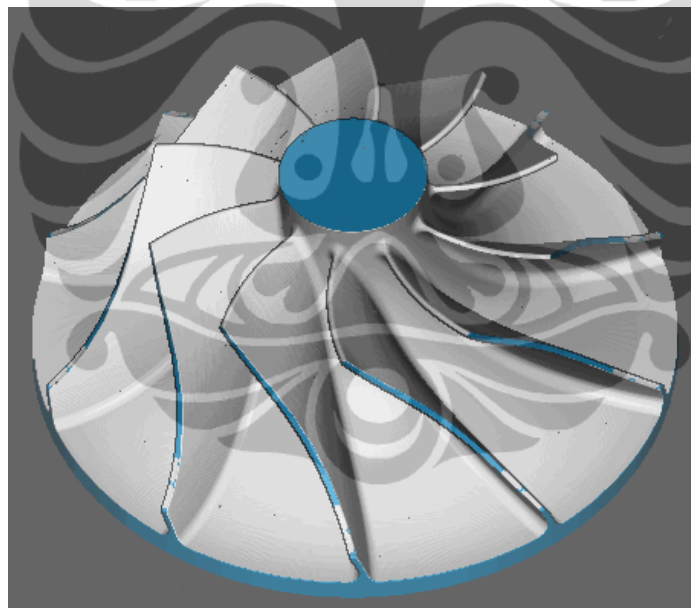
Sama seperti proses sebelumnya, lintasan pahat yang telah berhasil diprogram di-*array* berdasarkan jumlah ruas antar *blade* yang ada, yaitu sembilan. Berikut adalah hasil lintasan pahat pada *hub finishing*.



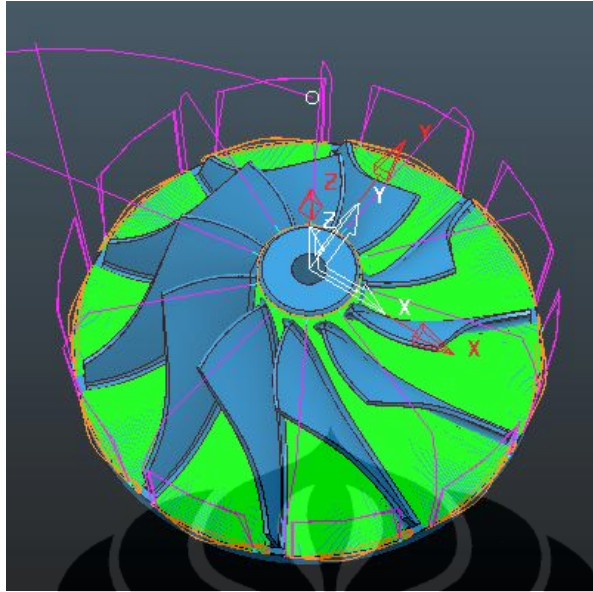
Gambar 5.15 Proses finishing hub sebelum dan sesudah di-copy impeller diameter 54 mm

Berikut adalah *toolpath* yang terbentuk pada proses *finishing hub impeller* diameter 27 mm pada *software* Powermill.

Berikut adalah simulasi yang ditunjukkan pada *software* NX.

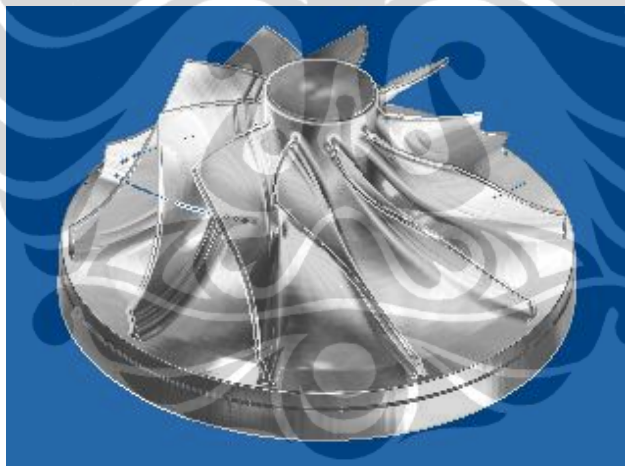


Gambar 5.16 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 27 mm pada *software* NX



Gambar 5.17 Toolpath proses finishing hub impeller diameter 27 mm

Berikut adalah hasil simulasi pada software Powermill.



Gambar 5.18 Simulasi proses finishing hub impeller diameter 27 mm pada software Powermill

BAB 6

PROSES PEMESINAN DAN PENGECEKAN KUALITAS HASIL PEMESINAN *IMPELLER* DIAMETER 27 MM

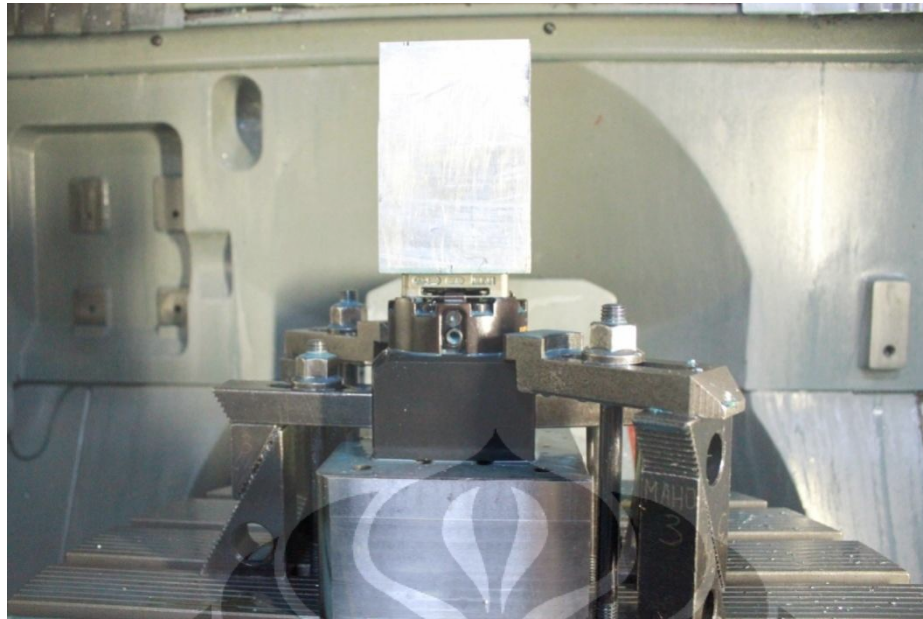
6.1 Proses Pemesinan *Impeller* Diameter 27 mm

Persiapan proses pemesinan sama seperti pada bab 4. Alur proses pemesinan dapat dilihat pada gambar 4.8.

Impeller tanpa diameter 27 mm yang dibuat memiliki ukuran dua kali lebih kecil daripada ukuran *impeller* diameter 54 mm namun memiliki jumlah *blade* yang lebih banyak yaitu sepuluh *blade*. Program yang dibuat pada *impeller* diameter 27 mm ini juga memiliki empat proses utama, yaitu proses pembuatan *shroud*, proses *roughing impeller*, proses *finishing blade*, dan proses *finishing hub*. Perbedaan dengan proses *impeller* diameter 54 mm terletak pada lebih banyaknya *cutting tool* yang digunakan pada proses pemesinan *impeller* diameter 27 mm. Pada proses pemesinan diameter 54 mm, digunakan dua jenis *cutting tool* yaitu *flat end mill* 10 mm dan *ball end mill* 2 mm. Kedua *cutting tool* tersebut masih digunakan pada proses pemesinan *impeller* diameter 27 mm namun dengan tambahan *cutting tool flat end mill* 6 mm dan *ball end mill* 1 mm.

6.1.1 Proses Pembuatan *Shroud*

Proses pembuatan *shroud* pada *impeller* diameter 27 mm terdiri dari empat bagian, yaitu *roughing* awal *raw material*, *finishing* bagian bawah *shroud*, *facing* bagian atas *hub*, dan *finishing* seluruh *shroud*. *Clamping device* dipasang sama seperti saat proses pemesinan *impeller* diameter 54 mm namun ketinggian *clamping device* disesuaikan agar tidak mengalami *collision* antara *bed* tempat *workpiece* diletakkan dengan *holder* dari *cutting tool*.



Gambar 6.1 Raw material dan clamping device

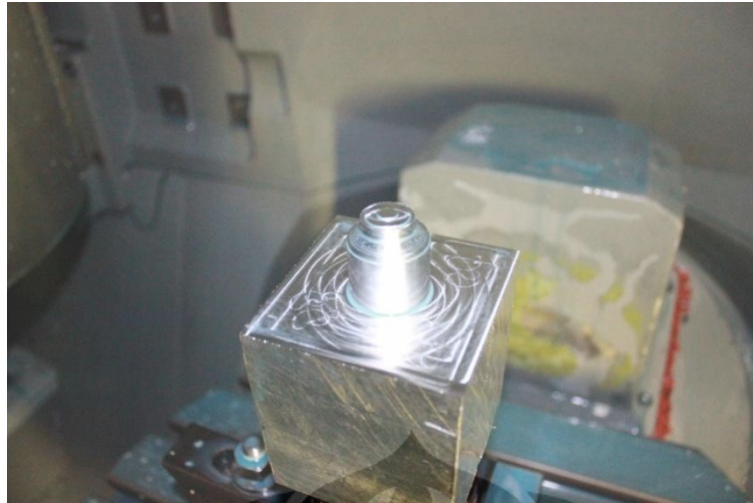
Proses pertama pada pembuatan *shroud* adalah *roughing* awal *raw material*. *Raw material* yang disediakan merupakan sisa dari pembuatan *impeller* diameter 54 mm sehingga ukurannya berubah menjadi 70 mm x 70 mm x 130 mm. Diameter terluar dari *shroud* adalah 27 mm. *Cutting tool* tipe *flat end mill* 10 mm dipilih untuk melakukan proses *roughing* awal ini. *Machining parameter* yang terdapat pada proses ini meliputi *depth of cut* 0.5 mm, *step over* 6 mm, *spindle speed* 2547 rpm, *feed rate* 800 mm/menit, toleransi pemesinan 0.01 mm, *stock* pada *shroud* 0.1 mm. Dari *cutting parameter* tersebut, ketebalan *shroud* sampai akhir proses *roughing* masih memiliki sisa 0.1 mm dari seharusnya sehingga perlu dilakukan proses selanjutnya. Proses *roughing* ini menggunakan strategi *model area clearance* untuk membuat bentuk persegi dari *raw material* menjadi bentuk *shroud*. Saat menjalankan proses pemesinan, *feeding* dari mesin diatur sampai dengan 120% karena mesin dianggap mampu melakukan pemakanan dengan *feed rate* yang lebih besar daripada yang diatur dalam program.



Gambar 6.2 Proses *roughing shroud* yang sedang berlangsung

Proses kedua adalah *finishing* bagian bawah *shroud*. *Finishing* bagian bawah *shroud* ini membuat ketebalan bagian bawah *shroud* yang sebelumnya memiliki ketebalan 0.1 mm menjadi 0 mm. *Cutting tool* dan *machining parameter* yang dilakukan masih sama yaitu menggunakan *flat end mill* dengan diameter 10 mm. Strategi pemesinan yang dilakukan adalah dengan program *constant Z finishing*. *Feeding* yang dilakukan selama proses pemesinan diturunkan 10% dari proses *roughing* awal menjadi 110% agar didapatkan waktu pemesinan yang lebih cepat namun tetap dalam proses yang aman.

Proses ketiga adalah *facing* bagian atas *hub* dengan menggunakan strategi *offset flat finishing*. Sama halnya dengan proses pemesinan *impeller* diameter 54 mm, proses *facing* ini merupakan proses yang paling cepat dilakukan selama proses pembuatan *impeller*. *Machining parameter* dan *cutting tool* yang digunakan sama dengan pada program *constant Z finishing* namun *feeding* dilakukan pada 100% sesuai dengan program yang ada pada *software*.



Gambar 6.3 Shroud setelah proses roughing

Proses terakhir dalam pembuatan *shroud* adalah *finishing shroud* secara menyeluruh. *Finishing shroud* ini menggunakan strategi *optimized constant Z finishing*. Terjadi pergantian *cutting tool* pada program ini menggunakan tipe *ball end mill* dengan diameter 2 mm. Lingkup dari program ini sama dengan program *model area clearance* yang digunakan pada proses *roughing* awal. *Machining parameter* pada program ini sama dengan proses *offset flat finishing* namun memiliki *step over* yang jauh lebih kecil yaitu 0.07 mm. *Step over* diperkecil agar menghasilkan permukaan dengan kualitas yang baik.



Gambar 6.4 Shroud setelah proses finishing

Pada gambar 4.22, terlihat bahwa terdapat cairan berwarna biru yang berada pada *raw material* dan *shroud*. Cairan tersebut merupakan fluida yang berfungsi sebagai pelumas material saat melakukan proses pemesinan.

6.1.2 Proses *Roughing Impeller*

Pada proses *roughing impeller* diameter 54 mm, *roughing* merupakan proses yang memakan waktu paling lama dan memiliki perbedaan waktu yang jauh dibandingkan dengan proses lainnya. Terjadi pergantian *cutting tool* dari *ball end mill* 2 mm menjadi *ball end mill* 1 mm dikarenakan *cutting tool* tidak dapat menjangkau daerah yang dalam apabila tetap menggunakan *cutting tool* yang sama. *Feeding* awal proses *roughing* diatur pada 80% dari program karena ditakutkan akan terjadi hal yang sama dengan proses *roughing* pada *impeller* diameter 54 mm yaitu tidak kuatnya sumbu B untuk berputar apabila *feed* penuh (100%). Akan tetapi, saat proses telah berlangsung lama, *feeding* 80% terlihat masih sangat aman sehingga kecepatan ditingkatkan hingga 90% agar didapatkan waktu aktual *roughing* yang lebih cepat. *Machining parameter* lainnya yang diatur meliputi *spindle speed* 9000 rpm, *depth of cut* 0.1 mm, *step over* 0.3 mm, toleransi pemesinan 0.01 mm. *Stock* pada *hub* dan *blade* diatur pada ketebalan 0.5 mm untuk dikerjakan pada proses *finishing*.



Gambar 6.5 *Impeller dan cutting tool saat proses roughing*

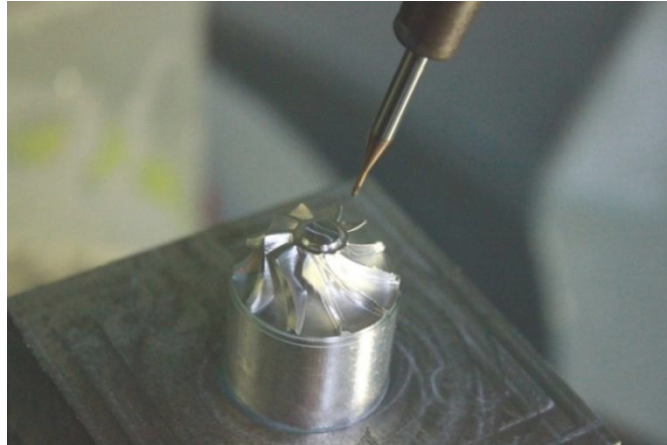


Gambar 6.6 Impeller setelah proses roughing

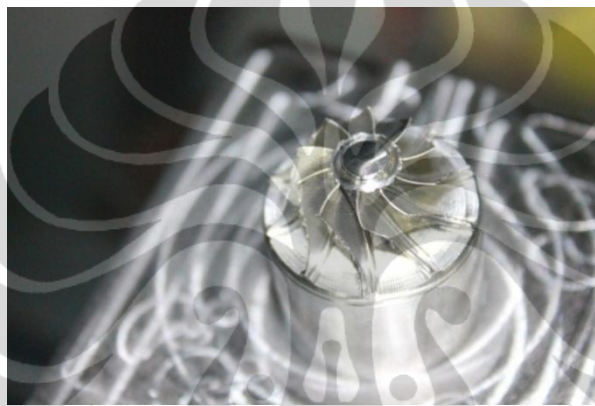
Hasil dari proses *roughing impeller* yang didapat adalah *blade* dan *hub* masih terlihat tebal. Proses *roughing* yang dilakukan telah sesuai dengan program pada *software* namun memiliki waktu pemesinan hingga tiga kali lipat dari estimasi waktu yang diperhitungkan.

6.1.3 Proses *Finishing Blade*

Proses *finishing blade* pada *impeller* diameter 27 mm ini adalah proses pemesinan yang paling beresiko karena tipisnya *blade* yang akan dilakukan proses pemesinan. Saat melakukan proses pemesinan, *feeding* diatur pada 100% namun dengan pertimbangan ketebalan *blade* yang akan dibuat (bukan berdasarkan gerak motor pada sumbu B), *feed* diturunkan 10% sehingga kecepatan makan mesin menjadi 720 mm/menit. *Spindle speed* dan toleransi pemesinan diatur sama dengan proses *roughing* yaitu putaran 9000 rpm dan toleransi 0.01 mm. *Depth of cut* dari proses *finishing blade* dan *splitter* ini diatur untuk setiap 0.05 mm. *Cutting tool* yang digunakan sama dengan pada proses *roughing* yaitu menggunakan tipe *ball end mill* dengan diameter 1 mm. *Stock* pada *hub* tetap dijaga pada 0.5 mm yang nantinya akan dihilangkan saat melakukan *finishing* pada *hub*.



Gambar 6.7 Perbedaan blade sebelum dan sesudah finishing



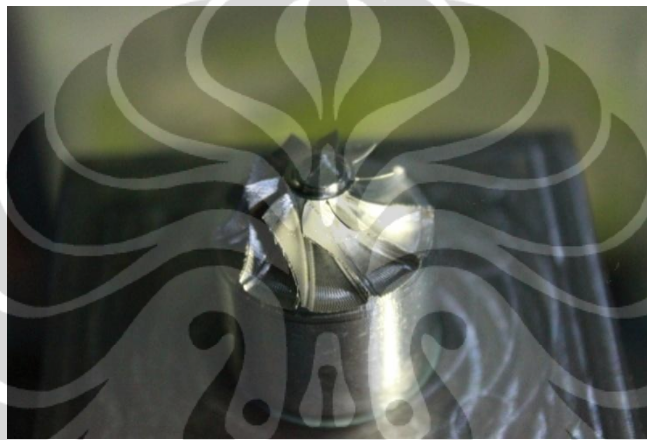
Gambar 6.8 Impeller setelah finishing blade

Pada gambar 4.25, terlihat perbedaan *blade* yang belum dilakukan *finishing* (pada bagian kiri gambar) dan yang sudah dilakukan proses *finishing* (pada bagian kanan gambar). Pada gambar 4.26, terlihat *blade* telah dilakukan *finishing* seluruhnya. Namun, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa pada bagian luar *blade*, terdapat banyak chip yang menempel dan juga bagian *hub* terlihat memiliki ketebalan yang tidak teratur. Hal tersebut dikarenakan putaran *spindle* yang terlalu rendah karena seharusnya semakin kecil benda yang dilakukan proses pemesinan maka putaran *spindle* harus semakin cepat.

6.1.4 Proses *Finishing Hub*

Berbeda dengan *impeller* diameter 54 mm, *finishing hub* pada *impeller* diameter 27 mm memiliki tiga belas tahap pemesinan namun persamaannya adalah seluruh tahap selain tahap akhir memiliki parameter-parameter proses pemesinan yang sama. Parameter-parameter tersebut meliputi *spindle speed* 12000

rpm, *feed rate* 600 mm/menit, *step over* 0.3 mm, dan toleransi pemesinan 0.01 mm. *Stock* pada masing-masing program juga sama yaitu 0 mm akan tetapi setiap program memiliki perbedaan *thickness* yang diatur yang turun secara berkala dari 1.2 mm hingga 0.1 mm dengan inkremen 0.1 mm. Pada tahap ketigabelas *hub finishing* yang merupakan tahap akhir dari proses *finishing hub* memiliki parameter proses pemesinan yang sama dengan keduabelas tahap sebelumnya namun *step over* diatur pada 0.1 mm agar hasil permukaan *hub* lebih halus dan memiliki kualitas yang lebih baik. Proses pemesinan *hub* dari tahap pertama hingga tahap keduabelas memiliki waktu aktual yang hampir sama.



Gambar 6.9 Impeller sebelum finishing hub

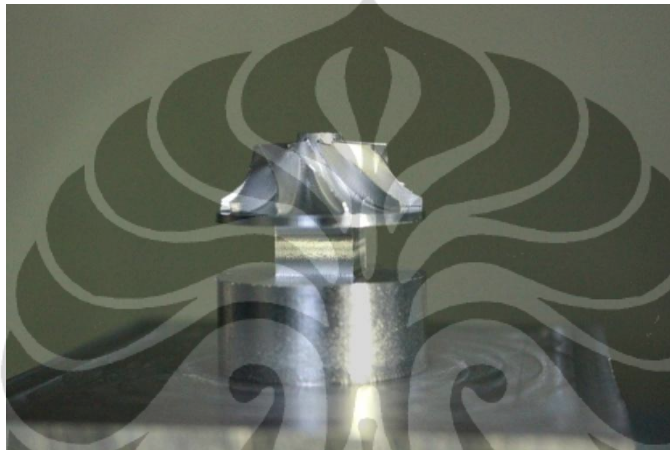


Gambar 6.10 Impeller setelah proses finishing hub: tampak depan (kiri), tampak atas (kanan)

Apabila gambar dilihat lebih dekat, *scallop height* sebelum dilakukan *hub finishing* terlihat lebih besar dibandingkan dengan sesudah dilakukan *hub finishing*. Hal ini menunjukkan bahwa proses *finishing hub* telah berjalan sesuai dengan program yang dibuat dan sampai dengan tahap ini, *impeller* diameter 27 mm telah berhasil dibuat.

6.1.5 Proses Pemotongan *Impeller* Dengan *Raw material*

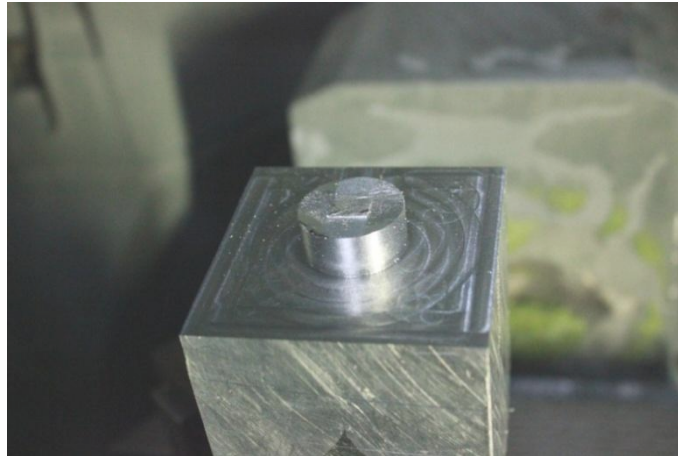
Sama dengan proses *impeller* diameter 54 mm, proses pemotongan pada *impeller* diameter 27 mm dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan menggunakan mesin dan dengan gergaji tangan manual. Seluruh proses pemotongan yang dilakukan sama dengan proses pemotongan pada *impeller* diameter 54 mm. Perbedaan terletak pada penggunaan *cutting tool* dan kubus yang dihasilkan. *Cutting tool* yang digunakan adalah tipe *flat end mill* 6 mm. kubus yang dihasilkan memiliki volume 10 mm x 10 mm x 6 mm.



Gambar 6.11 Kubus yang terbentuk setelah proses pemesinan



Gambar 6.12 Proses pemotongan dengan gergaji manual



Gambar 6.13 Raw material sisa hasil pemesinan impeller diameter 27 mm

Pada proses pemotongan dengan gergaji manual, pemotongan dilakukan pada sisi bawah kubus (sisi yang mendekati *raw material*) dikarenakan resiko *blade* yang akan mengalami deformasi apabila tertekan. Hal ini berbeda dengan *impeller* diameter 54 mm yang mengambil sisi atas kubus (sisi yang mendekati benda kerja) karena *blade* pada *impeller* diameter 54 mm memiliki ketebalan yang lebih tebal dibandingkan dengan *impeller* diameter 27 mm. Hasil pemotongan membuat *impeller* diameter 27 mm memiliki penyangga pada bagian bawahnya sebagai akibat dari kubus yang masih tersisa.



Gambar 6.14 Impeller diameter 27 mm

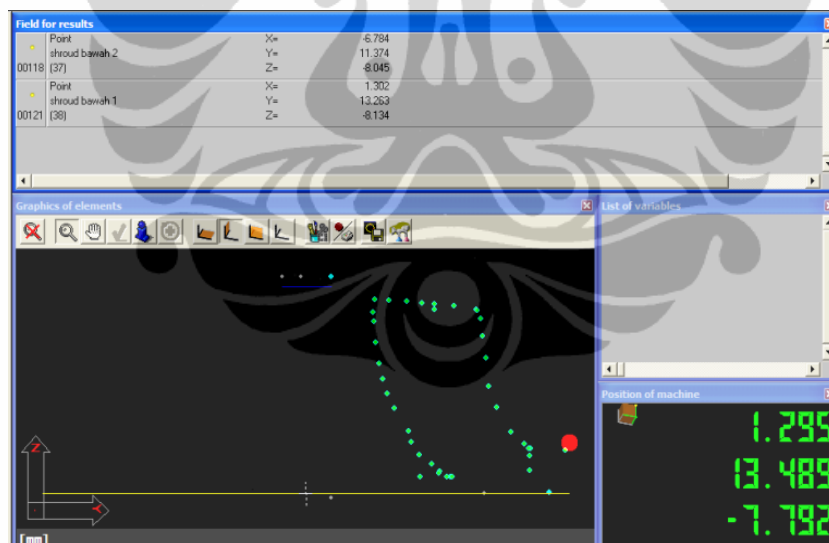
6.2 Pengukuran Menggunakan Mesin CMM

Pengecekan kualitas hasil pemesinan *impeller* kembali dilakukan dengan menggunakan mesin CMM Mitutoyo M443. Alur proses yang dilakukan pun

sama dengan proses pengecekan kualitas hasil pemesinan pada *impeller* diameter 54 mm yang dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 6.15 Pengukuran titik koordinat pada impeller diameter 27 mm



Gambar 6.16 Titik koordinat hasil pengukuran

BAB 7

ANALISIS

7.1 Analisis Parameter Pemesinan

Parameter pemesinan yang dianalisis adalah parameter *independent* yang menentukan hasil proses pemesinan. Yang termasuk parameter pemesinan *independent* adalah diameter *cutting tool* (D_c), *spindle speed* (n), *number of teeth* (z_c), *feed rate* (v_f), *step over* (a_e), dan *depth of cut* (a_p). Telah dijelaskan pada bab sebelumnya, persamaan yang digunakan untuk menentukan parameter pemesinan lainnya (*dependent*) adalah persamaan (3.1), (3.2), dan (3.3). Parameter dianalisis pada setiap lintasan pahat yang dibuat.

7.1.1 Analisis Parameter Proses *Roughing Impeller Diameter 54 mm*

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *roughing* sesuai dengan tabel 3.1. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 2 \text{ mm} \times 10000 \text{ rpm} \times \pi = 62831.85 \text{ mm/min} = 62.83 \text{ m/min}$$

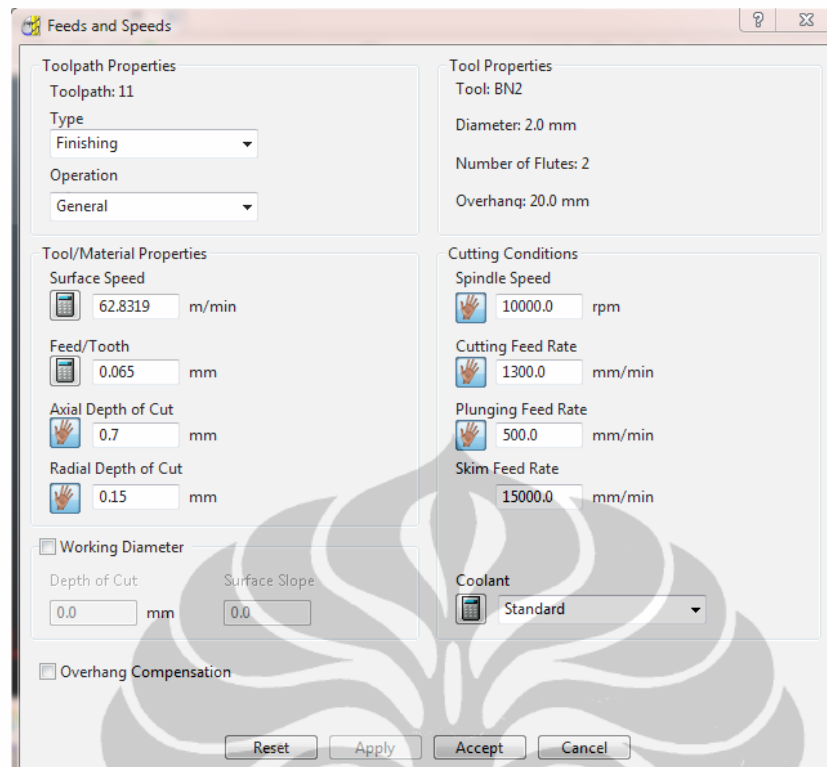
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{1300 \text{ mm/min}}{2 \times 10000} = 0.065 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 0.7 \text{ mm} \times 0.15 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm/min} = 136.5 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.1 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses roughing impeller diameter 54 mm

Pada parameter *independent* yang diatur, *radial depth of cut* atau *step over* masih dalam batas aman *step over* yang diperbolehkan. *Step over* yang diperbolehkan adalah 30% *cutting tool* sedangkan *stepover* yang digunakan adalah 7.5% *cutting tool*. *Step over* sebenarnya masih dapat diperbesar namun hal itu tidak dilakukan untuk mendapatkan *axial depth of cut* yang besar. Hal ini berkaitan dengan jumlah layer dan jumlah lintasan yang terbentuk (akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya).

7.1.2 Analisis Parameter Proses *Finishing Blade Impeller Diameter 54 mm*

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *blade* sesuai dengan tabel 3.2. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 2 \text{ mm} \times 10000 \text{ rpm} \times \pi = 62831.85 \text{ mm/min} = 62.83 \text{ m/min}$$

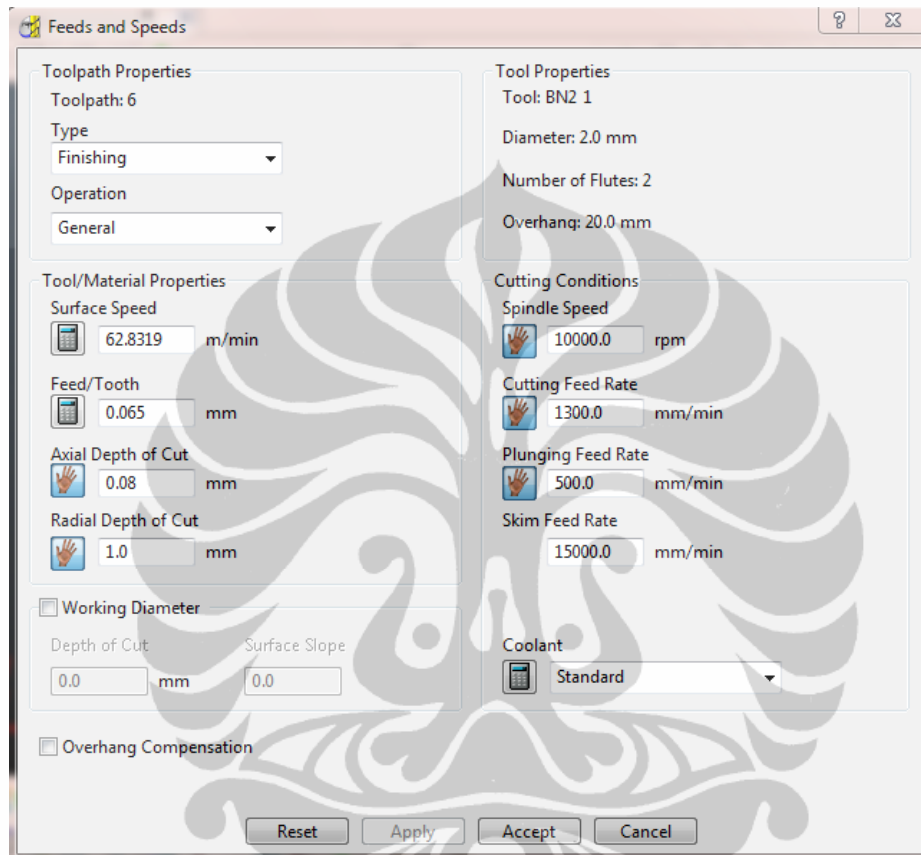
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{1300 \text{ mm/min}}{2 \times 10000} = 0.065 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 1 \text{ mm} \times 0.08 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm/min} = 104 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.2 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing blade impeller diameter 54 mm

Pada parameter *independent* yang diatur *step over* telah melewati batas yang dianjurkan. *Step over* yang diperbolehkan adalah 30% *cutting tool* sedangkan *stepover* yang digunakan adalah 50% *cutting tool* namun proses pemesinan tetap berjalan dengan baik dikarenakan *material removal rate* yang justru lebih kecil dibandingkan dengan proses *roughing*. *Step over* yang dilakukan dianggap masih aman untuk *cutting tool*. *Step over* dilakukan sebesar 50% *cutting tool* dikarenakan sisa dari proses *roughing* yang masih menyisakan ketebalan 1 mm. Hal tersebut dimaksudkan agar dapat menjaga *blade* agar tidak patah saat proses *finishing blade* berlangsung.

7.1.3 Analisis Parameter Proses *Finishing Hub Impeller Diameter 54 mm*

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *finishing hub* sesuai dengan tabel 3.3. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 2 \text{ mm} \times 10000 \text{ rpm} \times \pi = 62831.85 \text{ mm/min} = 62.83 \text{ m/min}$$

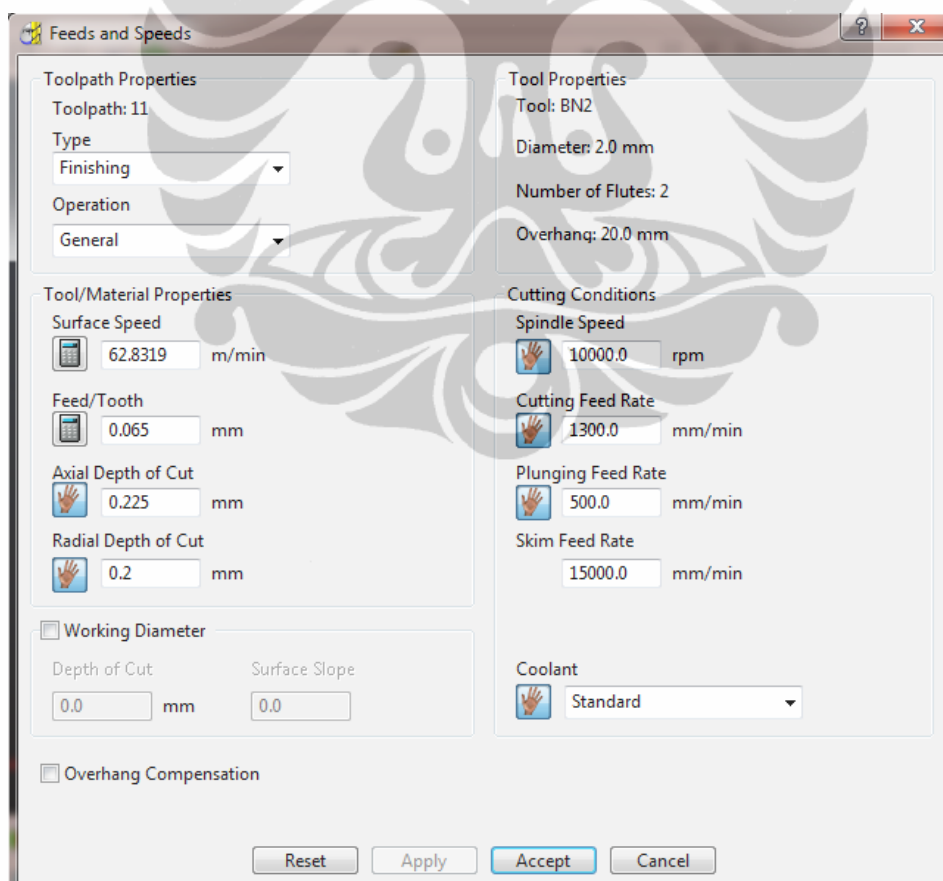
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{1300 \text{ mm/min}}{2 \times 10000} = 0.065 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 0.2 \text{ mm} \times 0.225 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm/min} = 58.5 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.3 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses *finishing hub impeller diameter 54 mm*

Pada parameter *independent* yang diatur, *step over* masih dalam batas aman *step over* yang diperbolehkan. *Step over* yang diperbolehkan adalah 30% *cutting tool* sedangkan *stepover* yang digunakan adalah 10% *cutting tool*. Sama halnya dengan proses *roughing*, *step over* diatur 10% *cutting tool* agar *depth of cut* bisa didapatkan lebih besar dan juga menentukan hasil akhir *scallop height* yang terbentuk agar tidak terlalu besar. *Depth of cut* yang diatur juga tidak terlalu besar karena merupakan proses *finishing hub* tahap akhir yang menentukan kualitas dari permukaan *hub* tersebut. Karena *step over* dan *depth of cut* yang kecil, maka *material removal rate* yang didapatkan pun menjadi kecil. Hal ini sesuai dengan teori awal yang menyatakan bahwa proses *finishing* lebih mementingkan kualitas permukaan dibandingkan jumlah *material removal rate*.

7.1.4 Analisis Parameter Proses *Roughing Impeller Diameter 27 mm*

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *roughing* sesuai dengan tabel 5.1. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 1 \text{ mm} \times 9000 \text{ rpm} \times \pi = 28274.33 \text{ mm/min} = 28.27 \text{ m/min}$$

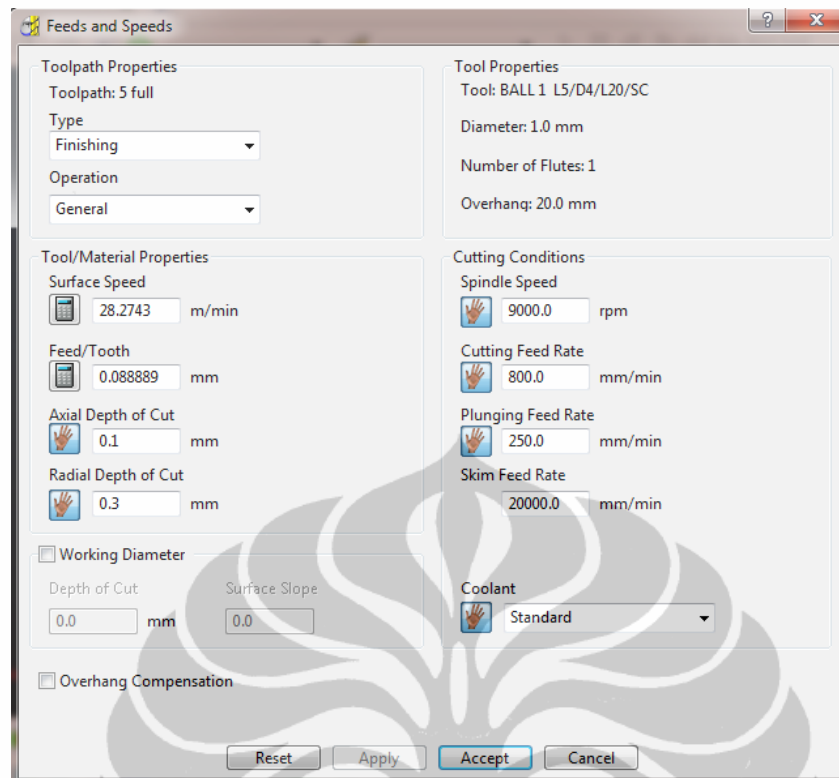
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{800 \text{ mm/min}}{1 \times 9000} = 0.089 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 0.3 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm} \times 800 \text{ mm/min} = 24 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.4 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses roughing impeller diameter 27 mm

Pada parameter *independent* yang diatur, *step over* masih dalam batas aman *step over* yang diperbolehkan. *Step over* yang diperbolehkan dan *stepover* yang digunakan adalah 30% *cutting tool*. *Step over* yang digunakan merupakan *step over* maksimum yang diperbolehkan yang bertujuan agar *material removal rate* yang dihasilkan dapat lebih besar. *Material removal rate* hasil perhitungan terlihat sangat kecil bila dibandingkan dengan *impeller* diameter 54 mm. Hal ini dikarenakan benda yang memang ukurannya semakin kecil yaitu 1 : 2 bila dibandingkan dengan *impeller* 54 mm namun faktor perbesaran tersebut memiliki aspek-aspek yang membuat *impeller* yang diperkecil tidak seperti diperkecil setengahnya.

7.1.5 Analisis Parameter Proses Finishing Blade Impeller Diameter 27 mm

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *roughing* sesuai dengan tabel 5.2. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 1 \text{ mm} \times 9000 \text{ rpm} \times \pi = 28274.33 \text{ mm/min} = 28.27 \text{ m/min}$$

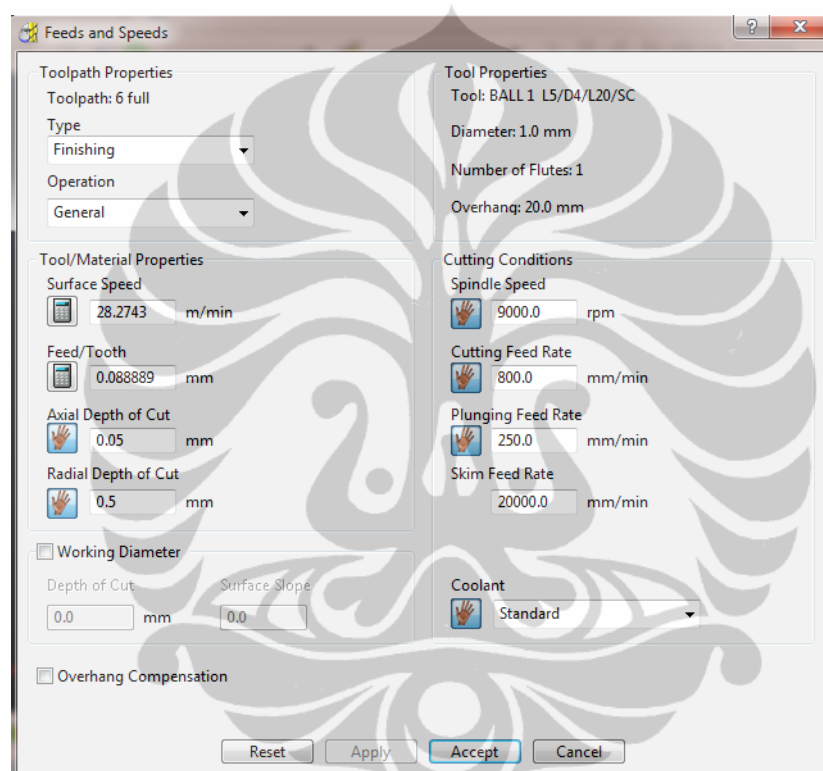
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{800 \text{ mm/min}}{1 \times 9000} = 0.089 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 0.5 \text{ mm} \times 0.05 \text{ mm} \times 800 \text{ mm/min} = 20 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.5 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses finishing blade impeller diameter 27 mm

Sama seperti pada proses *finishing blade impeller* diameter 54 mm, *step over* yang digunakan adalah 50% *cutting tool* sedangkan batas aman adalah 30% *cutting tool*. Metode yang sama diterapkan pada proses *finishing blade impeller* diameter 27 mm ini dikarenakan untuk membuang material sisa proses *roughing* yang masih menyisakan ketebalan sebesar 0.5 mm. Hal ini juga kembali diikuti dengan lebih kecilnya *depth of cut* yang diatur untuk mendapatkan *material removal rate* yang lebih kecil. Hal tersebut terlihat dari MRR pada proses *finishing blade* yang selalu lebih kecil dibandingkan dengan MRR pada proses

roughing. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemesinan pada *finishing blade* masih aman selama nilai MRR-nya masih berada di bawah nilai MRR proses *roughing*.

7.1.6 Analisis Parameter Proses *Finishing Hub Impeller Diameter 27 mm*

Parameter pemesinan yang diatur pada proses *finishing hub* sesuai dengan tabel 5.3. Berikut adalah perhitungan yang dilakukan.

Mencari *cutting speed* (sesuai dengan persamaan (3.1))

$$v_c = 1 \text{ mm} \times 12000 \text{ rpm} \times \pi = 37699.11 \text{ mm/min} = 37.7 \text{ m/min}$$

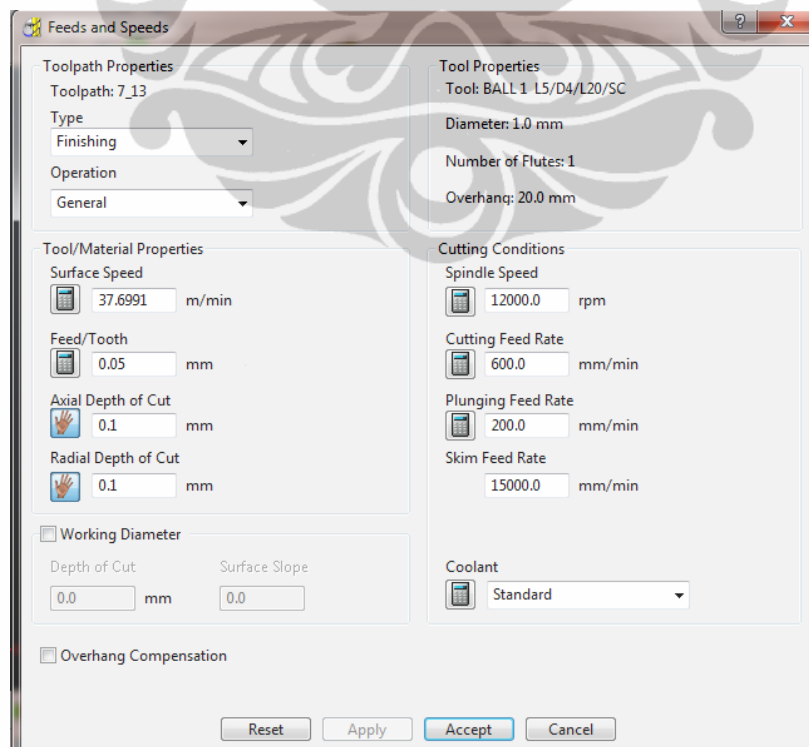
Mencari *feed per tooth* (sesuai dengan persamaan (3.2))

$$f_z = \frac{600 \text{ mm/min}}{1 \times 12000} = 0.05 \text{ mm/tooth}$$

Mencari *material removal rate* (sesuai dengan persamaan (3.3))

$$Q = 0.1 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm} \times 600 \text{ mm/min} = 6 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan perhitungan yang ada pada *software*. Berikut hasil perhitungan pada *software*.



Gambar 7.6 Parameter pemesinan dan hasil perhitungan pada proses *finishing hub*

impeller diameter 27 mm

Sama seperti pada proses *finishing hub impeller* diameter 54 mm, *material removal rate* dari proses *finishing hub impeller* diameter 27 mm ini juga merupakan *material removal rate* paling kecil dibandingkan proses lainnya yakni sebesar 6 mm³/min. *Step over* yang diatur sama dengan proses *finishing hub* pada *impeller* 54 mm, yakni sebesar 10% *cutting tool* dari yang diperbolehkan yakni 30% *cutting tool*. Hal tersebut dilakukan untuk tujuan yang sama yaitu mendapatkan profil permukaan dari *hub* dengan kualitas yang baik. Perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan pada proses *finishing hub* tahap akhir sehingga memiliki *depth of cut* yang sangat kecil dibandingkan proses *finishing hub* sebelumnya.

7.2 Analisis Waktu Pemesinan

Estimasi waktu pemesinan dilakukan pada dua *software* CAM, yaitu NX dan Powermill. Karena program lintasan pahat yang digunakan pada proses pemesinan berasal dari Powermill, maka estimasi waktu yang ada pada data sheet produksi adalah estimasi waktu yang berasal dari Powermill. Untuk mendapatkan perbandingan antara NX dan Powermill, berikut ditampilkan estimasi waktu dari NX yang tidak terdapat pada *data sheet* produksi.

Name	Time	Name	Time
NC_PROGRAM	07:57:52	NC_PROGRAM	06:26:31
Unused Items	00:00:00	Unused Items	00:00:00
PROGRAM	07:57:52	PROGRAM	06:26:31
PROGRAM_ROUGHING	05:52:48	PROGRAM_ROUGHING	03:36:42
FINISHING_BLADE_SPLITTER	00:53:34	BLADE_FINISHING	00:27:32
FINISHING_HUB_1	00:11:07	HUB_FINISHING_12	00:09:06
FINISHING_HUB_2	00:11:12	HUB_FINISHING_11	00:09:11
FINISHING_HUB_3	00:10:57	HUB_FINISHING_10	00:09:16
FINISHING_HUB_4	00:11:23	HUB_FINISHING_9	00:09:21
FINISHING_HUB_FINAL	00:26:51	HUB_FINISHING_8	00:09:25
		HUB_FINISHING_7	00:09:29
		HUB_FINISHING_6	00:09:33
		HUB_FINISHING_5	00:09:37
		HUB_FINISHING_4	00:09:42
		HUB_FINISHING_3	00:09:46
		HUB_FINISHING_2	00:09:50
		HUB_FINISHING_1	00:09:54
		HUB_FINISHING_FINAL	00:28:06

Gambar 7.7 Data estimasi waktu pemesinan pada software NX impeller diameter 54 mm (kiri) dan diameter 27 mm (kanan)

Dari hasil proses pemesinan yang dilakukan, didapatkan data aktual waktu pemesinan sebagai berikut:

Tabel 7.1 Data waktu pemesinan impeller diameter 54 mm

Strategi	Feed	Estimasi	Feed	Waktu Aktual
Offset Area Clearance	3000 mmpm	0 : 18 : 30	120 %	0 : 48 : 15
Constant Z <i>Finishing</i>	3000 mmpm	0 : 00 : 28	100 %	0 : 05 : 51
Offset Flat <i>Finishing</i>	3000 mmpm	0 : 00 : 01	100 %	0 : 01 : 12
Optimised Constant Z	1300 mmpm	0 : 24 : 52	60 %	1 : 39 : 46
Blisk Area Clearane	1300 mmpm	4 : 05 : 27	50 %	8 : 14 : 41
<i>Blade Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 33 : 20	40 %	1 : 28 : 50
<i>Hub Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 09 : 32	40 %	0 : 41 : 38
<i>Hub Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 09 : 14	40 %	0 : 43 : 12
<i>Hub Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 09 : 36	40 %	0 : 48 : 09
<i>Hub Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 09 : 19	40 %	0 : 40 : 46
<i>Hub Finishing</i>	1300 mmpm	0 : 21 : 49	40 %	1 : 45 : 20
Total	-	6 : 22 : 08	-	17 : 13 : 20

Tabel 7.2 Data waktu pemesinan impeller diameter 27 mm

Strategi	Feed	Estimasi	Feed	Waktu Aktual
Offset Area Clearance	800 mmpm	1 : 30 : 06	120 %	1 : 04 : 47
Constant Z <i>Finishing</i>	800 mmpm	0 : 01 : 19	110 %	0 : 01 : 16
Offset Flat <i>Finishing</i>	800 mmpm	0 : 00 : 01	110 %	0 : 00 : 21
Optimised Constant Z	800 mmpm	0 : 14 : 28	100 %	0 : 15 : 04
Blisk Area Clearane	800 mmpm	1 : 55 : 19	90 %	6 : 37 : 51
<i>Blade Finishing</i>	800 mmpm	0 : 18 : 10	90 %	1 : 29 : 12
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 58	80 %	0 : 23 : 48
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 09 : 01	80 %	0 : 23 : 22
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 09 : 05	80 %	0 : 24 : 59
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 41	80 %	0 : 20 : 57
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 45	80 %	0 : 23 : 03
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 04	80 %	0 : 20 : 02

<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 08	80 %	0 : 19 : 44
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 10	80 %	0 : 21 : 15
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 12	80 %	0 : 20 : 27
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 09 : 02	80 %	0 : 23 : 24
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 18	80 %	0 : 21 : 01
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 08 : 20	80 %	0 : 22 : 02
<i>Hub Finishing</i>	600 mmpm	0 : 23 : 24	80 %	1 : 02 : 20
Total	-	6 : 05 : 31	-	15 : 33 : 16

Berdasarkan data yang didapat, estimasi waktu yang dilakukan dengan menggunakan *software* CAM memiliki perbedaan dengan waktu aktual pemesinan yang dilakukan. Untuk dapat memvalidasi, dilakukan perhitungan manual pada beberapa program lintasan pahat.

7.2.1 Analisis Waktu Proses *Roughing Impeller* Diameter 54 mm

Perhitungan waktu pertama dilakukan pada proses *roughing impeller* dengan diameter 54 mm. Parameter pemesinan sesuai dengan yang terdapat pada tabel 3.1. Perhitungan waktu pemesinan yang dilakukan mengacu pada persamaan (3.4) namun terdapat modifikasi perhitungan karena total waktu pemesinan dibagi menjadi dua, yaitu waktu saat melakukan pemakanan, dan waktu saat tidak melakukan pemakanan, berikut persamaan yang digunakan.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{cutting}} + T_{\text{noncutting}} \quad (7.1)$$

$$T_{\text{noncutting}} = T_{\text{plunge}} + T_{\text{skim}} \quad (7.2)$$

$$T_{\text{cutting}} = \frac{L_c}{v_c} \text{ (min)} \quad T_{\text{plunge}} = \frac{L_p}{v_p} \text{ (min)} \quad T_{\text{skim}} = \frac{L_s}{v_s} \text{ (min)}$$

Dimana:

$$L_c = 267070.22 \text{ mm} \quad v_c = v_f$$

$$L_p = 12510 \text{ mm} \quad v_p = 500 \text{ mm/min}$$

$$L_s = 131085.7 \text{ mm} \quad v_s = 15000 \text{ mm/min}$$

Berdasarkan data-data dan persamaan di atas, maka berikut perhitungan yang dilakukan.

$$T_{\text{cutting}} = \frac{267070.22 \text{ mm}}{1300 \text{ mm/min}} = 205.439 \text{ menit}$$

Hasil tersebut kemudian dibagi dengan 60 untuk mendapatkan berapa jam lama waktu pemesinan, kemudian dibagi kembali dengan 60 untuk mendapatkan berapa menit dan dibagi kembali dengan 60 untuk mendapatkan berapa detik tepatnya waktu pemesinan. Berikut adalah perhitungannya.

$$T_{cutting} = 205.439 \text{ menit} = \frac{205.439}{60} \text{ jam} = 3.424 \text{ jam}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan waktu 3 jam lebih 0.424 jam. 0.424 jam diubah ke dalam menit sehingga dihasilkan.

$$T_{cutting} = 0.424 \text{ jam} = 0.424 \times 60 \text{ menit} = 25.44 \text{ menit}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan 25.44 menit. Dengan cara yang sama, menit diubah ke dalam detik untuk mengetahui detik dari waktu pemesinan. Berikut perhitungan yang dilakukan.

$$T_{cutting} = 0.44 \text{ menit} = 0.44 \times 60 \text{ detik} = 26.4 \text{ detik}$$

Sehingga waktu pemesinan saat melakukan pemakanan adalah 3 jam 25 menit 26 detik. Waktu tersebut sesuai dengan estimasi waktu yang dilakukan pada *software* Powermill sebagai berikut.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	131085.7	0:08:44
Plunqe	12510.0	0:25:01
Ramp	0.00	0:00:00
Others	0.00	0:00:00
Total	143595.7	0:33:45
Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	267070.22	3:25:26
Arcs	0.00	0:00:00
Total	267070.22	3:25:26
Total	410665.92	3:59:11
	Lifts	12510

Gambar 7.8 Waktu pemesinan proses roughing impeller diameter 54 mm

Dengan cara yang sama, perhitungan dilakukan terhadap waktu saat tidak melakukan pemakanan sebagai berikut.

$$T_{\text{plunge}} = \frac{12510 \text{ mm}}{500 \text{ mm/min}} = 25.02 \text{ menit}$$

$$T_{\text{plunge}} = 0.02 \text{ menit} = 0.02 \times 60 \text{ detik} = 1.2 \text{ detik}$$

Untuk T_{plunge} tidak terdapat perbedaan dengan estimasi pada *software*. Berikut perhitungan *noncutting time* selanjutnya.

$$T_{\text{skim}} = \frac{131085.7 \text{ mm}}{15000 \text{ mm/min}} = 8.74 \text{ menit}$$

$$T_{\text{skim}} = 0.74 \text{ menit} = 0.74 \times 60 \text{ detik} = 44.4 \text{ detik}$$

Untuk T_{skim} tidak terdapat perbedaan dengan estimasi waktu pada *software*. Setelah perhitungan T_{skim} dan T_{plunge} dilakukan, maka didapatkan $T_{\text{noncutting}}$ sesuai dengan persamaan (7.2) berikut.

$$T_{\text{noncutting}} = 0 : 25 : 01.2 + 0 : 08 : 44.4 = 0 : 33 : 45.6$$

Kemudian, sesuai dengan persamaan (7.1), didapatkan pula total waktu pemesinan.

$$T_{\text{total}} = 3 : 25 : 26.4 + 0 : 33 : 45.6 = 3 : 59 : 12$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, total waktu pemesinan adalah 3 jam 59 menit 12 detik. Total waktu tersebut telah sesuai (hanya selisih 1 detik) bila dibandingkan dengan estimasi waktu pada *software* (gambar 7.8). Namun hal tersebut belum menjawab mengapa terdapat perbedaan begitu besar dengan waktu aktual pemesinan. Pada proses pemesinan aktual, *feed* diturunkan menjadi 50% (tabel 7.1), sehingga *feed* 1300 mm/min yang diatur pada *software* perlu disamakan dengan *feed* aktual. Berikut perhitungan yang dilakukan.

$$v_f = 1300 \text{ mm/min} \times 50\% = 1300 \text{ mm/min} \times \frac{50}{100} = 650 \text{ mm/min}$$

Feed perhitungan di atas merupakan *feed* saat melakukan pemakanan. *Feed* saat tidak melakukan pemakanan juga perlu diubah dengan cara yang sama sehingga menjadi.

$$v_p = 500 \text{ mm/min} \times 50\% = 500 \text{ mm/min} \times \frac{50}{100} = 250 \text{ mm/min}$$

$$v_s = 15000 \text{ mm/min} \times 50\% = 15000 \text{ mm/min} \times \frac{50}{100} = 7500 \text{ mm/min}$$

Setelah *feed* diturunkan, maka dilakukan perhitungan dengan cara yang sama sehingga didapatkan data sebagai berikut.

$$T_{\text{cutting}} = \frac{267070.22 \text{ mm}}{650 \text{ mm/min}} = 410.88 \text{ menit} = 6 \text{ jam } 50 \text{ menit } 52.8 \text{ detik}$$

$$T_{\text{plunge}} = \frac{12510 \text{ mm}}{250 \text{ mm/min}} = 50.04 \text{ menit} = 50 \text{ menit } 2.4 \text{ detik}$$

$$T_{\text{skim}} = \frac{131085.7 \text{ mm}}{7500 \text{ mm/min}} = 17.48 \text{ menit} = 17 \text{ menit } 28.8 \text{ detik}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka didapatkan total waktu pemesinan saat *feed* diturunkan hingga 50% adalah sebagai berikut.

$$T_{\text{total}} = 6 : 50 : 53 + 0 : 50 : 2 + 0 : 17 : 29 = 7 : 58 : 21$$

Hasil perhitungan di atas hanya berselisih 2 detik dari estimasi waktu pada *software* (gambar 7.3) dan telah mendekati waktu pemesinan aktual.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	131085.7	0:17:28
Plunge	12510.0	0:50:02
Ramp	0.00	0:00:00
Others	0.00	0:00:00
Total	143595.7	1:07:31

Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	267070.22	6:50:52
Arcs	0.00	0:00:00
Total	267070.22	6:50:52

Total	410665.92	7:58:23
	Lifts	12510

Gambar 7.9 Waktu pemesinan roughing impeller 54 mm feed 50%

Perbedaan dengan waktu aktual adalah sekitar 16 menit 20 detik. Sehingga error yang terjadi adalah sebagai berikut (waktu diubah dalam menit).

$$\text{err} = \left| \frac{T_{\text{selisih}}}{T_{\text{literatur}}} \right| \times 100\% \quad (7.3)$$

$$\text{error} = \left| \frac{16.33}{478.35} \right| \times 100\% = 3.41\%$$

Sehingga didapatkan akurasi waktu pemesinan (accuracy) adalah sebagai berikut.

$$\text{acc} = 100\% - \text{error} = 100\% - 3.41\% = 96.59\%$$

Hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas telah sesuai dengan estimasi waktu pada *software* Powermill sehingga untuk perbandingan waktu estimasi dengan aktual selanjutnya digunakan hasil dari *software*. Error yang terjadi belum melebihi 20% (berdasarkan catalog dari *machine tool*) sehingga data perhitungan yang dilakukan telah valid.

7.2.2 Analisis Waktu Proses *Finishing Blade Impeller Diameter 54 mm*

Sama halnya dengan proses *roughing*, waktu pemesinan proses *finishing blade* memiliki perbedaan antara estimasi dengan waktu aktualnya. Berikut adalah hasil perhitungan *software* berdasarkan parameter pemesinan pada tabel 3.2.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	18205.88	0:01:12
Plunge	501.0	0:01:00
Ramp	0.00	0:00:00
Others	746.66	0:00:34
Total	19453.54	0:02:47

Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	35554.52	0:27:20
Arcs	0.00	0:00:00
Total	35554.52	0:27:20

Total	55008.06	0:30:08
		Lifts 1002

Gambar 7.10 Waktu pemesinan proses finishing blade impeller diameter 54 mm

Dan berikut adalah waktu pemesinan setelah *feed* diturunkan menjadi 40% sesuai dengan *feed* aktual.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	18205.88	0:03:02
Plunqe	501.0	0:02:30
Ramp	0.00	0:00:00
Others	746.66	0:01:26
Total	19453.54	0:06:58
Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	35554.52	1:08:22
Arcs	0.00	0:00:00
Total	35554.52	1:08:22
Total	55008.06	1:15:20
		Lifts 1002

Gambar 7.11 Waktu pemesinan finishing blade impeller 54 mm feed 40%

Perbedaan dengan waktu aktual (tabel 7.1) adalah sekitar 13 menit 30 detik. Perhitungan error sesuai dengan persamaan (7.3) dengan waktu telah diubah dalam satuan menit.

$$\text{error} = \left| \frac{13.5}{75.33} \right| \times 100\% = 17.92\%$$

Sehingga didapatkan akurasi waktu pemesinan (accuracy) adalah sebagai berikut.

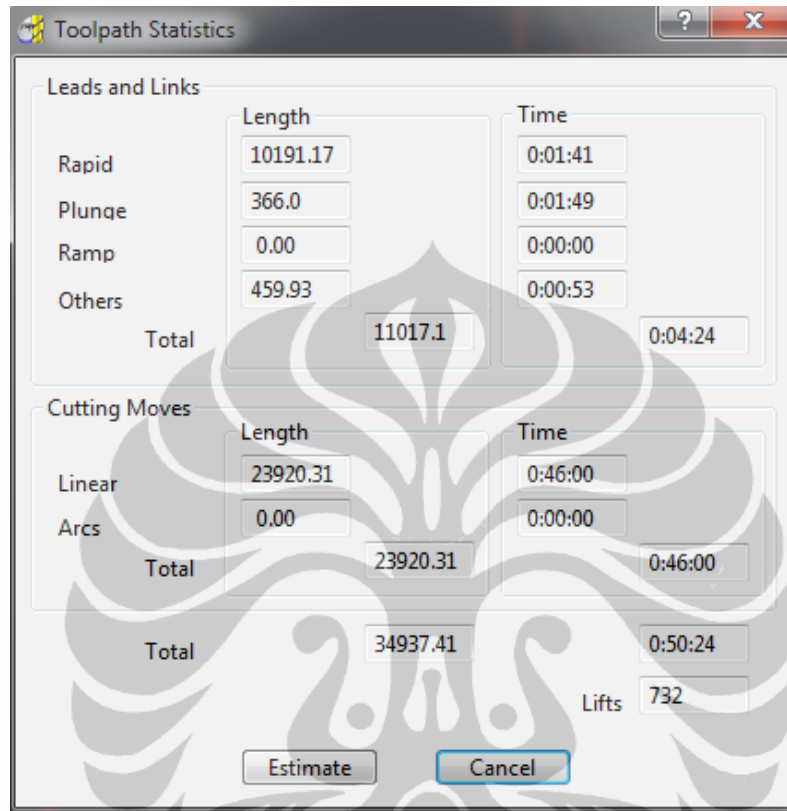
$$\text{acc} = 100\% - \text{error} = 100\% - 17.92\% = 82.08\%$$

Sama dengan sebelumnya, error yang terjadi belum melebihi 20% sehingga data perhitungan yang dilakukan telah valid.

7.2.3 Analisis Waktu Proses Finishing Hub Impeller Diameter 54 mm

Proses *finishing hub* memiliki beberapa tahap. Analisis untuk proses *finishing hub* dilakukan hanya pada proses *finishing hub* tahap akhir yang

menentukan profil permukaan yang terbentuk hasil proses pemesinan. Parameter pemesinan sesuai dengan tabel 3.3. Berikut adalah waktu pemesinan setelah *feed* diturunkan menjadi 40% sesuai dengan *feed* aktual.



Gambar 7.12 Waktu pemesinan finishing hub tahap akhir impeller 54 mm feed 40%

Perbedaan dengan waktu aktual (tabel 7.1) adalah sekitar 54 menit 56 detik. Perhitungan error sesuai dengan persamaan (7.3) dengan waktu telah diubah dalam satuan menit.

$$\text{error} = \left| \frac{54.93}{50.4} \right| \times 100\% = 108.99\%$$

Error yang didapat jauh melebihi dari yang diperbolehkan. Hal ini dapat disebabkan karena profil dari *hub* pada *impeller* yang kompleks yang membuat keterbatasan mesin untuk bergerak sesuai dengan program yang ada. Gaya-gaya dinamis pada mesin juga tidak dapat diperhitungkan pada kalkulasi waktu sehingga mungkin saja gaya-gaya tersebut yang menyebabkan waktu estimasi tidak sesuai dengan waktu aktual atau berada dalam batas toleransi yang seharusnya.

7.2.4 Analisis Waktu Proses *Roughing Impeller Diameter 27 mm*

Proses *roughing* merupakan proses yang memakan waktu pemesinan paling lama dibandingkan dengan proses lainnya pada proses pemesinan *impeller*. Selisih yang dihasilkan pun seharusnya memiliki nilai yang kecil karena besarnya gap waktu. Parameter pemesinan terdapat pada bab sebelumnya yaitu pada tabel 5.1. Berikut estimasi waktu pada *software* setelah *feed* diturunkan menjadi 80% sesuai dengan *feed* aktual.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	83212.59	0:05:12
Plunqe	3355.0	0:16:46
Ramp	0.00	0:00:00
Others	0.00	0:00:00
Total	86567.59	0:21:58

Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	78201.81	2:02:11
Arcs	0.00	0:00:00
Total	78201.81	2:02:11

Total	164769.41	2:24:09
	Lifts	6710

Gambar 7.13 Waktu pemesinan *roughing impeller 27 mm feed 80%*

Perbedaan dengan waktu aktual (tabel 7.2) adalah sekitar 4 jam 13 menit 42 detik. Perhitungan error sesuai dengan persamaan (7.3) dengan waktu telah diubah dalam satuan menit.

$$\text{error} = \left| \frac{253.7}{155.2} \right| \times 100\% = 163.5\%$$

Error yang didapat jauh melebihi dari yang diperbolehkan sama halnya dengan proses *finishing hub* tahap akhir pada *impeller* diameter 54 mm. sama dengan sebelumnya, hal ini mungkin disebabkan karena adanya tidak terhitungnya gaya-gaya dinamis pada mesin yang berpengaruh juga terhadap lamanya waktu

pemakaian mesin. Mesin yang digunakan telah berumur lebih dari 8 tahun sehingga performa dari mesin tersebut tidak 100%. Selain itu, mesin yang barupun memiliki toleransi hingga 20% untuk perbandingan dengan estimasi waktu pada *software*.

7.2.5 Analisis Waktu Proses *Finishing Blade Impeller Diameter 27 mm*

Proses *finishing blade* dapat dikatakan memiliki resiko paling tinggi pada proses pemesinan *impeller*. Namun dalam proses yang dilakukan, *feed* yang diatur justru mampu untuk melakukan *feed* 100% dibandingkan dengan proses *roughing* dan *finishing hub* dan merupakan *feed* paling besar pada proses pemesinan *impeller*. Akan tetapi, karena dikhawatirkan adanya chatter dan vibrasi pada *blade*, maka *feed* diturunkan sampai dengan 90%. Parameter pemesinan terdapat pada tabel 5.2. Berikut adalah estimasi waktu pada *software* setelah *feed* diturunkan menjadi 90%.

Leads and Links			
	Length	Time	
Rapid	12084.24	0:00:40	
Plunqe	380.5	0:01:41	
Ramp	0.00	0:00:00	
Others	417.31	0:00:34	
Total	12882.04	0:02:56	

Cutting Moves			
	Length	Time	
Linear	12415.24	0:17:14	
Arcs	0.00	0:00:00	
Total	12415.24	0:17:14	

Total	25297.29	0:20:11	
		Lifts	761

Gambar 7.14 Waktu pemesinan *finishing blade impeller 27 mm feed 90%*

Perbedaan dengan waktu aktual (tabel 7.2) adalah sekitar 1 jam 9 menit 1 detik. Perhitungan error sesuai dengan persamaan (7.3) dengan waktu telah diubah dalam satuan menit.

$$\text{error} = \left| \frac{69.02}{20.2} \right| \times 100\% = 341.7\%$$

Error yang didapat jauh melebihi dari yang diperbolehkan sama dengan proses sebelumnya. Alasan tingginya error adalah sama dengan sebelumnya. Kemungkinan benda yang sangat kecil dilakukan pemesinan pada alat untuk ukuran makro juga dapat menambah error karena banyak gerakan-gerakan dari *machine tool* yang tidak dapat dilakukan secara maksimal atau harus secara hati-hati agar tidak terjadi *collision*.

Karena error sangat tinggi, maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan persamaan (3.4), (7.1), dan (7.2). Perhitungan error dilakukan dengan menggunakan persamaan (7.3). Berikut adalah perhitungan yang dilakukan setelah *feed* dikurangi menjadi 90%.

$$L_c = 12415.24 \text{ mm} \quad v_c = v_f$$

$$L_p = 380.5 \text{ mm} \quad v_p = 250 \text{ mm/min}$$

$$L_s = 12084.24 \text{ mm} \quad v_s = 20000 \text{ mm/min}$$

$$v_f = 800 \text{ mm/min} \times 90\% = 800 \text{ mm/min} \times \frac{90}{100} = 720 \text{ mm/min}$$

Feed perhitungan di atas merupakan *feed* saat melakukan pemakanan. *Feed* saat tidak melakukan pemakanan juga perlu diubah dengan cara yang sama sehingga menjadi.

$$v_p = 250 \text{ mm/min} \times 90\% = 250 \text{ mm/min} \times \frac{90}{100} = 225 \text{ mm/min}$$

$$v_s = 20000 \text{ mm/min} \times 90\% = 18000 \text{ mm/min} \times \frac{90}{100} = 18000 \text{ mm/min}$$

Setelah *feed* diturunkan, maka dilakukan perhitungan dengan cara yang sama sehingga didapatkan data sebagai berikut.

$$T_{\text{cutting}} = \frac{12415.24 \text{ mm}}{720 \text{ mm/min}} = 17.24 \text{ menit} = 17 \text{ menit } 14.4 \text{ detik}$$

$$T_{\text{plunge}} = \frac{380.5 \text{ mm}}{225 \text{ mm/min}} = 1.69 \text{ menit} = 1 \text{ menit } 41.4 \text{ detik}$$

$$T_{\text{skim}} = \frac{12084.24 \text{ mm}}{18000 \text{ mm/min}} = 0.67 \text{ menit} = 40.2 \text{ detik}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka didapatkan total waktu pemesinan saat *feed* diturunkan hingga 90% adalah sebagai berikut.

$$T_{\text{total}} = 0 : 17 : 14 + 0 : 01 : 41 + 0 : 00 : 40 = 0 : 20 : 12$$

Hasil perhitungan di atas hanya berselisih 1 detik dari estimasi waktu pada *software* (gambar 7.7) dan masih jauh dengan waktu aktual pemesinan. Sehingga error pun masih sama dengan sebelumnya yaitu 341.7%. Hal ini menunjukkan tidak ada kesalahan pada *software* dan error murni terjadi pada *machine tool*.

7.2.6 Analisis Waktu Proses *Finishing Hub Impeller* Diameter 27 mm

Sama dengan proses *finishing hub* pada *impeller* diameter 54 mm, pada *impeller* diameter 27 mm juga dilakukan analisis hanya pada tahap akhir *finishing hub*. Parameter pemesinan sama dengan yang terdapat pada tabel 5.3. Berikut adalah estimasi waktu proses *finishing hub* setelah *feed* disamakan dengan *feed* aktual yakni 80%.

Leads and Links		
	Length	Time
Rapid	629.55	0:00:03
Plunqe	15.0	0:00:05
Ramp	0.00	0:00:00
Others	1713.28	0:03:34
Total	2357.83	0:03:42

Cutting Moves		
	Length	Time
Linear	12259.95	0:25:32
Arcs	0.00	0:00:00
Total	12259.95	0:25:32

Total	14617.78	0:29:15
	Lifts	30

Gambar 7.15 Waktu pemesinan *finishing hub impeller* 27 mm *feed* 80%

Perbedaan dengan waktu aktual (tabel 7.2) adalah sekitar 33 menit 5 detik. Perhitungan error sesuai dengan persamaan (7.3) dengan waktu telah diubah dalam satuan menit.

$$\text{error} = \left| \frac{33.08}{29.25} \right| \times 100\% = 113.09\%$$

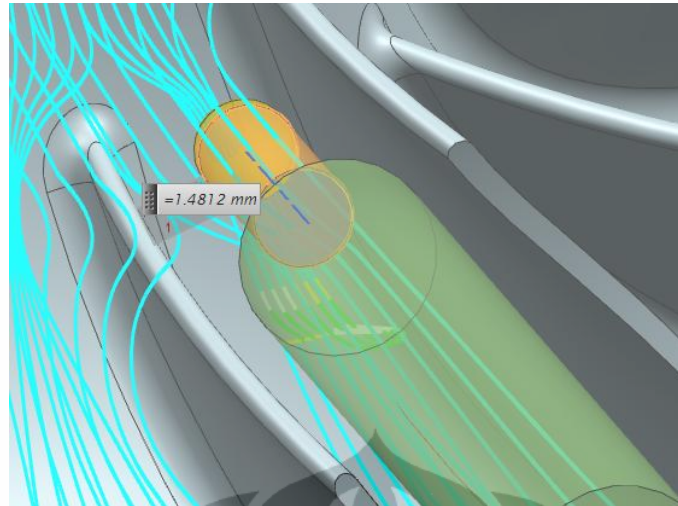
Sama dengan sebelumnya, error yang didapat jauh melebihi yang diperbolehkan. Namun pada proses *finishing hub* ini merupakan error terkecil pada proses pemesinan *impeller* 27 mm dibandingkan dengan proses *roughing* dan *finishing blade*.

7.3 Analisis Toolpath

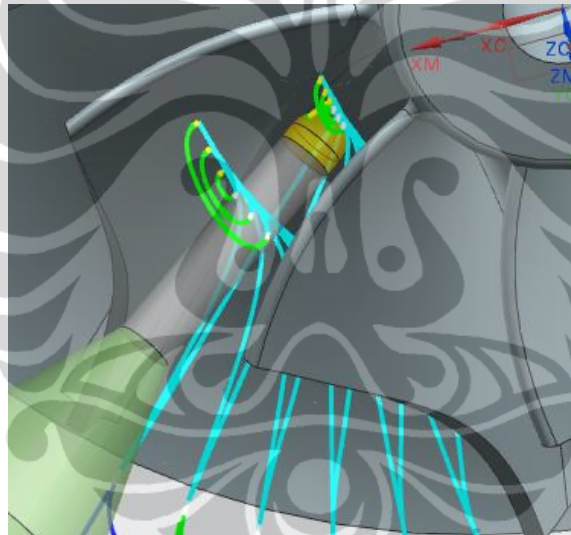
Pengembangan lintasan pahat yang dilakukan perlu dianalisis apakah *toolpath* yang terbentuk telah valid atau belum. Pemvalidasian dilakukan agar *toolpath* yang dibuat dapat dijadikan acuan untuk standard prosedur operasi pembuatan *impeller*, baik *impeller* yang memiliki *splitter* ataupun *impeller* yang tidak memiliki *splitter*. Analisis *toolpath* dilakukan pada setiap *toolpath* yang dibuat mulai dari proses *roughing*, *finishing blade*, hingga *finishing hub*.

7.3.1 Analisis Toolpath Proses *Roughing Impeller*

Pada proses *roughing*, yang perlu diperhatikan adalah penggunaan *toolpath* tersebut telah efisien atau belum saat melakukan pelepasan material baik pada *impeller* diameter 54 mm maupun pada *impeller* diameter 27 mm. Kemungkinan terjadinya *collision* lebih besar terjadi pada *impeller* diameter 54 mm karena terdapat *splitter* pada bagian tengah ruas *blade*. Dari segi ukuran, seharusnya *impeller* dengan diameter 27 mm lebih besar kemungkinan terjadi *collision* dibandingkan dengan *impeller* dengan diameter 54 mm. Namun, pada *impeller* yang tidak memiliki *splitter*, memiliki keseragaman yang lebih baik dibandingkan dengan *impeller* yang memiliki *splitter* sehingga hal tersebut akan berpengaruh terhadap *feed rate* yang diatur. *Feeding* yang dilakukan saat proses pemesinan *impeller* 54 mm sering diturunkan sebagai akibat dari adanya ketidakseragaman pada ruas *blade* sehingga pada *impeller* 54 mm, selain ukurannya lebih besar kerumitan geometrinya membuat waktu pemesinannya lebih lama.

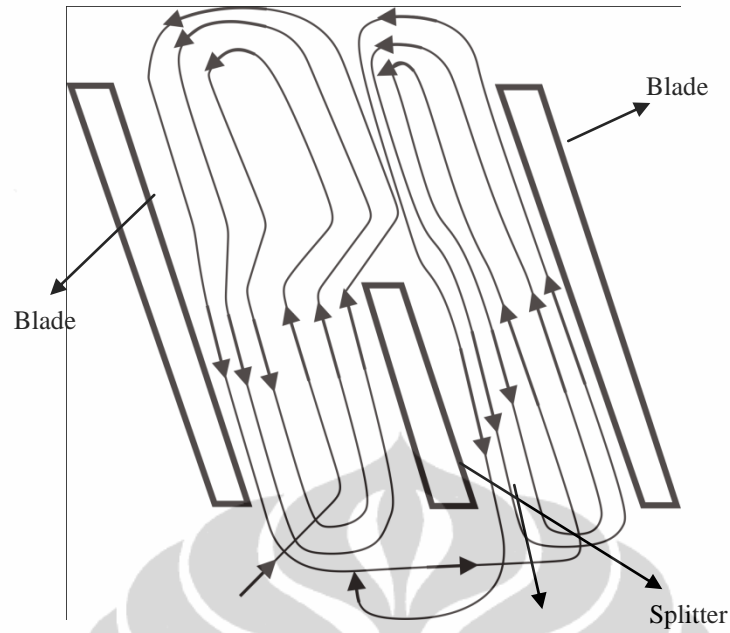


Gambar 7.16 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses roughing impeller diameter 54 mm yang memiliki splitter

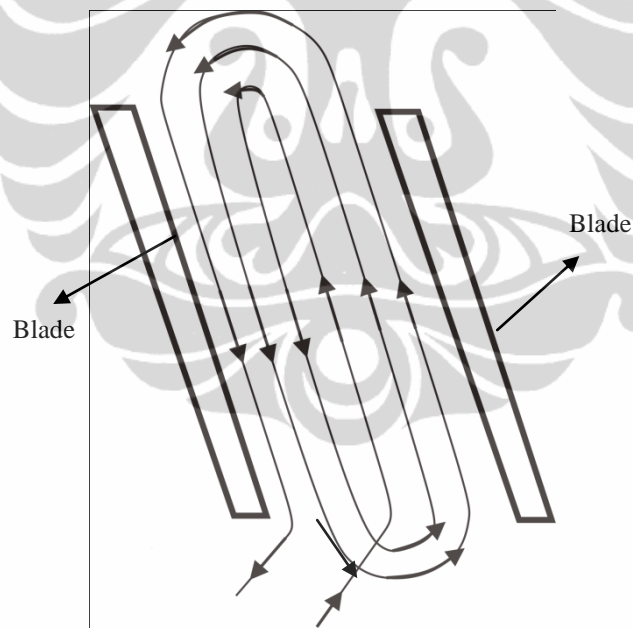


Gambar 7.17 kemungkinan interference antara cutting tool dengan workpiece pada proses roughing impeller diameter 27 mm

Berikut adalah penyederhanaan metode yang dilakukan pada proses roughing.



Gambar 7.18 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 54 mm

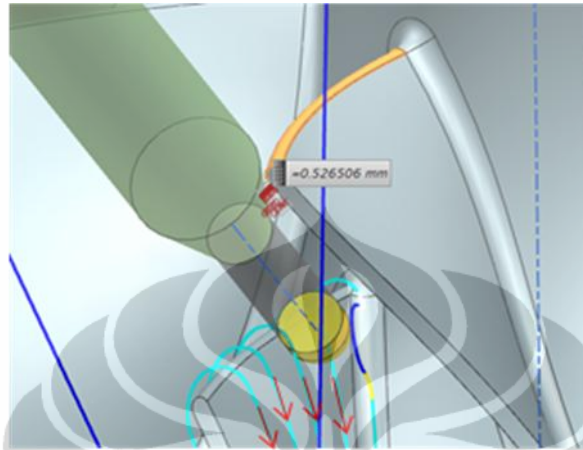


Gambar 7.19 Penyederhanaan metode proses finishing hub pada impeller diameter 27 mm

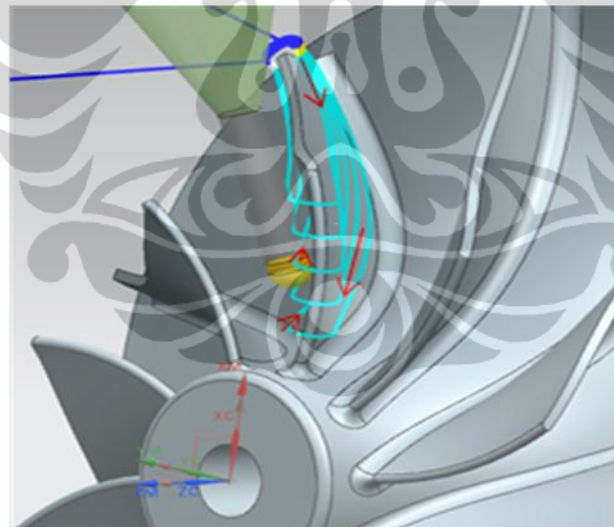
7.3.2 Analisis Toolpath Proses *Finishing Blade*

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, proses *finishing blade* merupakan proses pemesinan yang memiliki resiko paling tinggi dibandingkan dengan proses *roughing* maupun proses *finishing hub*.

Kemungkinan terjadinya *collision* sangat besar disamping itu ketahanan *blade* terhadap ketebalannya juga perlu diperhitungkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, *blade* pada *impeller* merupakan parameter *independent* yang diatur ketebalannya termasuk adanya proses *downscaling* pada *blade* dari *impeller*.



Gambar 7.20 kemungkinan *interference* antara *cutting tool* dengan *workpiece* pada proses finishing *blade impeller* diameter 54 mm yang memiliki *splitter*

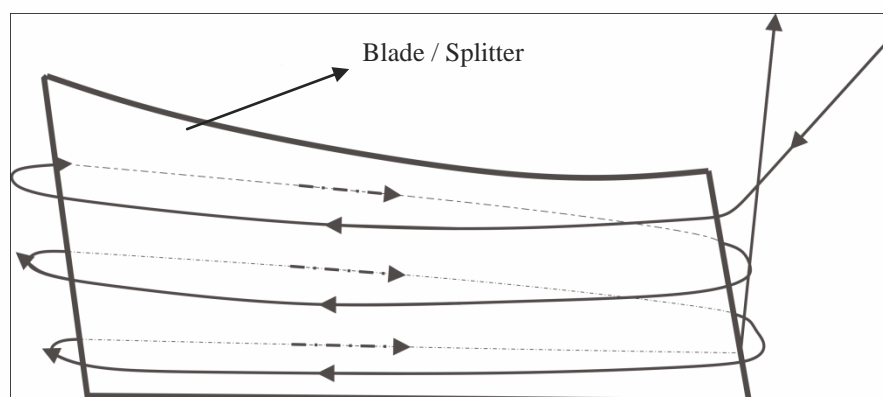


Gambar 7.21 kemungkinan *interference* antara *cutting tool* dengan *workpiece* pada proses finishing *blade impeller* diameter 27 mm

Pada *impeller* dengan diameter 54 mm, *feed rate* diatur pada 1300 mm/min dengan *feeding* 40% sehingga didapatkan *feed* aktual adalah 520 mm/min. Sedangkan pada *impeller* dengan diameter 27 mm, *feed rate* diatur pada 800 mm/min dengan *feeding* 90% sehingga didapatkan *feed* aktual adalah 720 mm/min. Hasil ini menunjukkan bahwa *feed* pada *impeller* dengan diameter 54

mm justru lebih kecil dibandingkan dengan *impeller* dengan diameter 27 mm. Proses *downscaling* yang terjadi justru tidak membuktikan bahwa semakin tipis *blade feed rate* yang diatur semakin kecil tapi yang terjadi adalah sebaliknya. Hal ini membuktikan bahwa *feed rate* bukan hanya tergantung pada ketebalan dari benda yang dibuat tetapi juga berdasarkan kerumitan profil dari *workpiece*.

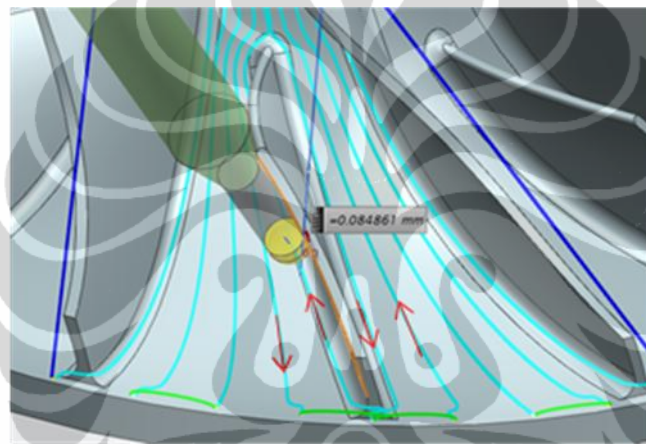
Selain itu, metode yang digunakan baik pada *impeller* diameter 54 mm (pada *blade* maupun *splitternya*) maupun *impeller* diameter 27 mm adalah metode mengelilingi area *blade* berdasarkan *Z level* teratas sampai dengan area terdalam dari *blade* (dari *shroud* menuju *hub*). Metode tersebut adalah metode *peripheral milling* yang berfungsi menjaga *blade* agar tidak patah atau tidak terjadi deformasi. Terdapat metode lain selain *peripheral milling*. Metode tersebut dilakukan dengan menghabiskan material pada salah satu sisi *blade* baru dilanjutkan dengan menghabiskan material pada sisi sebaliknya. Metode tersebut tidak diterapkan karena memiliki resiko yang lebih tinggi untuk menciptakan deformasi pada *blade* yang akan mengakibatkan patahnya *blade* atau *splitter* yang dilakukan proses pemesinan. Metode *peripheral milling* yang dilakukan sebenarnya memiliki dua cara. Tipe yang searah atau pun dua arah. Metode dua arah adalah metode yang dilakukan dengan melakukan penurunan *Z level* pada tiap sisi dan tidak mengelilingi secara terus menerus. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode searah yang pergerakannya selalu mengelilingi *blade* atau *splitter*. Berikut adalah penyederhanaan metode yang dilakukan pada proses *finishing blade* baik pada *impeller* diameter 54 mm maupun *impeller* diameter 27 mm.



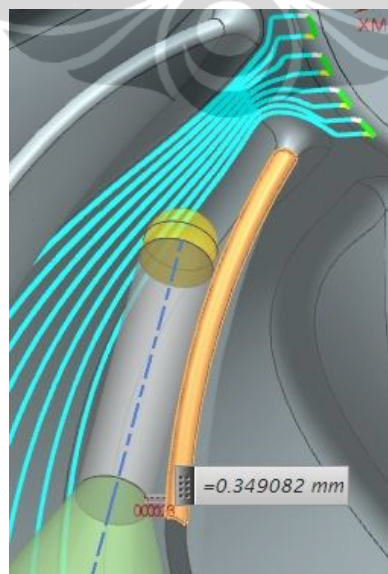
Gambar 7.22 Penyederhanaan metode proses *finishing blade* (pada *blade* maupun *splitter*)

7.3.3 Analisis Toolpath Proses *Finishing Hub*

Proses *finishing hub* memiliki strategi yang berbeda dengan proses *roughing*. Dari alur jalannya *toolpath*, dapat dikatakan bahwa lintasan pahat pada proses *hub finishing* memiliki gerakan yang paling aman dibandingkan dengan proses *roughing* maupun proses *finishin blade* namun karena proses ini menjangkau area yang paling dalam dari ruas *blade* sehingga perlu dilihat kemungkinan terjadinya *collision* pada bagian shank ataupun holder. Dari penelitian yang dilakukan, shank hampir bertabrakan dengan *blade* namun masih dapat dihindari asalkan tidak terjadi getaran yang hebat. Berikut adalah gambar kemungkinan terjadinya *interference* pada proses *finishing hub*.

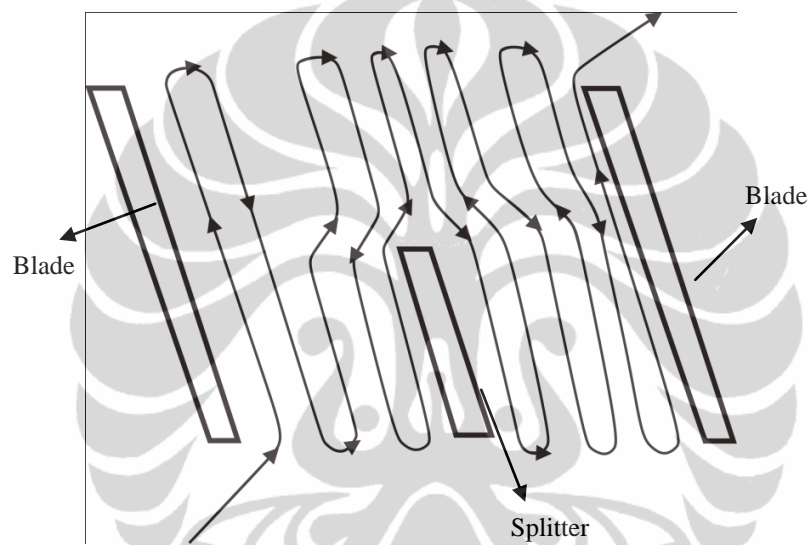


Gambar 7.23 kemungkinan *interference* antara *cutting tool* dengan *workpiece* pada proses *finishing hub* impeller diameter 54 mm yang memiliki *splitter*

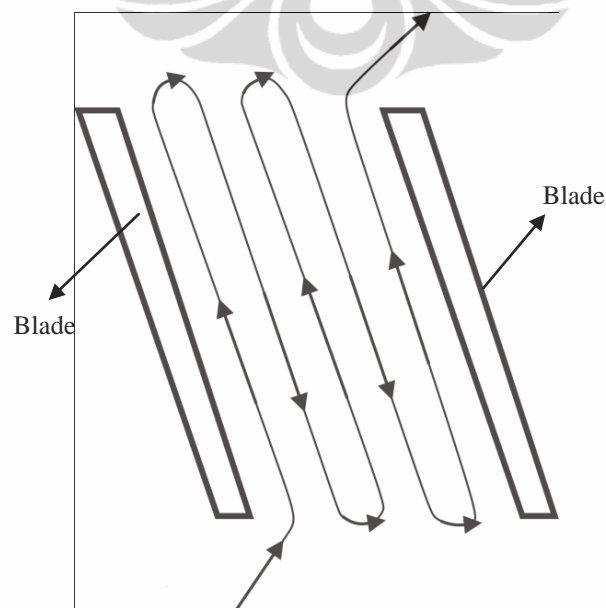


Gambar 7.24 kemungkinan *interference* antara *cutting tool* dengan *workpiece* pada proses *finishing hub* impeller diameter 27 mm

Selain memperhatikan kemungkinan terjadinya *interference* antara *cutting tool* dengan *part*, metode proses *finishing hub* juga dianalisis berdasarkan pola geraknya. Berbeda dengan *proses roughing*, pola gerak proses *finishing hub* lebih sederhana. Metode proses *finishing hub* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara searah atau dua arah (*zig-zag*). Metode searah dapat dilakukan dengan selalu memulai proses *finishing* dari arah *trailing edge* atau pun dari *leading edge*. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *zig-zag* karena lebih cepat dalam melakukan proses pemesinannya. Berikut adalah penyederhanaan metode pada proses *finishing hub*.



Gambar 7.25 Penyederhanaan metode proses *finishing hub* pada impeller diameter 54 mm



Gambar 7.26 Penyederhanaan metode proses *finishing hub* pada impeller diameter 27 mm

7.4 Analisis Kualitas Hasil Pemesinan *Impeller*

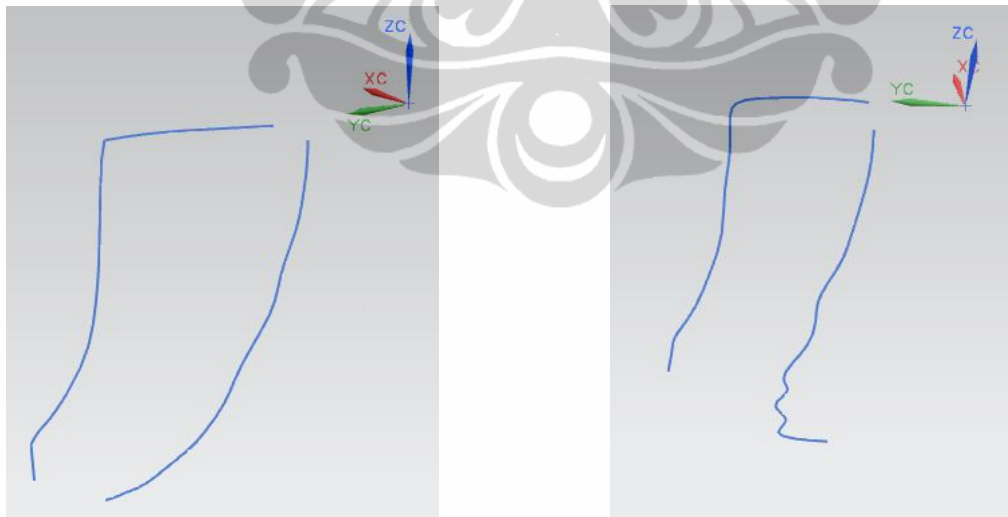
Tiga hal yang diukur pada CMM meliputi, kurva pada *blade* pada bagian *hub* dan *shroud*, ketebalan *blade*, dan jarak antara *blade* dan *splitter* dan jarak antar *blade*. Berikut adalah data hasil pengukuran:

Tabel 7.3 Data koordinat *impeller* dengan *splitter*

x	y	z
-5.576	25.442	-19.508
-5.185	24.235	-19.507
-4.659	23.012	-19.507
-4.256	21.694	-19.394
-3.443	19.583	-18.902
-2.896	17.543	-18.153
-2.376	15.927	-17.345
-1.539	13.904	-16
-0.952	12.925	-15.186
-0.29	11.259	-13.488
-0.009	9.602	-11.438
0.425	8.765	-10.099
0.43	8.764	-10.098
0.789	8.104	-8.865
0.771	7.331	-6.934
0.853	6.896	-5.45
0.959	6.563	-3.93
1.063	6.376	-2.487
1.128	6.315	-1.646
5.715	5.267	-1.87
6.829	6.631	-2.017
8.084	8.339	-2.174
9.322	10.352	-2.328
10.588	13.719	-2.635
9.459	14.781	-4.489
9.906	14.444	-4.028
8.654	15.41	-5.531
6.559	16.996	-7.739
4.971	18.274	-9.527
3.41	19.705	-11.367
1.927	21.69	-13.523
0.484	24.873	-15.868
0.147	25.847	-16.378
0.112	26.516	-17.195
-0.332	26.554	-19.36
10.618	13.776	-2.712

0.031	26.33	-16.641
-22.777	13.365	-16.764
-6.36	16.155	-2.696
-5.222	18.222	-9.687
-13.33	22.659	-16.616
-21.974	13.494	-17.151
-22.708	12.217	-16.929
-5.928	16.031	-3.741
-6.955	15.176	-3.003
10.765	13.35	-3.939
9.437	13.199	-3.038
-0.803	25.672	-16.964
0.477	25.934	-17.551

Point clouds yang didapat hasil pengukuran CMM diubah ke format xls (Microsoft Excel) untuk dibuat koordinat x, y, dan z –nya. Setelah data koordinat didapat, data tersebut dibaca menggunakan *software* Autodesk Inventor sebagai data awal berupa titik kemudian pengeditan gambar dilakukan untuk membentuk kurva dari titik-titik koordinat tersebut. Setelah kurva terbentuk, format data diubah dari format ipt menjadi stp untuk kemudian dibaca pada *software* NX. Tampilan awal kurva yang dibaca pada *software* NX dapat dilihat pada gambar 5.2.

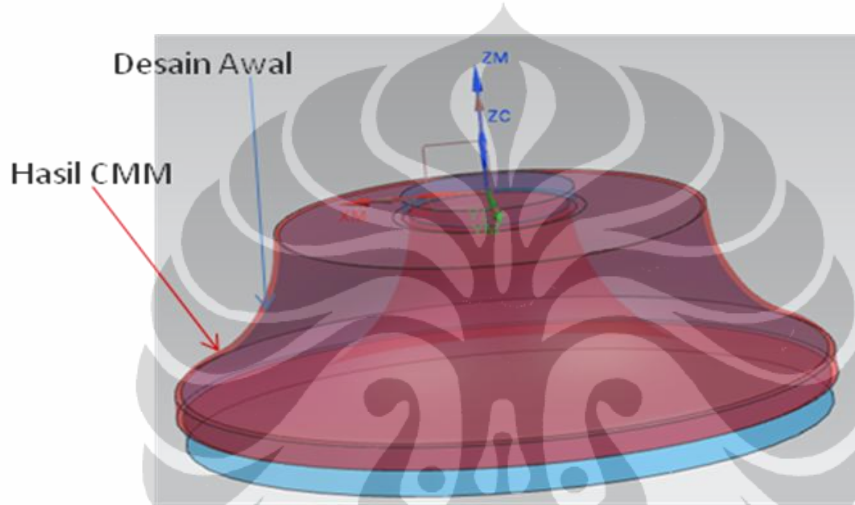


Gambar 7.27 Kurva spline untuk *shroud* dan *hub* pada impeller diameter 54 mm (kiri) dan 27 mm (kanan)

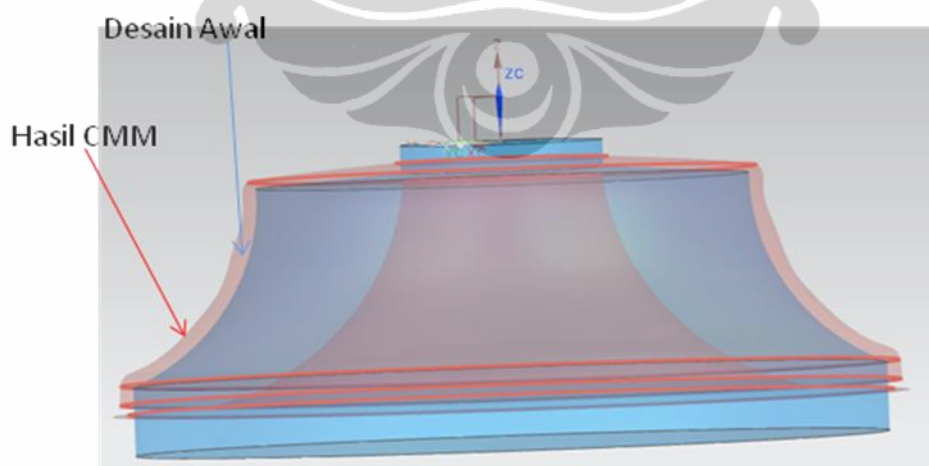
Kurva yang dijadikan contoh adalah kurva pembentuk *shroud* dan kurva pembentuk *hub*. Kedua kurva tersebut diambil berdasarkan area terluar dan area

terdalam pada bagian *blade*. Kedua kurva tersebut mewakili seluruh bagian *shroud* dan *hub* setelah dibentuk *surface* dengan metode *revolve*. *Solid body* tidak terbentuk akibat bentuk kedua kurva tersebut adalah kurva terbuka. Kedua kurva ini akan dibandingkan dengan desain awal yang dilakukan pada *software NX*. Apabila bentuk *shroud* dan *hub* pada kurva hasil pemesinan telah sesuai dengan *shroud* dan *hub* pada desain awal maka *machine ability* dari duralumin yang digunakan tergolong pada kategori yang baik.

Hasil pengukuran CMM ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 7.28 Perbandingan *shroud* hasil pemesinan dengan desain awal impeller diameter 54 mm



Gambar 7.29 Perbandingan *shroud* hasil pemesinan dengan desain awal impeller diameter 27 mm

Pada gambar terlihat bahwa kualitas hasil pemesinan pada *impeller* dengan diameter 54 mm lebih baik dibandingkan dengan kualitas hasil pemesinan pada

impeller dengan diameter 27 mm apabila berdasarkan hasil pengukuran CMM. Akan tetapi, pengukuran CMM memiliki kelemahan yaitu ketidakakuratan sistem pengenaan *touch probe*. Hal ini tidak menjadi masalah saat melakukan perbandingan karena keduanya dilakukan pengukuran dengan cara yang sama. Namun bentuk *shroud* yang tidak sesuai dengan desain awal dapat terjadi karena ukuran *impeller* yang sangat kecil. Selain itu, ketelitian dari operator untuk melakukan strategi pengukuran akan menentukan hasil akhir dari pengecekan kualitas hasil pemesinan.

Berdasarkan hal-hal tersebut, pengecekan kualitas hasil pemesinan perlu dilakukan kembali dengan alat ukur lainnya baik seperti X-ray, *microscope*, dan lain-lain.

7.5 Analisis Cutting Tool

Analisi *cutting tool* dilakukan dengan meninjau hasil akhir dari benda uji yakni *impeller*. Pemilihan *cutting tool* dilakukan berdasarkan geometri dan material dari benda kerja yang diujicobakan. Material benda kerja adalah duralumin (aluminium dural) yang memiliki karakteristik, ulet, kuat, namun ringan. Material benda kerja dipilih berdasarkan fungsi yang umum digunakan pada *impeller* atau part-part yang berhubungan dengan pesawat terbang. Ukuran *cutting tool* dipilih berdasarkan geometri *impeller* yang memiliki bentuk yang rumit, dan memiliki banyak area yang sulit dijangkau. Hal utama yang menentukan ukuran dari *cutting tool* adalah jarak terdekat antara *blade* dan *splitter* atau jarak terdekat antar *blade*. Pada *impeller* dengan *splitter*, jarak terdekat berada antara *blade* dan *splitter*, yakni sekitar 2 mm sampai dengan 3 mm sedangkan pada *impeller* tanpa *splitter* jarak terdekat antar *blade* adalah 1.5 mm sehingga dipilih *cutting tool* berdiameter 2 mm untuk *impeller* dengan *splitter* dan diameter 1 mm untuk *impeller* tanpa *splitter*. Tipe *cutting tool* dipilih tipe *ball end mill* dikarenakan bentuk *impeller* yang terdiri dari bentuk permukaan bebas (*free form surface*) sehingga *ball end mill* yang memiliki fleksibilitas lebih tinggi yang dipilih sebagai *cutting tool* sekalipun digunakan untuk proses *roughing*.

7.6 Analisis Fluida Pendingin

Fluida pendingin termasuk ke dalam parameter yang independen. Artinya, fluida pendingin tidak bergantung pada hasil pemesinan melainkan faktor yang menentukan produk hasil pemesinan memiliki kualitas yang baik atau buruk. Fluida pendingin yang digunakan adalah larutan semi-sintetik. Hasil dari proses pemesinan menunjukkan bahwa fluida pendingin memiliki karakteristik yang cocok baik pada *cutting tool* maupun pada benda kerja. Namun, perlu adanya beberapa penambahan pada fluida pendingin tersebut agar tidak membuat bercak hitam pada permukaan benda kerja. Bercak hitam terjadi diduga sebagai akibat adanya ketidakcocokan antara fluida dengan benda kerja. Fluida pendingin tersebut dikatakan cocok terhadap benda kerja dikarenakan hasil dari proses pemesinan telah sesuai dengan program yang dibuat namun dikatakan tidak cocok karena timbulnya bercak hitam pada beberapa bagian *impeller*.

7.7 Analisis Clamping device

Clamping device yang digunakan mampu meredam getaran pada benda kerja karena hasil pemesinan telah sesuai dengan spesifikasi. Koordinat benda kerja juga tidak mengalami perubahan dikarenakan *clamping device* telah menahan dengan kuat benda kerja selama proses pemesinan berlangsung. *Clamping device* memiliki aksesoris yang berfungsi sebagai penambah tinggi *raw material* sebagai perhitungan terhadap kemungkinan terjadinya *collision* antara *bed* dan *holder*. Awalnya, *clamping device* yang akan digunakan adalah tipe aksesoris dengan ketinggian yang rendah namun memiliki *shaft* sebagai penyangga benda kerja. Keuntungan dari sistem clamping ini adalah tidak perlu digunakannya *shaft* yang semula akan digunakan sebagai penyangga benda kerja. Penyangga benda kerja terdapat pada *raw material* yang memang didesain memiliki ketinggian yang tinggi untuk menghindari terjadinya *collision* antara *bed* dan *holder*.

BAB 8

KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

8.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, pembuatan lintasan pahat pada impeller memiliki empat proses utama, yaitu proses pembuatan shroud, proses roughing, proses finishing blade, dan proses finishing hub.
2. Pada proses roughing impeller diameter 54 mm, terdapat 67 layer plane yang dibagi berdasarkan depth of cut dan 38 lintasan yang dibagi berdasarkan step over. Sedangkan pada proses roughing impeller diameter 27 mm, terdapat 50 layer plane dan 28 lintasan.
3. Pada proses finishing blade, terdapat 125 layer untuk impeller diameter 54 mm dan 100 layer untuk impeller diameter 27 mm.
4. Pada proses finishing hub, terdapat 132 lintasan untuk impeller diameter 54 mm dan 83 lintasan untuk impeller diameter 27 mm.
5. Mesin DMU 50 evo mampu untuk membuat part-part berukuran mini walaupun terdapat penurunan performa sehingga kurang optimal
6. Profil impeller yang rumit membuat sulit untuk dilakukan pengukuran menggunakan mesin CMM sehingga hasil pengukuran belum valid
7. Perhitungan waktu pemesinan saat feed 100% telah sesuai dengan persamaan yang diberikan namun tidak sesuai saat feed pada mesin diubah.

8.2 Saran Penelitian Lebih Lanjut

1. Penggunaan material lain seperti Alloy Mg dan Titanium pada raw material perlu dilakukan untuk mendapatkan data perbandingan dengan material duralumin.
2. Penggunaan material carbide pada cutting tool selain HSS dapat digunakan untuk membandingkan manakah material yang lebih cocok untuk pemesinan impeller dengan material duralumin.

3. Penggunaan optical device saat melakukan pengukuran CMM perlu dilakukan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
4. Penggunaan X-Ray ataupun microscope untuk pengecekan kualitas hasil pemesinan dapat dilakukan
5. Strategi pemesinan pada penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan variasi-variasi yang disediakan oleh software CAM.



REFERENSI

- [1] Zeid, Ibrahim. 2005, *Mastering CAD/CAM*, International Edition 2005, Singapore : McGraw Hill
- [2] Lee, Kunwoo. 1999, *Principle Of CAD/CAM/CAE Systems*, International Edition, USA : Addison Wesley Longman, Inc
- [3] Young, H.T., et al. 2003, *A Five-axis Rough Machining Approach for a Centrifugal Impeller*, London : Springer-Verlag
- [4] (2012, June 8th, 15:05 WIB) [online] <http://www.somaniengineering.com/product.html>
- [5] (2012, June 8th, 15:08 WIB) [online] <http://www.asbucketsteeth.com/casting-parts/cpc-casting-impeller.html>
- [6] (2012, June 8th, 15:25 WIB) [online] <http://www.espare.co.uk/part/lawnmowers/impellers/flymo/turbo-lite-330/p/1626/283/117/402514/657300/lawnmower-impeller-fan.html>
- [7] (2012, June 8th, 15:48 WIB) [online] <http://www.hypersonicind.com/Web-Catalog7.html>
- [8] Siemens NX 8 Documentation
- [9] DORMER Technical Guide
- [10] SECO Cutting Tool Catalogue & Technical Guide Milling 1
- [11] Delcam Powermill Reference Help
- [12] DMG DMU 50/70 Evolution Linear Catalogue
- [13] Boo Young Cutting Tool Catalogue SKRB
- [14] System 3R Clamping Catalogue
- [15] Mitutoyo Crysta Plus M Manual Book

LAMPIRAN



5-axis Universal Machining Centers
DMU 50/70 eVo *linear*

DMG