



SKRIPSI – ME184834

**PERANCANGAN PROSES PRODUKSI *DIES IMPELLER*
DENGAN MESIN CNC DAN PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA
PRODUKSI**

Purwadi Wahyunugroho
NRP. 04211745000013

Dosen Pembimbing

Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SKRIPSI – ME184834

**PERANCANGAN PROSES PRODUKSI *DIES IMPELLER* DENGAN
MESIN CNC DAN PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA PRODUKSI**

Purwadi Wahyunugroho
NRP. 04211745000013

Dosen Pembimbing

Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – ME184834

**DESIGN OF DIES IMPELLER PRODUCTION PROCESS WITH
CNC MACHINE AND CALCULATION OF ESTIMATED
PRODUCTION COSTS**

Purwadi Wahyunugroho
NRP. 04211745000013

Supervisor

Edi Jadmiko, S.T., M.T.
Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN PROSES PRODUKSI *DIES IMPELLER* DENGAN MESIN CNC DAN
PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA PRODUKSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

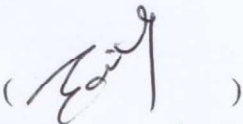
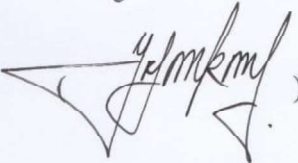
Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PURWADI WAHYUNUGROHO
NRP. 0421174500013

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Edi Jadmiko, S.T., M.T.
NIP. 197807062008011012
2. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
NIP. 196912251997021001

()
()

SURABAYA, JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PROSES PRODUKSI *DIES IMPELLER* DENGAN MESIN CNC DAN
PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA PRODUKSI

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PURWADI WAHYUNUGROHO
NRP. 0421174500013

Disetujui Oleh Kepala Departemen
Teknik Sistem Perkapalan:


Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007



SURABAYA, JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perancangan Proses Produksi *Dies Impeller* Dengan Mesin CNC dan Perhitungan Estimasi Biaya Produksi

Nama Mahasiswa : Purwadi Wahyunugroho
NRP : 0421174500013
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing : 1. Edi Jadmiko, S.T., M.T.
2. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

ABSTRAK

Impeller merupakan komponen yang berputar dari pompa sentrifugal yang berfungsi untuk mentransfer energi dari motor dengan mempercepat cairan dari pusat rotasi. *Impeller* berbentuk silinder dengan *inlet* terbuka untuk menerima cairan yang masuk dan baling-baling untuk mendorong cairan secara radial. Salah satu metode untuk pembuatan *impeller* adalah dengan menggunakan metode pengecoran (*casting*) dengan cetakan pasir. Dalam pengoperasiannya cetakan pasir hanya dapat dipergunakan untuk sekali pemakaian, dan pada proses cetakan tersebut harus direkonstruksi yang tentu saja memerlukan biaya dan tambahan waktu sehingga kurang efisien. Oleh karena itu pembuatan *impeller* dengan cetakan permanen adalah solusi yang tepat. Pada penelitian ini dilakukan perancangan proses produksi cetakan permanen *impeller* dengan mesin CNC (*Computurized Numerical Control*) menggunakan metode simulasi *software MasterCam*. Selain itu juga dilakukan optimasi variasi parameter pemesinan *feed rate*, *retrack rate* dan *depth of cut* dengan metode Taguchi. Dari penelitian diketahui langkah proses pengerjaan cetakan permanen *impeller* serta waktu dan daya pemotongan yang dihasilkan untuk perhitungan estimasi biaya produksi. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, pembuatan cetakan permanen *impeller* memerlukan sepuluh langkah proses pengerjaan yakni *facing*, *pocket*, *contour* (cetakan atas), *surface rough pocket*, *surface finish contour* (cetakan atas), *multi-axis roughing*, *surface finish parallel*, *contour* (cetakan bawah), *surface high speed*, dan *surface finish contour* cetakan bawah. Dari serangkaian proses pengerjaan yang dirancang, dihasilkan waktu total proses pengerjaan selama 1070,50 menit dan daya pemotongan sebesar 6,06917 kWh dengan perhitungan estimasi biaya produksi cetakan permanen *impeller* sebesar Rp. 7.317.650,-.

Kata Kunci: *Impeller*, Cetakan Permanen, Mesin CNC, Parameter Pemesinan, Simulasi, *MasterCam*, Biaya Produksi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Design of Dies Impeller Production Process with CNC Machine and Calculation of Estimated Production Costs

Student Name : Purwadi Wahyunugroho
NRP : 0421174500013
Department : Marine Engineering ITS
Supervisor : 1. Edi Jadmiko, S.T., M.T.
2. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

ABSTRACT

Impeller is a component that rotates from a centrifugal pump which serves to transfer energy from the motor by accelerating the speed of the center of rotation. Cylinder-shaped impellers with open inlets for receiving incoming fluids and propellers to push liquids radially. A method for making impellers is to use a casting method with sand mold. In operating the sand mold can only be used for one use, and in the molding process must be reconstructed which of course requires cost and additional time so it is less efficient. Therefore, making impellers with permanent mold is the right solution. In this study, the design of dies impeller production process with CNC (Computurized Numerical Control) machine was designed using the MasterCam software simulation method. In addition, variations in machining parameters feed rate, retrack rate and depth of cut were also carried out using the Taguchi method. From the research has known the step of dies impeller production process and the time for cutting that used to calculate estimated production costs. Based on the simulation that has been done, for making dies impeller requires ten steps of processing, there are facing, pocket, contour (top die), surface rough pocket, surface finish contour (top die), multi-axis roughing, surface finish parallel, contour (bottom die), surface high speed waterline, and surface finish contour (bottom die). From a series of work processes designed, the total processing time was produced for 1070,50 minutes and cutting power was 6,06917 kWh with estimated production cost of dies impeller is Rp. 7.317.650, -.

Keywords: *Impellers, Permanent Mold, CNC Machines Machining Parameters, Simulation, MasterCam, Production Costs*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Perancangan Proses Produksi *Dies Impeller* Dengan Mesin CNC dan Perhitungan Estimasi Biaya Produksi**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan banyak rasa terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua terkasih, Bapak Belut Siswanto dan Ibuk Catur Handayani, doa mereka membuat penulis mampu melewati segala rintangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Serta kedua saudara penulis Radhita Diana dan Dafa Arvian yang selalu mensupport penulis baik rohani maupun materi yang menjadi penyemangat bagi penulis. Dan seluruh keluarga yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Edi Jadmiko, ST., MT. dan Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa memotivasi dan mengarahkan alur pengerjaan Tugas Akhir penulis.
4. Bapak Beni Cahyono, S.T., M.T. selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan motivasinya kepada penulis.
5. Bapak – bapak dosen dan teknisi Laboratorium MMD yang melayani mahasiswa tugas akhir MMD dalam membantu menyelesaikan tugas akhir.
6. Rekan laboratotium MMD Jayanti, Izzul, Vinka, dan Dhymas yang telah berbagi canda tawa dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Anawati Susi Astuti seorang sosok yang selalu menemani penulis dikala susah maupun senang.
8. Seluruh Teman Lintas Jalur Gasal ‘17 Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan semangat dan support selama perkuliahan.
9. Seluruh keluarga “Kos Fani” yang telah memberikan doa dan dukungannya.
10. Pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi ilmu yang barokah bagi kita semua dan menjadi pedoman untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Latar Belakang Masalah.....	3
2.2 <i>Permanent Die Casting</i>	3
2.3 <i>Impeller</i>	3
2.4 <i>Computerized Numerical Control (CNC)</i>	4
2.5 Jenis-Jenis Mesin CNC <i>Milling</i>	5
2.4.1 Mesin <i>3-axis CNC Milling</i>	5
2.4.2 Mesin <i>4-axis CNC Milling</i>	6
2.4.3 Mesin <i>5-axis CNC Milling</i>	6
2.6 Dasar-Dasar Pemrograman.....	7
2.5.1 Pemrograman <i>Absolute</i>	7
2.5.2 Pemrograman <i>Incremental</i>	8
2.7 Pemrograman CAD/CAM.....	8
2.8 <i>Software MaterCam</i>	9
2.9. Parameter Permesinan	9
2.9.1 Kecepatan Potong (<i>Cutting Speed</i>).....	9
2.9.2 Kecepatan Spindel (<i>Spindle Speed</i>).....	10
2.9.3 Kecepatan Pemakanan (<i>Feedrate</i>).....	10
2.9.4 Kedalaman Pemakanan (<i>Depth of Cut</i>)	11

2.9	Metode Taguchi.....	11
2.9.1	Tabel <i>Orthogonal Array</i>	12
2.9.2	Rasio S/N.....	12
2.10	Analisa Variansi (ANOVA).....	13
2.11	Perhitungan Biaya Produksi.....	13
2.11.1	Komponen Waktu Produksi.....	13
2.11.2	Komponen Biaya Produksi.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		15
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2	Perumusan Masalah.....	16
3.3	Studi Literatur.....	16
3.4	Pengumpulan Data.....	16
3.5	Pembuatan Model <i>Dies Impeller</i>	16
3.6	Desain Proses Permesinan.....	16
3.7	Simulasi.....	17
3.8	<i>Troubleshooting</i>	17
3.9	Perhitungan Waktu Total Produksi dan Daya.....	17
3.10	Perhitungan Biaya Total Proses Produksi.....	17
3.11	Kesimpulan.....	17
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		19
4.1	Desain Model.....	19
4.2	Desain Proses Permesinan pada <i>MasterCam</i>	20
4.2.1	Pemilihan Jenis Permesinan.....	20
4.2.2	Pemilihan <i>Toolpath</i>	21
4.2.3	Pemilihan Pahat.....	22
4.2.4	Variasi Alur Pahat.....	23
4.2.5	Penentuan Parameter Permesinan.....	25
4.3	Simulasi Pengerjaan pada <i>MasterCam</i>	29
4.3.1	<i>Facing</i>	29
4.3.2	<i>Pocket</i>	29
4.3.3	<i>Contour</i> (Cetakan Atas).....	30
4.3.4	<i>Surface Rough Pocket</i>	30
4.3.5	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Atas).....	31

4.3.6	<i>Multiaxis Roughing</i>	31
4.3.7	<i>Surface Finish Parallel</i>	32
4.3.8	<i>Contour</i> (Cetakan Bawah).....	32
4.3.9	<i>Surface High Speed Waterline</i>	33
4.3.10	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Bawah)	33
4.4	Perhitungan Daya Optimal Setiap Proses dengan Metode Taguchi	34
4.4.1	<i>Facing</i>	36
4.4.2	<i>Pocket</i>	37
4.4.3	<i>Contour</i> (Cetakan Atas).....	38
4.4.4	<i>Surface Rough Pocket</i>	39
4.4.5	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Atas)	40
4.4.6	<i>Multiaxis Roughing</i>	41
4.4.7	<i>Surface Finish Parallel</i>	42
4.4.8	<i>Contour</i> (Cetakan Bawah).....	43
4.4.9	<i>Surface High Speed Waterline</i>	44
4.4.10	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Bawah)	45
4.5	Analisa Variasi (ANOVA)	46
4.5.1	<i>Facing</i>	46
4.5.2	<i>Pocket</i>	46
4.5.3	<i>Contour</i> (Cetakan Atas).....	47
4.5.4	<i>Surface Rough Pocket</i>	47
4.5.5	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Atas)	48
4.5.6	<i>Multiaxis Roughing</i>	48
4.5.7	<i>Surface Finish Parallel</i>	49
4.5.8	<i>Contour</i> (Cetakan Bawah).....	49
4.5.9	<i>Surface High Speed Waterline</i>	50
4.5.10	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Bawah)	50
4.6	Perhitungan Nilai Rasio S/N dan Analisa Nilai Rata-Rata Rasio S/N	51
4.6.1	<i>Facing</i>	51
4.6.2	<i>Pocket</i>	52
4.6.3	<i>Contour</i> (Cetakan Atas).....	53
4.6.4	<i>Surface Rough Pocket</i>	54
4.6.5	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Atas)	55

4.6.6	<i>Multiaxis Roughing</i>	56
4.6.7	<i>Surface Finish Parallel</i>	57
4.6.8	<i>Contour</i> (Cetakan Bawah).....	58
4.6.9	<i>Surface High Speed Waterline</i>	59
4.6.10	<i>Surface Finish Contour</i> (Cetakan Bawah)	60
4.7	Perhitungan Waktu Total Produksi	61
4.7.1	Waktu Variabel Proses	61
4.7.2	Komponen Waktu Bebas (t_s)	62
4.7.3	Waktu Permesinan Rata-Rata (t_m)	63
4.8	Perhitungan Biaya Total Produksi.....	63
4.8.1	Biaya Material	63
4.8.2	Biaya Proses atau Biaya Tetap per Tahun	63
4.8.3	Biaya Permesinan	64
4.8.4	Biaya Operasi	65
4.8.5	Biaya Produksi	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1.	Kesimpulan.....	67
5.2.	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		71
BIODATA PENULIS		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Impeller</i>	4
Gambar 2.2 Kontrol Numerik	5
Gambar 2.3 Persumbuan Mesin CNC 3-axis dengan Kaidah Tangan Kanan	6
Gambar 2.4 Persumbuan Mesin CNC 4-axis	6
Gambar 2.5 Persumbuan Mesin CNC -axis	7
Gambar 2.6 Pengukuran Metode <i>Absolute</i>	8
Gambar 2.7 Pengukuran Metode <i>Incrimental</i>	8
Gambar 3.1 Aliran Pengerjaan Tugas Akhir	16
Gambar 4.1 Cetakan Atas.....	19
Gambar 4.2 Cetakan Bawah.....	19
Gambar 4.3 <i>Machine Group Properties</i> Untuk Pengaturan Stock.....	20
Gambar 4.4 Penentuan <i>Stock</i> Pada <i>MasterCam</i>	21
Gambar 4.5 Pemilihan <i>Toolpath</i>	21
Gambar 4.6 Jenis-Jenis Pahat Pada Mesin <i>Milling</i>	22
Gambar 4.7 Contoh Pemilihan Pahat Jenis <i>End Mill</i>	23
Gambar 4.8 Jenis-Jenis Alur Lintasan Pahat.....	24
Gambar 4.9 Alur Lintasan Pahat Untuk Pembuatan Cetakan Atas	24
Gambar 4.10 Alur Lintasan Pahat Untuk Pembuatan Cetakan Bawah	24
Gambar 4.11 Ilustrasi Parameter Permesinan	26
Gambar 4.12 Pengerjaan <i>Toolpath Facing</i>	29
Gambar 4.13 Pengerjaan <i>Toolpath Pocket</i>	30
Gambar 4.14 Pengerjaan <i>Toolpath Contour</i> Cetakan Atas	30
Gambar 4.15 Pengerjaan <i>Toolpath Surface Rough Pocket</i>	31
Gambar 4.16 Pengerjaan <i>Toolpath Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas.....	31
Gambar 4.17 Pengerjaan <i>Toolpath Multiaxis Roughing</i>	32
Gambar 4.18 Pengerjaan <i>Toolpath Surface Finish Parallel</i>	32
Gambar 4.19 Pengerjaan <i>Toolpath Contour</i> Cetakan Bawah.....	33
Gambar 4.20 Pengerjaan <i>Toolpath Surface High Speed Waterline</i>	33
Gambar 4.21 Pengerjaan <i>Toolpath Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah	34
Gambar 4.22 Nilai <i>Unit Horse Power</i> Pahat Carbida	35
Gambar 4.23 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Facing</i>	36
Gambar 4.24 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Pocket</i>	37
Gambar 4.25 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas	38
Gambar 4.26 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	39
Gambar 4.27 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	40
Gambar 4.28 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	41
Gambar 4.29 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	42
Gambar 4.30 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah	43
Gambar 4.31 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	44

Gambar 4.32 Grafik Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah..	45
Gambar 4.33 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Facing</i>	52
Gambar 4.34 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Pocket</i>	53
Gambar 4.35 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas	54
Gambar 4.36 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	55
Gambar 4.37 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	56
Gambar 4.38 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	57
Gambar 4.39 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	59
Gambar 4.40 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah.....	59
Gambar 4.41 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	60
Gambar 4.42 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah	.61
Gambar 4.43 <i>Cycle Time</i> Pengerjaan Cetakan Atas	62
Gambar 4.43 <i>Cycle Time</i> Pengerjaan Cetakan Bawah	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai <i>Cutting Speed</i> Beberapa Bahan	10
Tabel 2.2 Nilai <i>Feed per Tooth</i>	11
Tabel 2.3 Tabel <i>Orthogonal Array</i> 4 Faktor dengan 3 Level.....	12
Tabel 4.1 Pemilihan Pahat Untuk Setiap <i>Toolpath</i> Cetakan Atas	22
Tabel 4.2 Pemilihan Pahat Untuk Setiap <i>Toolpath</i> Cetakan Bawah	23
Tabel 4.3 Nilai <i>Cutting Speed</i> Untuk Pahat Carbida.....	26
Tabel 4.4 Nilai <i>Feed per Tooth</i> Untuk Pahat Carbida.....	27
Tabel 4.5 Data Pahat <i>Face Endmill</i>	27
Tabel 4.6 Jenis, Diameter, dan Material Pahat.....	28
Tabel 4.7 Kecepatan Putaran Spindel Masing-Masing Jenis Pahat.....	28
Tabel 4.8 <i>Feedrate</i> Untuk Masing-Masing Pahat	28
Tabel 4.9 Kedalaman Pemakanan <i>Axial</i> dan <i>Radial</i>	29
Tabel 4.10 Nilai Parameter Proses <i>Facing</i>	36
Tabel 4.11 Nilai Respon Daya Proses <i>Facing</i>	36
Tabel 4.12 Nilai Parameter Proses <i>Pocket</i>	37
Tabel 4.13 Nilai Respon Daya Proses <i>Pocket</i>	37
Tabel 4.14 Nilai Parameter Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas.....	38
Tabel 4.15 Nilai Respon Daya Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas	38
Tabel 4.16 Nilai Parameter Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	39
Tabel 4.17 Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	39
Tabel 4.18 Nilai Parameter Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	40
Tabel 4.19 Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	40
Tabel 4.20 Nilai Parameter Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	41
Tabel 4.21 Nilai Respon Daya Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	41
Tabel 4.22 Nilai Parameter Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	42
Tabel 4.23 Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	42
Tabel 4.24 Nilai Parameter Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah.....	43
Tabel 4.25 Nilai Respon Daya Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah.....	43
Tabel 4.26 Nilai Parameter Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	44
Tabel 4.27 Nilai Respon Daya Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	44
Tabel 4.28 Nilai Parameter Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah	45
Tabel 4.29 Nilai Respon Daya Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah	45
Tabel 4.30 Analisa Varian Proses <i>Facing</i>	46
Tabel 4.31 Analisa Varian Proses <i>Pocket</i>	46
Tabel 4.32 Analisa Varian Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas.....	47
Tabel 4.33 Analisa Varian Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	47
Tabel 4.34 Analisa Varian Proses <i>Facing Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	48
Tabel 4.35 Analisa Varian Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	48
Tabel 4.36 Analisa Varian Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	49

Tabel 4.37 Analisa Varian Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah	49
Tabel 4.38 Analisa Varian Proses <i>Surface Hiagh Speed Waterline</i>	50
Tabel 4.39 Analisa Varian Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah.....	50
Tabel 4.40 Nilai Rasio S/N Proses <i>Facing</i>	51
Tabel 4.41 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Facing</i>	51
Tabel 4.42 Nilai Rasio S/N Proses <i>Pocket</i>	52
Tabel 4.43 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Pocket</i>	52
Tabel 4.44 Nilai Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas.....	53
Tabel 4.45 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Atas.....	53
Tabel 4.46 Nilai Rasio S/N Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	54
Tabel 4.47 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Rough Pocket</i>	54
Tabel 4.48 Nilai Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas	55
Tabel 4.49 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Atas ...	55
Tabel 4.50 Nilai Rasio S/N Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	56
Tabel 4.51 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Multiaxis Roughing</i>	56
Tabel 4.52 Nilai Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	57
Tabel 4.53 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Parallel</i>	57
Tabel 4.54 Nilai Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah.....	58
Tabel 4.55 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Contour</i> Cetakan Bawah.....	58
Tabel 4.56 Nilai Rasio S/N Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	59
Tabel 4.57 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface High Speed Waterline</i>	59
Tabel 4.58 Nilai Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah	60
Tabel 4.59 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses <i>Surface Finish Contour</i> Cetakan Bawah.....	60
Tabel 4.60 Waktu dan Daya Total Proses Permesinan.....	62
Tabel 4.61 Harga Mesin dan Peralatan.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kegiatan industri manufaktur sering berurusan dengan meningkatnya permintaan dari customer. Kegiatan manufaktur dituntut melakukan pengembangan metode produksi secara terus menerus agar lebih kompetitif dalam membuat produk seperti perubahan yang berkelanjutan dan meningkatkan fleksibilitas dari sistem produksi. Pengembangan-pengembangan tersebut memiliki tujuan utama yaitu mendapatkan waktu proses produksi yang lebih singkat, produk yang murah, dan performa terbaik dari produk. Salah satu contoh industri manufaktur adalah industri pengecoran logam dan produk yang dihasilkan adalah *impeller*.

Dalam proses pengecoran logam terdapat beberapa macam cetakan yang digunakan. Cetakan yang biasa digunakan antara lain cetakan permanen (cetakan logam) dan cetakan tidak permanen (cetakan pasir). Pada umumnya industri pengecoran media cetaknya menggunakan cetakan pasir (*sand casting*). Dalam pengoperasiannya cetakan pasir dibuat secara manual sehingga dimensinya kurang presisi dan hanya dapat dipergunakan untuk satu kali pemakaian serta pada proses cetakan tersebut harus direkonstruksi yang tentu saja memerlukan biaya dan tambahan waktu. (Cahyo Utomo, 2017)

Cetakan permanen (*permanent mold*) yaitu jenis cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang dan biasanya cetakan ini terbuat dari material logam. Dengan menggunakan cetakan logam akan menghasilkan hasil produk cor yang lebih ekonomis baik dari kualitas maupun kuantitas. Dengan cetakan logam (*permanent mold*) ini walaupun investasi awal relatif lebih mahal, namun untuk jumlah produksi yang lebih banyak, penggunaan cetakan logam akan menguntungkan dan cetakan ini dapat digunakan berulang-ulang. Teknologi yang dapat digunakan untuk memproduksi *permanent mold* untuk *impeller* adalah mesin CNC (*computerized numerical control*).

Salah satu *software* yang digunakan untuk pemrograman CNC adalah *software MasterCam*. Dengan menggunakan *software MasterCam* seorang programmer hanya perlu membuat gambar benda kerja serta merencanakan parameter permesinan yang akan digunakan. Setelah itu secara otomatis perintah-perintah proses pengerjaan benda kerja akan dibuat oleh *software*. Perintah-perintah tersebut akan diubah ke dalam bentuk bahasa numerik (*G-Code*) yang dapat dimengerti oleh mesin CNC dan kemudian ditransfer ke mesin CNC untuk dieksekusi. Tetapi sebelum mengeksekusi perintah langsung pada mesin CNC, di dalam *software MasterCam* dapat mengeksekusi perintah tersebut dalam bentuk simulasi, sehingga apabila ada kesalahan bisa diidentifikasi. Simulasi bertujuan untuk mengurangi resiko kesalahan maupun kecelakaan kerja pada saat perintah *G-code* dieksekusi langsung di mesin CNC. (Yuhdyadi, 2016)

Biaya produksi merupakan akumulasi biaya yang terjadi saat proses produksi suatu bahan. Biaya produksi dipengaruhi biaya material, proses produksi, dan biaya tak langsung lainnya yang terjadi saat proses produksi. Perhitungan biaya produksi ini digunakan pada bidang industri manufaktur untuk mengetahui biaya sebenarnya dalam

pembuatan suatu produk komponen mesin sehingga dapat diperkirakan berapa keuntungan yang nantinya akan didapatkan. (Atmadio, 2018)

Fokus dari penelitian ini adalah perhitungan waktu produksi, konsumsi daya dan estimasi biaya produksi cetakan permanen *impeller* menggunakan mesin CNC yang disimulasikan melalui *software MasterCam*. Dari penelitian ini dapat diketahui parameter permesinan yang paling optimal dan estimasi biaya produksi cetakan permanen *impeller* tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana parameter permesinan yang digunakan untuk proses produksi *dies impeller* dengan CNC ?
2. Bagaimana proses perhitungan waktu total produksi *dies impeller* dengan CNC?
3. Bagaimana proses perhitungan estimasi biaya produksi *dies impeller* dengan CNC?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menegaskan dan lebih memfokuskan pengerjaan tugas akhir ini, maka akan dibatasi permasalahan-permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Hanya merancang proses produksi untuk *dies impeller* dengan jumlah untuk *impeller* dengan jumlah *blade impeller* 6 dengan diameter 341.6 mm.
2. Pembuatan *dies impeller* hanya sebatas simulasi pada *Software MasterCam*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui parameter permesinan yang paling optimal digunakan pada saat proses produksi *dies impeller* menggunakan mesin CNC.
2. Untuk mengetahui kebutuhan waktu total dan daya pada proses produksi *dies impeller* dengan menggunakan mesin CNC.
3. Untuk mengetahui hasil perhitungan estimasi biaya produksi *dies impeller* menggunakan mesin CNC.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui parameter permesinan yang paling optimal digunakan pada saat proses produksi *dies impeller* menggunakan mesin CNC.
2. Mengetahui kebutuhan waktu total dan daya proses produksi *dies impeller* dengan menggunakan mesin CNC.
3. Mengetahui estimasi biaya produksi *dies impeller* menggunakan mesin CNC.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Latar Belakang Masalah

Pada penelitian ini dibahas mengenai pengoptimalan parameter permesinan untuk mendapatkan simulasi pemrograman pengerjaan *Dies Impeller. Software* yang digunakan yaitu *MasterCam* dengan *constraint* pengoptimalannya berupa pemilihan parameter permesinan seperti *cutting speed, feedrate, toolpath* dan *depth of cut* terhadap benda kerja yang membutuhkan konsumsi daya yang paling kecil untuk proses pengerjaan *dies impeller*. Dalam proses perancangan yang harus direncanakan adalah pemilihan *toolpath*. *Toolpath* merupakan menu yang disediakan dalam *Software MasterCam* untuk pemilihan jenis pengerjaan sesuai bentuk benda dari *raw material* menjadi bentuk seperti desain.

Dalam penelitian ini dilakukan pengoptimalan parameter-parameter permesinan CNC untuk proses pengerjaan *dies impeller* dengan menambahkan *constraint* berupa penghitungan parameter permesinan, antara lain:

- a. Material benda kerja dan jenis pahat, mempengaruhi besarnya *cutting speed*.
- b. *Cutting Speed*, mempengaruhi besarnya RPM mesin.
- c. RPM, mempengaruhi besarnya *feeding*.
- d. *Feeding*, mempengaruhi waktu pengerjaan.

Semua parameter tersebut dihitung untuk mendapatkan optimasi permesinan berupa hasil kombinasi parameter yang paling optimal. *Toolpath* atau jenis pengerjaan dipilih sesuai langkah proses pengerjaan dan tipe mesin yang dipakai. Untuk proses produksi *dies impeller* digunakan mesin tipe *milling* atau frais 5 axis. Tiap *toolpath* memiliki fungsi yang berbeda apakah untuk pengerjaan *roughing* atau *finishing* dan pengerjaan lainnya.

2.2 Permanent Die Casting

Permanent die casting adalah pembuatan logam dengan cetakan dipadukan dengan tekanan hidrostatik. Cara ini tidak praktis untuk pengecoran yang berukuran besar dan ketika menggunakan logam dengan titik didih tinggi. Logam bukan baja seperti aluminium, seng, timah, magnesium, perunggu bila dibuat dengan cara ini hasilnya baik. Cetakan ini terdiri atas dua atau lebih bagian yang digabung dengan sekrup, klem, plat atau alat lain yang dapat dilepas setelah produk mengeras. Pada umumnya, *permanen molds* dibuat dari *close-grain* dan dijepit satu sama lain. Cetakan ini biasanya dilapisi dengan bahan perekat tahan panas (*heatresisting wet mixture*) dan jelaga yang akan menjaga cetakan agar tidak lengket dan mengurangi efek dingin pada logam.

2.3 Impeller

Impeller adalah komponen yang berputar dari pompa sentrifugal, biasanya terbuat dari besi, baja, perunggu, kuningan, aluminium, *stainlees steel* atau plastik, berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan/fluida yang dipompa secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara

terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan/fluida yang masuk sebelumnya.



Gambar 2.1 *Impeller*
(Sumber: <https://www.worldpump.com>)

2.4 *Computerized Numerical Control (CNC)*

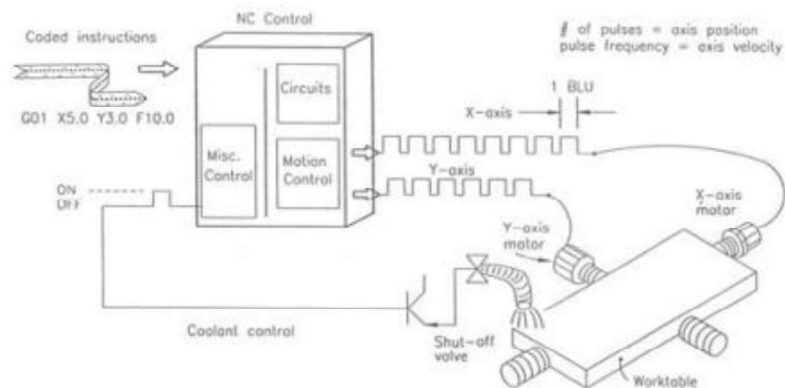
Computerized Numerically Controlled, disingkat CNC, merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya di mana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomasi sederhana menggunakan CAM. Kata NC sendiri adalah singkatan dalam bahasa Inggris dari kata Numerical Control yang artinya "kontrol numerik". Mesin NC pertama diciptakan pertama kali pada tahun 1940-an dan 1950-an, dengan memodifikasi mesin perkakas biasa. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan kedalam sistem oleh perekam kertas. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan mesin perkakas modern yang disebut Mesin CNC yang dikemudian hari telah merevolusi proses desain. Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin-mesin CNC dibangun untuk menjawab tantangan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk massal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat. (Wijanarka, 2013)

Numeric Control (NC) adalah suatu kendali mesin atas dasar informasi digital, ini diperkenalkan di area pabrikasi. NC adalah bermanfaat untuk produksi rendah dan medium yang memvariasikan produksi item, di mana bentuk, dimensi, rute proses, dan pengerjaan dengan mesin bervariasi. Mesin perkakas NC meliputi mesin dengan operasi tujuan tunggal, yang memberikan informasi kuantitatif seperti pengerjaan dengan mesin operasi yang disajikan oleh suatu komputer kendali dengan program *database* yang menyimpan instruksi secara langsung untuk mengendalikan alat – alat bermesin CNC. Kode data diubah untuk satu rangkaian perintah, yang mana servo mekanisme, seperti suatu pijakan motor yang berputar sesuai jumlah yang telah

ditetapkan, memperbaiki dengan masing-masing mengemudi dari suatu meja pekerjaan dan suatu alat untuk melaksanakan suatu pengerjaan dengan mesin dan gerakan yang ditetapkan oleh suatu sistem pengulangan tertutup atau terbuka. CNC yang dikendalikan dapat melakukan pekerjaan berbentuk linier, lingkaran, atau sisipan berbentuk parabola, yang mana buatan perangkat lunak.

Prinsip kerja NC/CNC secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pemrogram membuat program CNC sesuai produk yang akan dibuat dengan cara pengetikan langsung pada mesin CNC maupun dibuat pada komputer dengan perangkat lunak pemrograman CNC.
2. Program CNC tersebut, lebih dikenal sebagai *G-Code*, seterusnya dikirim dan dieksekusi oleh prosesor pada mesin CNC menghasilkan pengaturan motor servo pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak melakukan proses permesinan hingga menghasilkan produk sesuai program. (Amrullah, 2010)

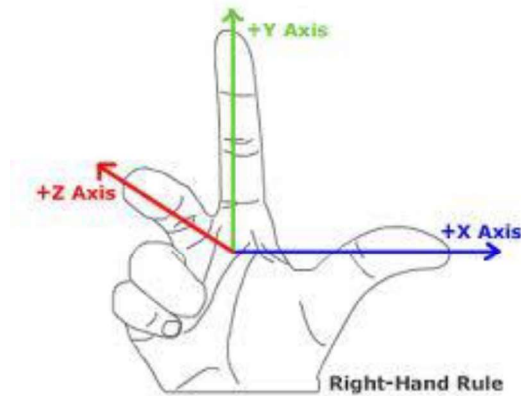


Gambar 2.2 Kontrol *Numerik*
(Sumber: Harizzal Ikhlash, 2017)

2.5 Jenis-Jenis Mesin CNC Milling

2.4.1 Mesin 3-axis CNC Milling

Mesin CNC dengan sistem persumbuan 3-axis, untuk memudahkan penunjukkan persumbuan mesin CNC 3-axis, operator berhadapan dengan mesin, lalu buka jari-jari tangan kanan X,Y, dan Z (kaidah tangan kanan) seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Persumbuan Mesin CNC 3-axis dengan Kaidah Tangan Kanan
(Sumber: <https://lauwtjunnji.weebly.html>)

2.4.2 Mesin 4-axis CNC Milling

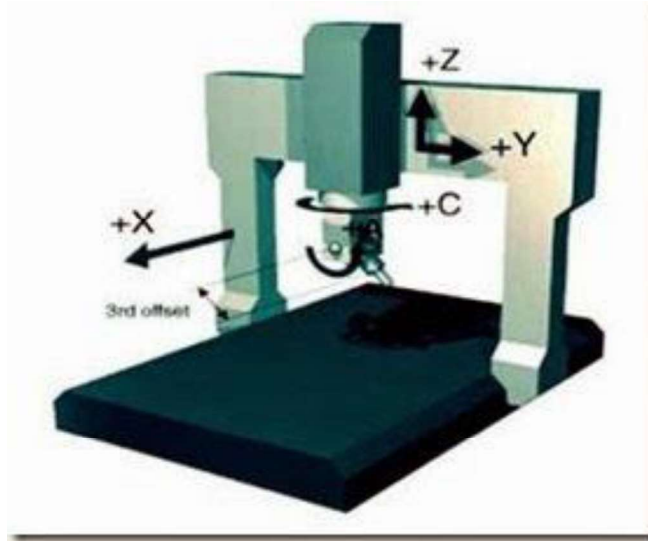
Permesinan 4 *axis* adalah proses permesinan dengan mesin CNC yang memiliki empat arah gerak axis yakni X, Y, Z, dan A. Tujuan dari dirancangnya sistem 4 *axis* pada mesin CNC adalah supaya mesin mampu menjangkau sisi benda kerja yang tidak bisa dijangkau oleh sistem 3 axis (X, Y, Z) yang konvensional, tujuannya agar proses lebih cepat dan hasil produk lebih sempurna.



Gambar 2.4 Persumbuan Mesin CNC 4-axis
(Sumber: Jatdevil.blogspot.com)

2.4.3 Mesin 5-axis CNC Milling

Sumbu CNC mengacu pada kemampuan mesin CNC untuk melakukan lima sumbu yang berbeda secara bersamaan, sebagian besar produsen menggambarkan pergerakan CNC mesin dimulai dengan tiga sumbu utama X,Y,Z, kemudian ditambah A dan C. Sumbu Z adalah sejajar dengan poros bangku, dua lainnya sumbu yang disediakan oleh mesin. Kemampuan untuk memutar mengenai sumbu X dan Y. Sumbu A adalah axis parallel dan berputar pada sumbu X. Axis C berputar sejajar dengan sumbu Y. Sumbu Z merupakan gerakan pemakanan pada mesin.



Gambar 2.5 Persumbuan Mesin CNC 5-axis
(Sumber: Jatdevil.blogspot.com)

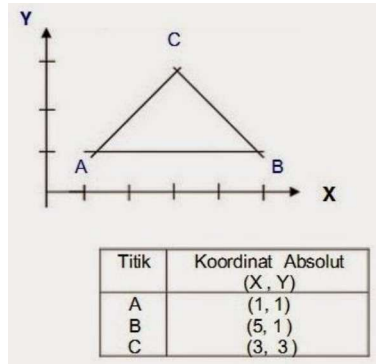
Mengenai mesin 5 axis mempunyai beberapa manfaat, yaitu dapat membuat bentuk kompleks, dakan satu *setup* pada gilirannya hal ini mengurangi waktu dan meningkatkan hasil produksi. Selain itu dengan mengurangi beberapa *setup* waktu dan kesalahan dapat dikurangi.

2.6 Dasar-Dasar Pemrograman

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan seorang programmer sebelum menggunakan mesin CNC, pertama mengenal beberapa sistem koordinat yang ada pada mesin CNC, yaitu sistem koodinat kartesius, yang terdiri dari koordinat mutlak (absolut) dan koordinat relatif (incremental). Selanjutnya menentukan sistem koordinat yang akan digunakan dalam pemograman. Apakah program akan menggunakan sistem pemogramman metode absolut atau inkremental.

2.5.1 Pemrograman *Absolute*

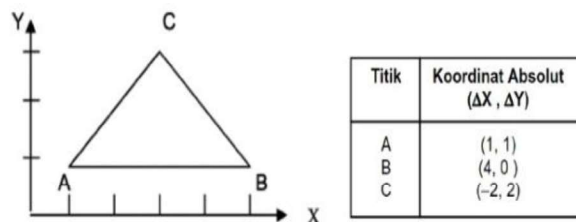
Pemrograman absolut adalah pemrograman yang dalam menentukan titik koordinatnya selalu mengacu pada titik nol benda kerja. Kedudukan titik dalam benda kerja selalu berawal dari titik nol sebagai acuan pengukurannya. Sebagai titik referensi benda kerja letak titik nol sendiri ditentukan berdasarkan bentuk benda kerja dan keefektifan program yang akan dibuat.



Gambar 2.6 Pengukuran Metode *Absolute*
(Sumber: *desainmanufaktur.bayuwiro.net*)

2.5.2 Pemrograman *Incrimental*

Sistem pemrograman inkremental dikenal juga dengan sistem pemrograman berantai atau relative koordinat. Penentuan pergerakan alat potong dari titik satu ke titik berikutnya mengacu pada titik pemberhentian terakhir alat potong. Penentuan titik setahap demi setahap. Kelemahan dari sistem pemrograman ini, bila terjadi kesalahan dalam penentuan titik koordinat, penyimpangannya akan semakin besar.



Gambar 2.7 Pengukuran Metode *Incrimental*
(Sumber: *desainmanufaktur.bayuwiro.net*)

2.7 Pemrograman CAD/CAM

Computer Aided Manufacturing (CAM) adalah fungsi dari *software* komputer untuk mengontrol mesin dan peralatannya dalam proses peremesinan benda kerja. CAM bertujuan untuk membuat proses produksi menjadi lebih cepat, dengan dimensi yang lebih presisi dan konsisten. *CAM software* digunakan dalam sistem komputer untuk memudahkan *programer* dalam menghasilkan bentuk kontur dan permukaan yang kompleks (permesinan produk artistik) tanpa menggunakan perhitungan formula matematis yang rumit. Dalam proses manufaktur suatu produk secara umum diawali dengan pembuatan konsep desain produk tersebut, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan model 3D menggunakan sistem *Computer Aided Design* (CAD). Setelah

permodelan menggunakan sistem CAD selesai, maka model produk tersebut ditransfer ke dalam sistem CAM. Dengan sistem CAM akan dilakukan pembuatan lintasan yang akan dilalui *cutter (toolpath strategy)* diatas produk 3D yang kita buat. Lintasan *cutter* di dalam sistem CAM ini nantinya digunakan sebagai lintasan *cutter* pada proses permesinan sesungguhnya di mesin CNC dengan bantuan NC, dilakukan *post processing* pada lokasi *cutter (Cutter Location/CL data)* di mana mendefinisikan lintasan *cutter*. Dengan *post processor*, maka CL data dapat diubah menjadi G-Code yang dapat dibaca oleh mesin CNC.

2.8 Software MaterCam

MasterCam adalah salah satu program CAM yang cukup populer. *Software MasterCam* memungkinkan pengerjaan mendesain, kemudian merencanakan proses pembuatannya melalui simulasi yang dilaksanakan secara berurutan atau simultan dan kemudian membuatnya menjadi suatu program NC. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computerized Numerical Control*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi.

Mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO. Sistem kerja teknologi CNC ini akan lebih sinkron antara komputer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi massal. Dengan dirancangnya mesin perkakas CNC dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan operator selama mesin beroperasi. Untuk mengoperasikan mesin-mesin CNC diperlukan *software*. *Software* yang digunakan adalah operating sistem *software* dan *machine interface software*. *Software* digunakan untuk *Operating system* menginterpretasikan program korespondensi antara kontrol mesin. *Machine interface* mengoperasikan link antara NC dan membangkitkan sinyal dengan drive dari *software* digunakan untuk komputer dan mesin CNC sehingga mesin dapat beroperasi. Mesin CNC yang terhubung dengan komputer tidak hanya memungkinkan operator untuk menjalankan program tetapi juga memodifikasi program tersebut, baik setelah diinputkan ataupun dijalankan.

2.9. Parameter Permesinan

Beberapa parameter yang mempengaruhi proses permesinan/penyayatan pada mesin *milling* antara lain kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan *spindle*, kecepatan pemotongan (*feedrate*), dan kedalaman pemakanan (*depth of cut*).

2.9.1 Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Kecepatan potong merupakan kecepatan gerak putar pahat, yang dinyatakan dalam meter/menit. Kecepatan gerak pahat tergantung dari bahan benda kerja yang

diproses dan bahan dari pahat potong itu sendiri, untuk mencari kecepatan pemotongan dapat dihitung dengan rumus:

$$C_s = \frac{\pi D n}{1000} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

C_s = *Cutting Speed* (m/menit)

D = Diameter Pahat (mm)

n = Putaran *Spindle* (rpm)

Recommended Cutting Speeds

Milling Speeds for High Speed Steel Tools	
Material	Cutting Speed in Surface ft/min
Magnesium	300
Aluminum	250
Brass and Bronze	150
Copper	100
Cast Iron (Soft)	80
Cast Iron (Hard)	60
Mild Steel	90
Cast Steel	80
Alloy Steel (Hard)	40
Tool Steel	50
Stainless Steel	60
Titanium	50
High Manganese Steel	30

Note: Double Speed for Carbide Cutting Tools

Tabel 2.1 Nilai *Cutting Speed* Beberapa Bahan
(Sumber: teknikmesinan.blogspot)

2.9.2 Kecepatan Spindel (*Spindle Speed*)

Kecepatan putaran mesin adalah kemampuan kecepatan putaran mesin dalam satu menit. Dalam hal ini mengingat nilai kecepatan potong untuk setiap jenis bahan sudah ditetapkan secara baku, maka komponen yang bisa diatur dalam proses penyayatan adalah putaran mesin/benda kerja. Nilai putaran *spindle* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1).

2.9.3 Kecepatan Pemakanan (*Feedrate*)

Kecepatan Pemakanan atau gerak makan (f) adalah jarak lurus yang ditempuh pisau dengan laju konstan relatif terhadap benda kerja dalam satuan waktu, biasanya satuan gerak makan yang digunakan adalah mm/menit.

$$V_f = n f z Z \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

V_f = Kecepatan pemotongan (mm/menit)

n = Kecepatan *spindle* (rpm)

f_z = Kecepatan potong per mata potong (mm/mata sayat)

Z = Jumlah mata potong

Recommended Tool Feed

Material	Tool Feed (in./tooth/rev)		
	Face Mill	Side Mill	End Mill
Magnesium	.005-.020	.004-.010	.005-.010
Aluminum	.005-.020	.004-.010	.005-.010
Brass and Bronze	.004-.020	.004-.010	.005-.010
Copper	.004-.010	.004-.007	.004-.008
Cast Iron (Soft)	.004-.016	.004-.009	.004-.008
Cast Iron (Hard)	.004-.010	.002-.006	.002-.006
Mild Steel	.004-.010	.002-.007	.002-.010
Alloy Steel (Hard)	.004-.010	.002-.007	.002-.006
Tool Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006
Stainless Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006
Titanium	.004-.008	.002-.006	.002-.006
High Manganese Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006

Note: Double Speed for Carbide Cutting Tools

Tabel 2.2 Nilai *Feed Per Tooth*
(Sumber: teknikmesinan.blogspot)

2.9.4 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar perlu memperhatikan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan. Besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan pemakanan dan juga dari diameter pahat tersebut. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil.

2.9 Metode Taguchi

Metode taguchi adalah salah satu metode yang digunakan dalam kegiatan *off line quality control* pada tahap desain proses produksi, yang dimaksud dengan *off line quality control* adalah aktivitas pengendalian kualitas dalam perancangan produk (Daniel, 2009). Dalam metode taguchi digunakan matrik yang disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.

2.9.1 Tabel *Orthogonal Array*

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu metode dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh. Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 4 faktor dengan 3 level, maka jika menggunakan *full factorial* akan diperlukan 3^4 buah percobaan. Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi sehingga akan lebih efisien.

Experiment no.	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabel 2.3 Tabel *Orthogonal Array* 4 Faktor dengan 3 Level

2.9.2 Rasio S/N

Rasio S/N digunakan untuk memilih level faktor-faktor yang memiliki kontribusi paling optimal pada pengurangan variansi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data (paling sedikit dua untuk satu trial) ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variansi. (Bagus, 2015)

Rumus S/N Ratio:

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \dots\dots\dots (2.3)$$

MSD (*Mean Square Deviation*) memiliki 3 jenis, tergantung dari karakteristik kualitas yang dipakai, yaitu *smaller the better*, *nominal is the best*, *larger the better*.

- a. *Smaller the better*

$$\text{MSD} = (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots) / n$$

- b. *Nominal is the better*

$$\text{MSD} = \left[\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \right]^{-1}$$

c. *Larger the better*

$$MSD = \left(\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \frac{1}{y_3^2} + \dots \right) / n$$

Dimana:

y_1, y_2, y_3, \dots = Hasil Percobaan

2.10 Analisa Variansi (ANOVA)

Analysis of variance atau ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariate yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya. Analisis varian termasuk dalam kategori statistik parametric. Sebagai alat statistika parametric, maka untuk dapat menggunakan rumus ANOVA harus terlebih dahulu perlu dilakukan uji asumsi meliputi normalitas, heterogenitas dan random sampling. (Bagus, 2015)

Analisis varian dapat dilakukan untuk menganalisis data yang berasal dari berbagai macam jenis dan desain penelitian. Analisis varian banyak dipergunakan pada penelitian-penelitian yang banyak melibatkan pengujian komparatif yaitu menguji variabel terikat dengan cara membandingkannya pada kelompok-kelompok sampel independen yang diamati.

2.11 Perhitungan Biaya Produksi

Beberapa komponen yang menjadi parameter tolak ukur perhitungan biaya produksi, antara lain:

2.11.1 Komponen Waktu Produksi

1. Variabel proses

- a. Waktu pemasangan benda kerja (t_a)
Perhitungan waktu pemasangan benda kerja dapat diestimasi.
- b. Waktu penentuan *Zero Point Tools* (t_b)
Titik acuan/titik nol benda kerja menjadi dasar untuk proses pengerjaan pada mesin CNC. Titik nol tiap jenis mata pahatpun berbeda-beda.
- c. Waktu pemotongan (t_c)
Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi tiap sub-blok program yang telah di validasi.
- d. Waktu pergantian pahat (t_t)
Yaitu waktu pergantian pahat yang dibagi rata untuk sejumlah produk yang dihasilkan sejak pahat yang baru dipasang sampai pahat tersebut harus diganti karena aus.

2. Komponen waktu bebas (t_s)

Komponen waktu bebas merupakan waktu non produktif saat pengerjaan benda.

3. Waktu permesinan rata-rata (t_m)

Merupakan jumlah waktu dari komponen waktu pemotongan, penggantian pahat dan waktu bebas. Dengan demikian dapat diperoleh rumus untuk menghitung waktu permesinan rata-rata sebagai berikut:

$$t_m = t_a + t_b + t_c + t_t + t_s \dots \dots \dots (2.3)$$

2.11.2 Komponen Biaya Produksi

1. Biaya Material (Bahan Dasar)

Biaya yang dikerluarkan untuk pembelian material/bahan dasar benda kerja.

2. Biaya Proses dalam suatu Urutan Produksi

Biaya produksi (suatu proses di antara beberapa urutan proses yang erat berkesinambungan) dapat diperinci menjadi biaya penyiapan dan peralatan (*special tooling, fixture*), biaya pemrosesan/pemesinan (*processing cost*), dan biaya bahan habis (*consumable/cutters/tools cost*). Untuk menghitung biaya proses atau biaya tetap pertahun menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_f = C_{ob} \left\{ \frac{1}{y} + \frac{y+1}{2y} I_{pti} \right\} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

- C_f = Biaya tetap pertahun
- C_{ob} = Harga peralatan mesin
- y = waktu penyusutan
- I_{pti} = Bunga-pajak-asuransi

3. Biaya Pemesinan (Pemrosesan)

Biaya proses pemesinan dihitung berdasarkan waktu pemesinan rata-rata per produk dan biaya operasi (per satuan waktu; menit)

4. Biaya Operasi

Biaya operasi persatuan waktu (menit) bagi suatu kesatuan produksi dapat dihitung berdasarkan biaya yang membentuknya dalam suatu periode dibagi dengan jumlah menit kerja efektif per tahun. Biaya operasi per tahun merupakan gabungan dari biaya tetap dan biaya variabel yang selanjutnya dapat dikelompokan sebagai biaya langsung dan biaya tak langsung.

5. Biaya produksi

Komponen biaya yang dihitung:

$$C_u = C_m + C_o \dots \dots \dots (2.5)$$

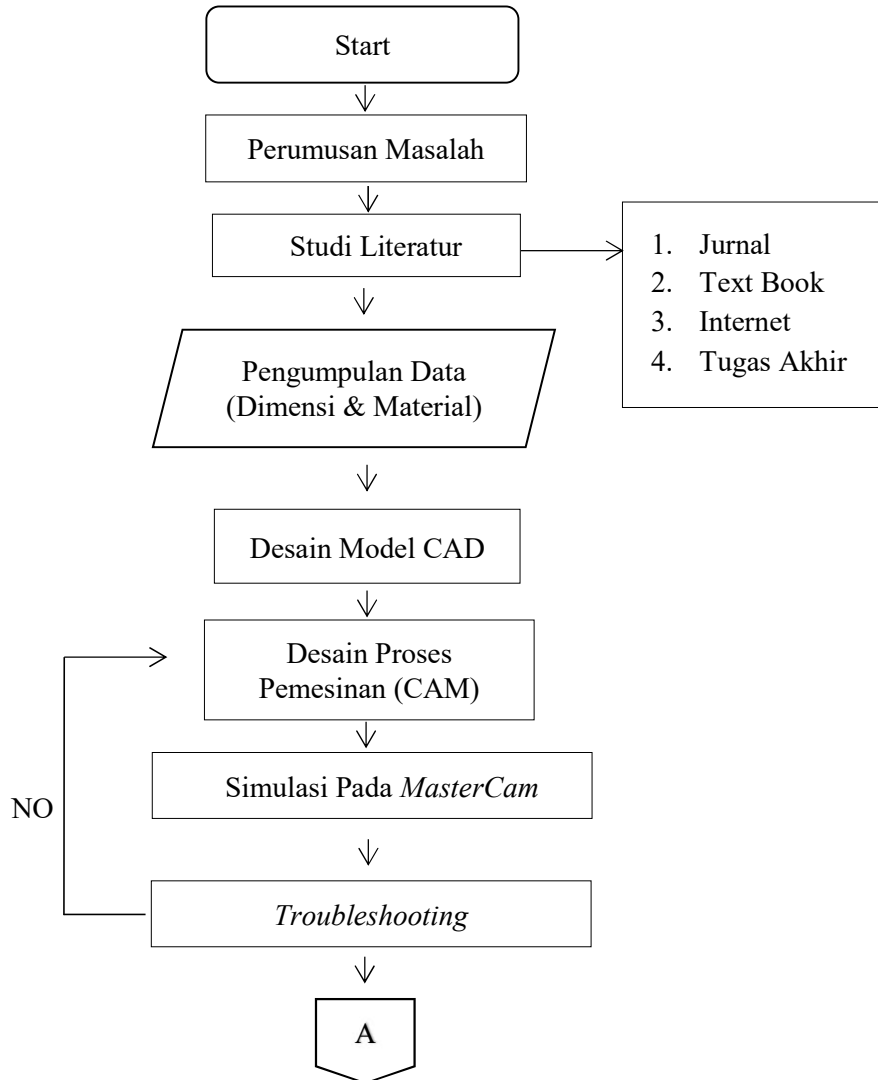
Dimana:

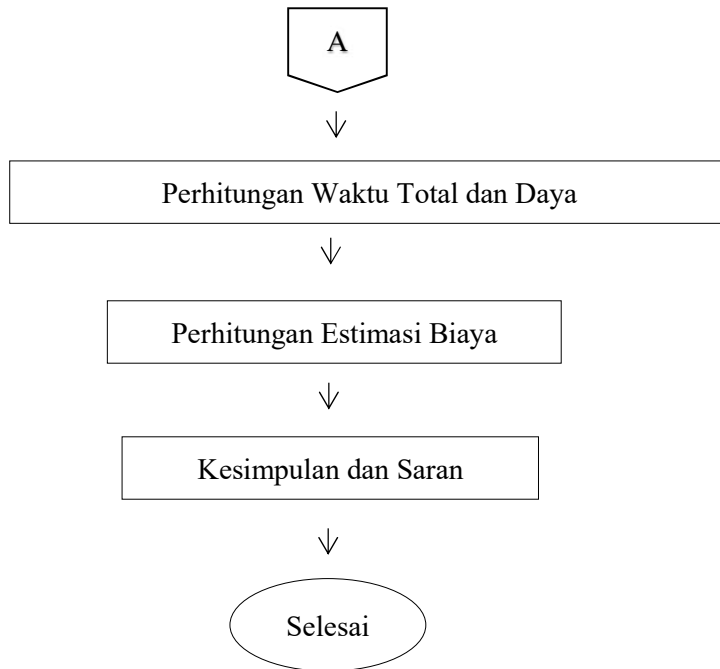
- C_u = Biaya Produksi
- C_m = Biaya Material
- C_o = Biaya Operasi Mesin

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah berbasis pada simulasi dengan menggunakan *software* dengan spesifikasi yang sesuai. Urutan pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah dengan mengikuti diagram alir sebagai berikut

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Aliran Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Perumusan Masalah

Pada tahap awal ini adalah mengidentifikasi masalah yang ada.

3.3 Studi Literatur

Pada tahap ini studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan beberapa referensi guna menunjang tema tugas akhir berasal dari jurnal, buku, artikel, tugas akhir, dll.

3.4 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data guna mempermudah dalam pengerjaan tugas akhir. Data yang diperlukan dalam merancang desain *Dies Impeller* antara lain:

- a. Data Geometri *Impeller*
- b. Material

3.5 Pembuatan Model *Dies Impeller*

Dalam tahap ini dilakukan perancangan model *Dies Impeller* dengan menggunakan program berbasis CAD.

3.6 Desain Proses Permesinan

Dalam tahap ini dilakukan pemilihan dan perhitungan parameter-parameter permesinan CNC yang dibutuhkan untuk produksi *Dies Impeller*.

3.7 Simulasi

Melakukan simulasi (*running*) program pada *MasterCam*. Hal ini bertujuan untuk melihat hasil benda kerja yang di desain sebelumnya dan untuk melihat lamanya waktu proses.

3.8 Troubleshooting

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap program yang sudah dibuat apakah terjadi kesalahan atau tidak

3.9 Perhitungan Waktu Total Produksi dan Daya

Waktu total proses produksi merupakan keseluruhan waktu proses pengerjaan yang mempengaruhi kebutuhan daya, tenaga kerja dan juga waktu permesinan non-produktif.

3.10 Perhitungan Biaya Total Proses Produksi

Langkah perhitungan biaya produksi adalah mengkonversi total daya menjadi *cost* dengan mempertimbangkan aspek-aspek lain yang memicu timbulnya biaya tambahan.

3.11 Kesimpulan

Dari hasil yang didapat, ditarik kesimpulan yang dapat menjawab perumusan masalah dan tujuan pada tugas akhir ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

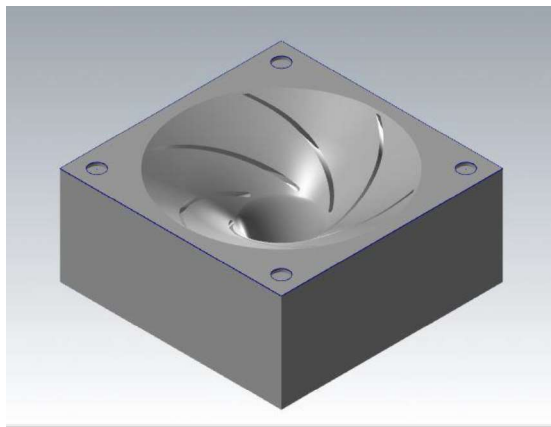
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

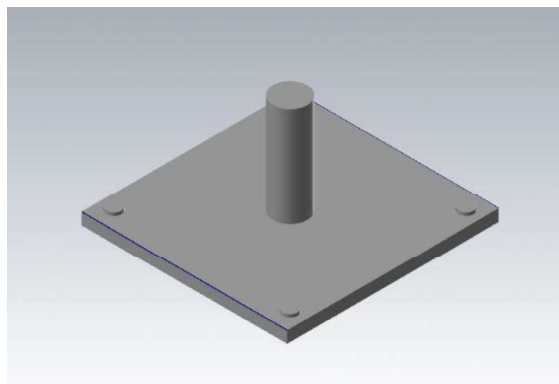
Dalam bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan data berupa model *dies impeller*, desain permesinan optimal pada *mastercam*, perhitungan waktu dan daya, analisa faktor yang mempengaruhi waktu produksi hingga perhitungan konsumsi daya dan total biaya untuk produksi *dies impeller*.

4.1 Desain Model

Benda kerja yang akan dikerjakan dengan mesin CNC *milling* adalah model *dies impeller*. Berikut adalah model *dies impeller* yang dikerjakan:



Gambar 4.1 Cetakan Atas



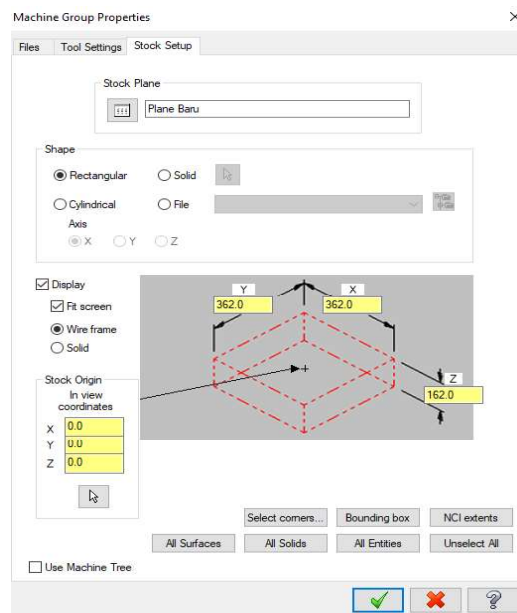
Gambar 4.2 Cetakan Bawah

4.2 Desain Proses Permesinan pada *MasterCam*

Desain proses permesinan pada *MasterCam* adalah tahapan untuk menentukan jenis permesinan, pemilihan boundary atau batas daerah *tool* bekerja, dan pemilihan jenis pengerjaan yang tepat untuk pembuatan *dies impeller*. Pada *software MasterCam* setiap jenis pengerjaan disebut dengan *toolpath*. Pemilihan *toolpath* sendiri disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat, untuk pengerjaan *dies impeller* sendiri merupakan jenis pengerjaan 3D yang mengharuskan pergeseran atau pemakanan benda pada 5 aksis (x, y, z, a, dan c). Langkah-langkah desain proses permesinan pada *MasterCam* antara lain:

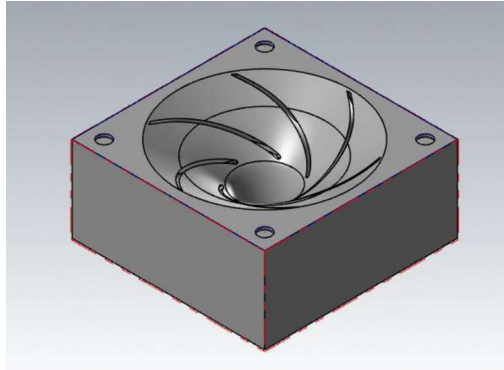
4.2.1 Pemilihan Jenis Permesinan

Di *MasterCam* terdapat berbagai jenis permesinan antara lain *Mill*, *Lathe*, *Wire*, *Art*, dan *Router*. Pada dasarnya CNC merupakan mesin perkakas konvensional yang dioperasikan menggunakan komputer. Mesin perkakas tersebut yakni *Mill* atau frais dengan 3 sistem persumbuan (3 *axis system*), *Mill* atau frais dengan 5 sistem persumbuan (5 *axis system*), dan *Lathe* atau bubut dengan 2 sistem persumbuan (2 *axis system*). Seperti dibahas dalam subbab ini, *Impeller* merupakan jenis pengerjaan 3D dengan pergeseran 5 aksis, jadi tipe mesin yang digunakan adalah mesin milling *milling* 5 aksis atau MILL-5 AXIS TABLE-HEAD VERTICAL. Setelah jenis mesin dipilih barulah menentukan dimensi benda kerja awal yaitu 362mm x 362mm x 162mm untuk cetakan atas dan (360mm x 360mm x 20mm)+(Ø52mm x 160mm) untuk cetakan bawah. Dimensi ini dibuat berdasarkan kebutuhan pembuatan *dies impeller*. Untuk pengaturan dimensi benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Machine Group Properties* Untuk Pengaturan Stock

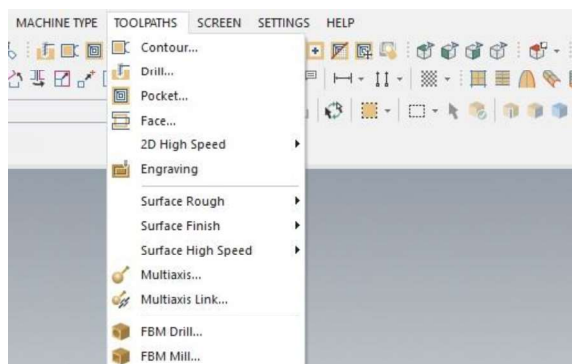
Pada gambar 4.4 bentuk tabung dapat dilihat pada garis putus-putus berwarna merah yang nantinya akan di proses menjadi *dies impeller* seperti bentuk di tengahnya.



Gambar 4.4 Penentuan *Stock* Pada *MasterCam*

4.2.2 Pemilihan *Toolpath*

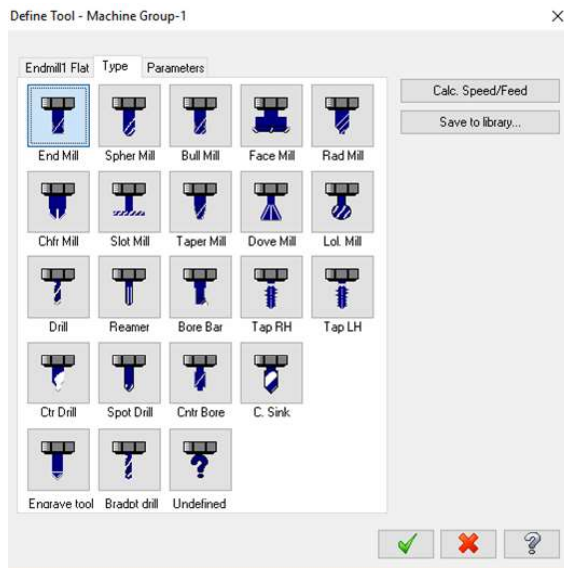
Toolpath adalah pola gerakan pahat/*tools* pada mesin CNC yang disimulasikan dalam *MasterCam* ketika menyayat material nantinya. *Toolpath* dipilih sesuai jenis pengerjaan dan tipe mesin yang dipakai. Untuk proses pembuatan *dies impeller* digunakan mesin tipe *mill* atau frais. Tiap *Toolpath* juga memiliki fungsi yang berbeda apakah untuk pengerjaan 2D atau 3D maupun pekerjaan *roughing* atau *finishing*. Pada pengerjaan *dies impeller* digunakan beberapa *toolpath* antara lain *facing*, *pocket*, *contour*, *surface rough pocket*, *surface finish contour*, *multiaxis roughing*, *surface finish parallel*, *surface high speed waterline*. Setelah menentukan *toolpath* kemudian menentukan *chaining* sesuai pola benda kerja yang akan dibuat untuk membatasi gerak kerja pahat. Gerak kerja pahat ini dibatasi berujung untuk mengurangi gerakan pahat yang tidak berguna karena akan menambah konsumsi daya.



Gambar 4.5 Pemilihan *Toolpath*

4.2.3 Pemilihan Pahat

Untuk proses penyayatan benda kerja pastilah menggunakan sebuah *tool* atau alat yang disebut pahat. Pahat untuk mesin frais ada banyak jenisnya antara lain: pahat rata muka (*face endmill*), pisau jari (*flat endmill*), *bull endmill*, *sphere endmill*, mata bor, dan sebagainya. Jenis-jenis pahat ini memiliki fungsi berbeda-beda tergantung jenis pengerjaannya. Untuk meratakan permukaan dipakai *face mill* karena pahat ini mempunyai sisi sayat yang lebih lebar untuk mempercepat proses perataan benda kerja, untuk pengerjaan 2D pada umumnya menggunakan *flat endmill* sedangkan untuk pengerjaan 3D biasanya menggunakan pahat *bull* dan *sphere endmill* yang memiliki radius pada mata sayatnya.



Gambar 4.6 Jenis-Jenis Pahat Pada Mesin *Milling*

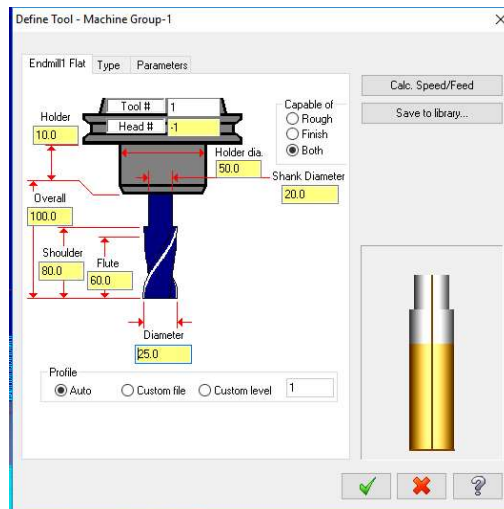
Dari jenis-jenis pahat yang ada, pada pengerjaan *impeller* dipilihlah pahat untuk setiap *toolpath* atau proses pengerjaannya sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pemilihan Pahat Untuk Setiap *Toolpath* Cetakan Atas

Jenis Pahat	Diameter (mm)	Material	<i>Toolpath</i>
<i>Face Mill</i>	Ø 50	Carbida	<i>Facing</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20		<i>Pocket</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20		<i>Contour</i>
<i>Sphere Endmill</i>	Ø 25		<i>Surface Rough Pocket</i>
<i>Sphere Endmill</i>	Ø 10		<i>Surface Finish Contour</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 3		<i>Multiaxis Roughing</i>

Tabel 4.2 Pemilihan Pahat Untuk Setiap *Toolpath* Cetakan Bawah

Jenis Pahat	Diameter (mm)	Material	<i>Toolpath</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20	Carbida	<i>Surface Finish Parallel</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20		<i>Contour</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20		<i>Surface High Speed Waterline</i>
<i>Flat End mill</i>	Ø 20		<i>Surface Finish Contour</i>

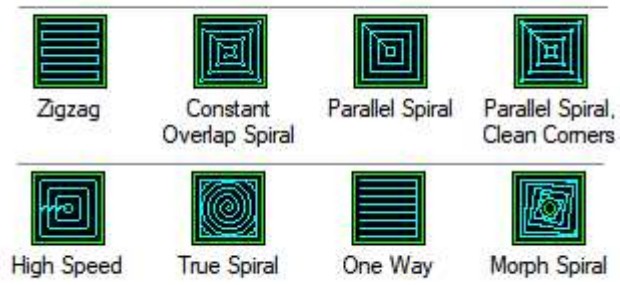


Gambar 4.7 Contoh Pemilihan Pahat Jenis *End Mill*

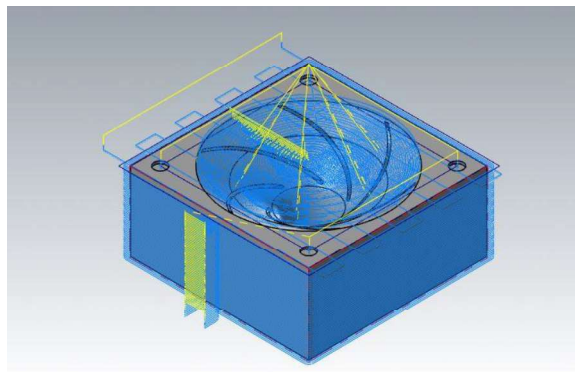
4.2.4 Variasi Alur Pahat

Variasi untuk jalan pahat merupakan macam-macam jenis gerakan pahat yang mana yang nantinya dipilih untuk pengerjaan pada satu *Toolpath*. Setiap *toolpath* belum tentu sama alur lintasan pahatnya karena disesuaikan dengan kebutuhan berdasarkan bentuk dari benda kerja. Waktu optimal yang dihasilkan oleh satu alur lintasan pahat dalam suatu *toolpath* belum tentu optimal untuk *toolpath* yang lain. Jenis-jenis alur yang dimaksudkan antara lain sebagai berikut:

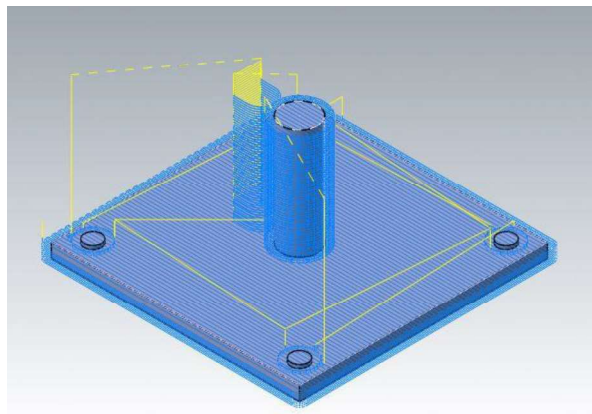
- *Zigzag*
- *Constant Overlap Spiral*
- *Parallel Spiral*
- *Parallel Spiral, Clean Corner*
- *High Speed*
- *Morph Spiral*
- *One Way*
- *True spiral*



Gambar 4.8 Jenis-Jenis Alur Lintasan Pahat



Gambar 4. 9 Alur Lintasan Pahat Untuk Pembuatan Cetakan Atas



Gambar 4. 10 Alur Lintasan Pahat Untuk Pembuatan Cetakan Bawah

4.2.5 Penentuan Parameter Permesinan

Semua parameter permesinan dihitung untuk mendapatkan optimasi permesinan berupa hasil pengerjaan yang lebih halus, pahat lebih awet dan waktu daya pengerjaan yang lebih optimal. Parameter permesinan yang perlu ditentukan antara lain:

- a. Jenis material dan diameter pahat,
- b. *Cutting speed*,
- c. Kecepatan spindel,
- d. *Feeding* dan *depth of cut*

Rumus untuk menghitung parameter permesinan antara lain:

$$CS = \frac{\pi DN}{1000}, N = \frac{1000CS}{\pi D} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

- Cs = *Cutting speed* (m/menit)
- D = Diameter (mm)
- N = Putaran spindel (putaran/menit)

$$F = f_z \times N \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana:

- F = *Feed Rate* (mm/menit)
- f_z = *Cutting Feed* (mm/putaran)

$$f_z = f_t \times Z \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana:

- F_t = *Feed per Tooth* (mm/putaran)
- Z = Jumlah gigi/mata sayat

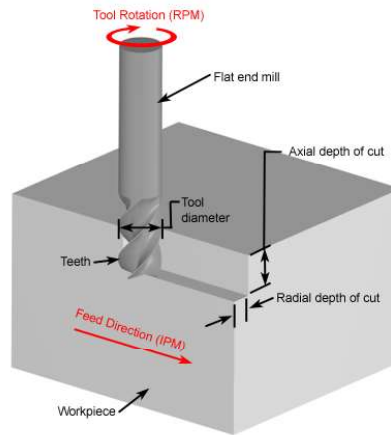
$$t = \frac{L}{F} \dots\dots\dots (4.4)$$

Dimana:

- t = Waktu penyayatan (menit)
- L = Panjang penyayatan (mm)

Nilai dari parameter-parameter permesinan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *Software MasterCam*. Antara lain yang dapat diatur pada software *MasterCam* adalah *feed rate*, *plunge rate* (gerak makan searah sumbu -z), *retrack rate* (gerak pembebasan pahat), *spindle speed*, jenis material pahat, *axial depth of*

cut, dan *radial depth of cut*. Serta *output* yang dihasilkan salah satunya adalah panjang penyayatan dan waktu pengerjaan. Ilustrasi mengenai parameter permesinan dapat dilihat pada gambar 4.11.



Copyright © 2008 CustomPartNet

Gambar 4.11 Ilustrasi Parameter Permesinan
(Sumber: www.custompartnet.com)

Nilai dari *axial depth of cut* dan *radial depth of cut* merupakan nilai untuk menghitung konsumsi daya pemotongan dari *CNC milling*. Daya yang dihasilkan dari pemotongan merupakan fungsi dari *depth of cut* yang merupakan beban atau *load* dari pemotongan benda.

Untuk menghitung besarnya *spindle speed* dan *feedrate* mengacu pada tabel 4.2 dan 4.3. Nilainya didasarkan pada jenis material dan jenis pahatnya.

Recommended Cutting Speeds

Milling Speeds for High Speed Steel Tools	
Material	Cutting Speed in Surface ft/min
Magnesium	300
Aluminum	250
Brass and Bronze	150
Copper	100
Cast Iron (Soft)	80
Cast Iron (Hard)	60
Mild Steel	90
Cast Steel	80
Alloy Steel (Hard)	40
Tool Steel	50
Stainless Steel	60
Titanium	50
High Manganese Steel	30

Note: Double Speed for Carbide Cutting Tools

Tabel 4.3 Nilai *Cutting Speed* Untuk Pahat Carbida

Recommended Tool Feed

Material	Tool Feed (in./tooth/rev)		
	Face Mill	Side Mill	End Mill
Magnesium	.005-.020	.004-.010	.005-.010
Aluminum	.005-.020	.004-.010	.005-.010
Brass and Bronze	.004-.020	.004-.010	.005-.010
Copper	.004-.010	.004-.007	.004-.008
Cast Iron (Soft)	.004-.016	.004-.009	.004-.008
Cast Iron (Hard)	.004-.010	.002-.006	.002-.006
Mild Steel	.004-.010	.002-.007	.002-.006
Alloy Steel (Hard)	.004-.010	.002-.007	.002-.006
Tool Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006
Stainless Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006
Titanium	.004-.008	.002-.006	.002-.006
High Manganese Steel	.004-.008	.002-.006	.002-.006

Note: Double Speed for Carbide Cutting Tools

Tabel 4.4 Nilai *Feed per Tooth* Untuk Pahat Carbida

Contoh perhitungan untuk perhitungan nilai *spindle speed* dan *feed rate*:

Tabel 4.5 Data Pahat *Face Endmill*

Data Tool	
Jenis pahat	<i>Face Endmill</i>
Diameter	Ø 50
Jumlah Gigi	4
Material	<i>Carbide</i>

Untuk perhitungan parameter mengacu pada tabel 4.3 dan 4.4, sehingga didapat hasil sebagai berikut:

Diketahui:

D	= Ø50	mm
Z	= 4	
Ft	= 0.2032 – 0.4064	mm/tooth
Diambil nilai Fz	= 0.4064	
CS	= 36.6	m/min

Ditanya:

- N, Rpm
- F, mm/min

$$\begin{aligned}
 \text{a. N} &= \frac{1000CS}{\pi D} \\
 &= \frac{1000 \times 36.6}{3.14 \times 50}
 \end{aligned}$$

$$= 233.121 \sim 233 \text{ RPM}$$

b.ft $= f_z \times Z$
 $= 0.4064 \times 4$
 $= 0.48 \text{ mm/rev}$

F $= f_t \times N$
 $= 1.6256 \times 233$
 $= 379 \text{ mm/min}$

Berikut merupakan hasil dari pengaturan parameter permesinan di *MasterCam*:

a. Pahat (*tool*)

Tabel 4.6 Jenis, Diameter, dan Material Pahat

Jenis Pahat	Diameter (mm)	Material
Face Mill	Ø 50	Carbide
Flat End mill	Ø 20	
Flat End mill	Ø 3	
Sphere Endmill	Ø25	
Sphere Endmill	Ø 10	

b. *Spindle Speed* atau jumlah putaran tiap menit masing-masing pahat

Tabel 4.7 Kecepatan Putar Spindel Masing-Masing Jenis Pahat

Jenis Pahat	Diameter (mm)	Spindle Speed (Rpm)
Face Mill	Ø 50	233
Flat End mill	Ø 20	583
Flat End mill	Ø 3	3885
Sphere Endmill	Ø25	466
Sphere Endmill	Ø 10	1166

c. *Feed Rate* atau panjang penyayatan (mm) tiap satuan waktu (menit) untuk tiap-tiap jenis pahat

Tabel 4.8 *Feed Rate* Untuk Masing-Masing Jenis Pahat

Jenis Pahat	Diameter	Mata Sayat	Feedrate		
			Level I	Level II	Leve III
Face Mill	Ø 50	4	189	284	379
Flat End mill	Ø 20	4	237	474	711
Flat End mill	Ø 3	4	790	1184	1579
Sphere Endmill	Ø 25	3	142	284	426
Sphere Endmill	Ø 10	3	355	711	1066

d. *Depth of cut* atau kedalaman pemakanan. *Depth of cut* sendiri dibagi menjadi 2 berdasarkan arahnya, yaitu *axial* (searah sumbu z) dan *radial* (berapa % dari diameter *tool*). Penentuan besar *Depth of cut* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Kedalaman Pemakanan *Axial* dan *Radial*

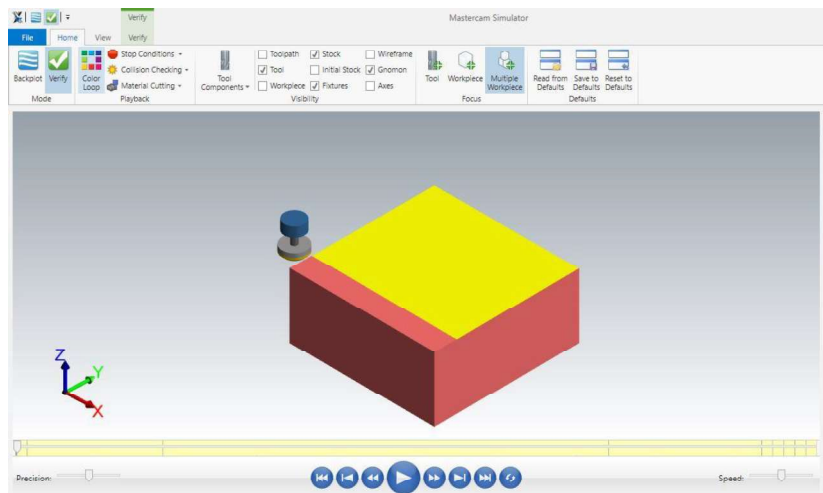
Proses	Pahat	Axial Depth of Cut (mm)			Radial Depth of Cut (mm)
		Level I	Level II	Level III	
<i>Facing</i>	Face Mill $\varnothing 50$	0.5	0.75	1	30
<i>Pocket</i>	Flat End mill $\varnothing 20$	1	2	3	12
<i>Contour</i>	Flat End mill $\varnothing 20$	1	2	3	0.5
<i>Surface Rough Pocket</i>	Sphere Endmill $\varnothing 25$	1	2	3	15
<i>Surface Finish Contour</i>	Sphere Endmill $\varnothing 10$	0.5	0.75	1	0.5
<i>Multiaxis Roughing</i>	Flat End mill $\varnothing 3$	1	2	3	2
<i>Surface Finish Parallel</i>	Flat End mill $\varnothing 20$	1	2	3	0.5
<i>Surface High Speed</i>	Flat End mill $\varnothing 20$	1	2	3	0.5

4.3 Simulasi Pengerjaan pada *MasterCam*

Pengerjaan *dies impeller* membutuhkan 10 kali langkah pengerjaan atau *toolpath* yang terbagi dalam 6 langkah untuk pengerjaan cetakan atas dan 4 langkah untuk pengerjaan cetakan bawah. Langkah-langkah pengerjaan dari setiap *toolpath* untuk pengerjaan *dies impeller* adalah sebagai berikut

4.3.1 *Facing*

Facing merupakan pekerjaan yang bertujuan untuk meratakan permukaan benda kerja serta untuk memasukkan ukuran tinggi dari cetakan atas *impeller* yang dikerjakan. Pekerjaan *facing* menggunakan pahat *face endmill* dengan $\varnothing 50$ mm. Proses dari pengerjaan *toolpath facing* dapat dilihat pada gambar 4.12.

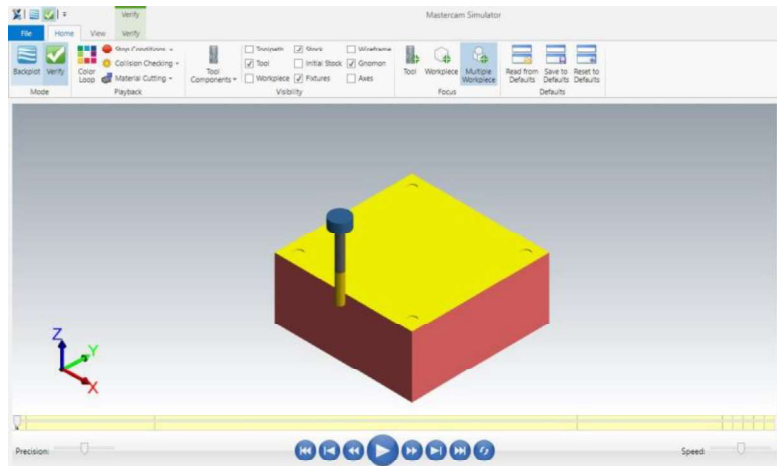


Gambar 4.12 Pengerjaan *Toolpath Facing*

4.3.2 *Pocket*

Toolpath pocket berfungsi untuk pembuatan lubang penepat pada cetakan atas dengan ukuran $\varnothing 25$ mm. Pada proses pembuatan lubang (*pocketing*) menggunakan

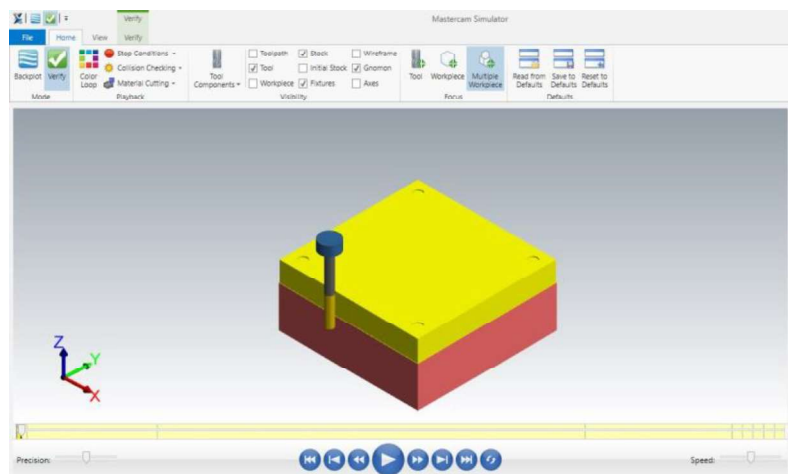
pahat *endmill* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath pocket* dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pengerjaan *Toolpath Pocket*

4.3.3 *Contour (Cetakan Atas)*

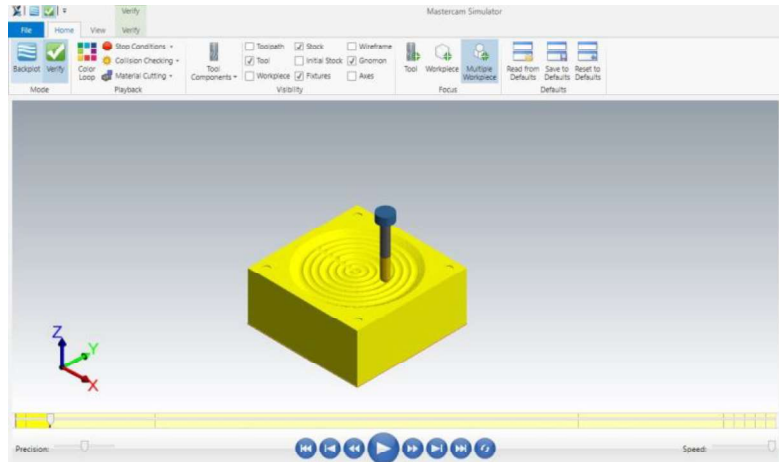
Pengerjaan dari *toolpath contour* ini berfungsi untuk mengurangi panjang dan lebar cetakan atas sehingga didapat ukuran sesuai dengan yang dikehendaki. Pada proses pembuatan *contour* menggunakan pahat *endmill* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath contour* dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Pengerjaan *Toolpath Contour* Cetakan Atas

4.3.4 *Surface Rough Pocket*

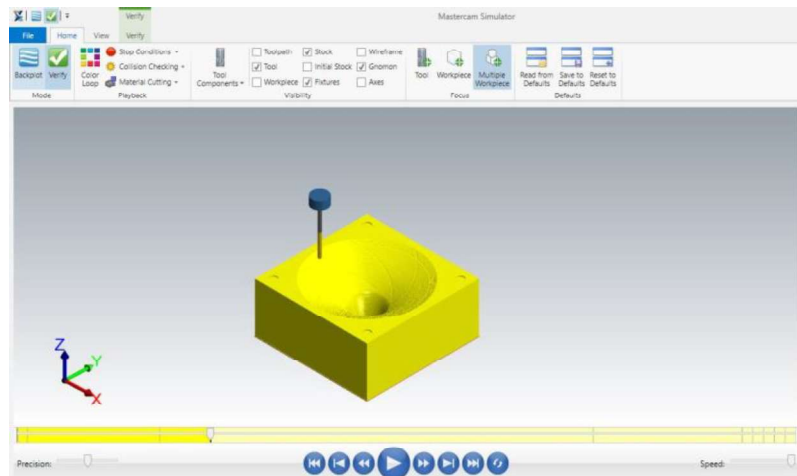
Surface Rough Pocket merupakan pengerjaan kasar atau *roughing* dengan pahat *Sphere Endmill* \varnothing 25mm. Pengerjaan dari *toolpath* ini berfungsi untuk membuat rongga cetakan atas. Proses dari pengerjaan *toolpath surface rough pocket* dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Pengerjaan *Toolpath Surface Rough Pocket*

4.3.5 *Surface Finish Contour (Cetakan Atas)*

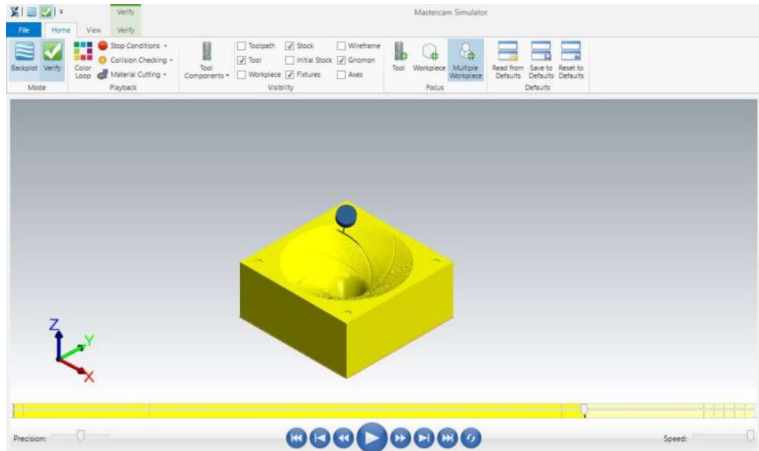
Surface Finish Contour ini berfungsi untuk proses *finishing* pada pengerjaan *Surface Rough Pocket* yang sebelumnya dikerjakan. Pengerjaannya menggunakan pahat *sphere endmill* \varnothing 10mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface finish contour* dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Pengerjaan *Toolpath Surface Finish Contour Cetakan Atas*

4.3.6 *Multiaxis Roughing*

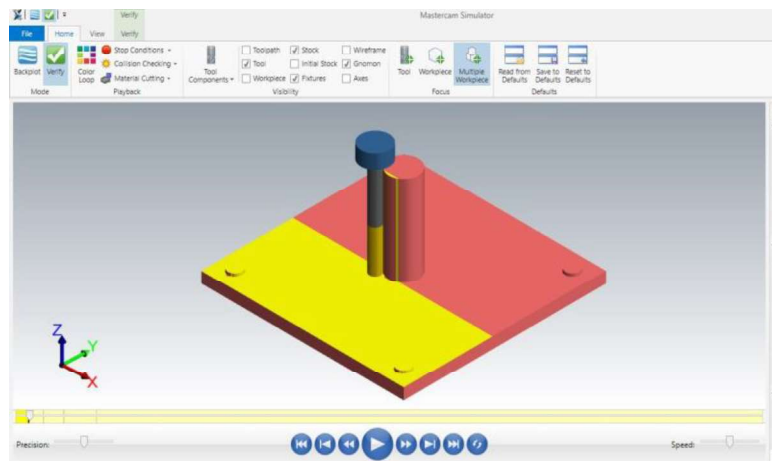
Multiaxis Roughing ini digunakan untuk proses pembuatan rongga cetakan atas untuk sudu-sudu dari *impeller*. Pengerjaannya menggunakan pahat *flat endmill* \varnothing 3mm. Proses dari pengerjaan *toolpath multiaxis roughing* dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Pengerjaan *Toolpath Multiaxis Roughing*

4.3.7 *Surface Finish Parallel*

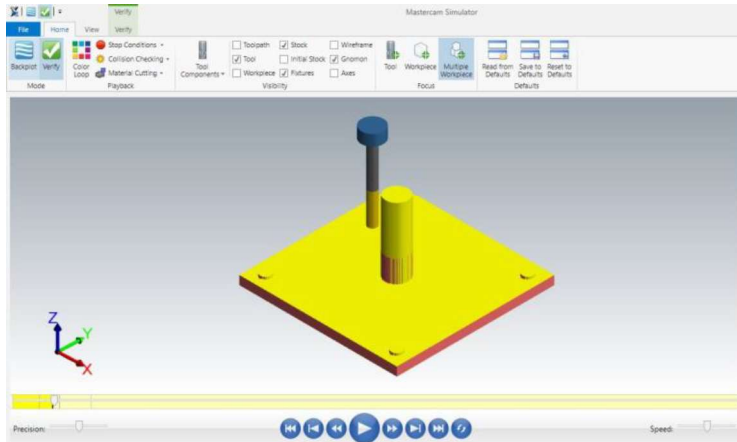
Surface finish parallel merupakan pekerjaan yang bertujuan untuk meratakan permukaan benda kerja serta untuk memasukkan ukuran tinggi dari cetakan bawah *impeller* yang dikerjakan. Pekerjaan *facing* menggunakan pahat *end endmiil* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface finish parallel* dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pengerjaan *Toolpath Surface Finish Parallel*

4.3.8 *Contour (Cetakan Bawah)*

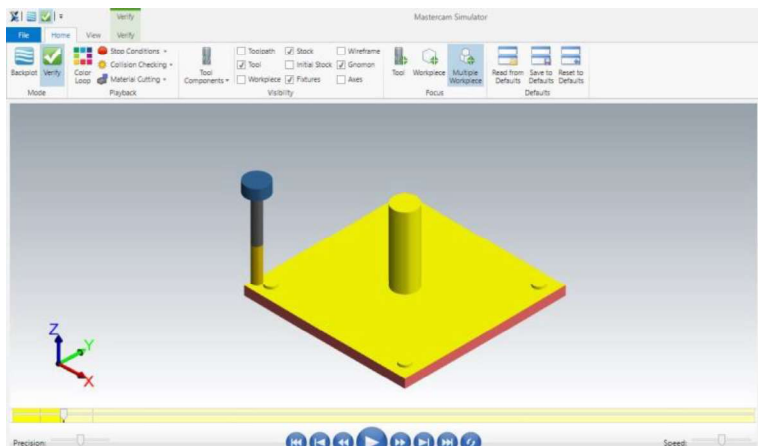
Contour digunakan untuk proses *finishing* bentuk poros pada cetakan bawah yang nantinya digunakan untuk cetakan lubang poros *impeller*. Pekerjaan *contour* menggunakan pahat *end endmiil* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath contour* dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Pengerjaan *Toolpath Surface Contour* Cetakan Bawah

4.3.9 *Surface High Speed Waterline*

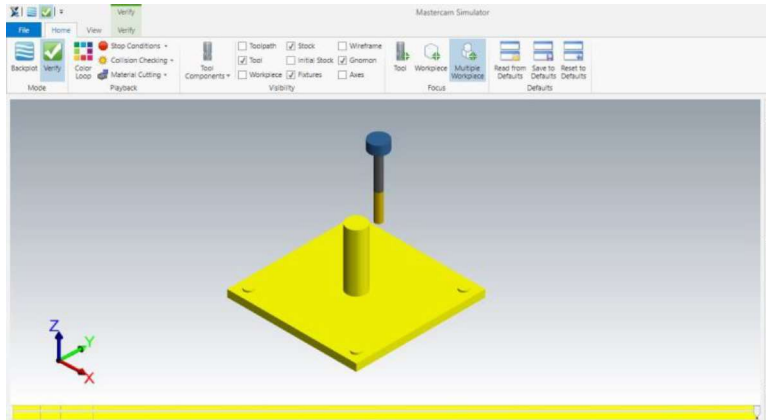
Surface high speed waterline berfungsi untuk *finishing* pin penepat pada cetakan bawah dengan ukuran \varnothing 25mm. Pada proses pembuatan pin penepat menggunakan pahat *endmill* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface high speed waterline* dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Pengerjaan *Toolpath Surface High Speed Waterline*

4.3.10 *Surface Finish Contour (Cetakan Bawah)*

Pengerjaan dari *toolpath surface finish contour* ini berfungsi untuk mengurangi panjang dan lebar cetakan bawah sehingga didapat ukuran sesuai dengan yang dikehendaki. Pada proses *surface finish contour* menggunakan pahat *endmill* dengan \varnothing 20mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface finish contour* dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Pengerjaan *Toolpath Surface Finish Contour* Cetakan Bawah

4.4 Perhitungan Daya Optimal Setiap Proses dengan Metode Taguchi

Metode taguchi dipakai untuk menentukan data variasi parameter proses produksi sebelum dilakukan simulasi dengan *Mastercam*. Selain itu metode taguchi juga digunakan untuk menentukan nilai optimal pada setiap respon yang diinginkan. Parameter proses pada produksi *dies impeller* dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu *feedrate*, *retrack rate*, *depth of cut* dengan masing-masing faktor memiliki 3 level. Oleh sebab itu *orthogonal array* yang dipilih adalah L9 dengan 9 percobaan.

Daya total yang digunakan selama proses *milling* adalah jumlah daya yang diperlukan oleh pahat pemotong dan daya yang hilang ke mesin. Laju penghasiian beram (*Material Removed Rate*) untuk *milling* dihitung dengan rumus berikut:

$$MRR = A_p \cdot A_e \cdot F \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana:

MRR = Material removed rate, mm³/menit

A_p = *Depth of cut*, mm

A_e = *Width of cut*, mm

F = *Feed Rate*, mm/menit

Pada perhitungan *material removal rate* lebar maksimum potongan adalah sama dengan diameter alat potong (*cutter*) jika *cutter* bersinggungan penuh dengan benda kerja. Namun, dalam kebanyakan kasus untuk frais permukaan (*face milling*) nilai *cutter engagement* adalah sekitar 0.6-0.8 dari diameter *cutter* sesuai dengan nilai *radial depth of cut*. Perhitungan daya yang dibutuhkan pada proses pemotongan adalah sebagai berikut:

$$HP_c = MRR \cdot UHP \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana:

HP_c = Daya spindel, hp

UHP = Unit Horse Power, hp/ in³/menit

Nilai MRR dapat dihitung mengacu pada nilai *depth of cut*, *width of cut* dan *Feed Rate* untuk tiap-tiap proses pengerjaan. Nilai UHP untuk pahat *Endmill Carbide* dengan material benda *Cast Iron* dapat dilihat pada gambar 4.22.

Material	UHP	Material	UHP
Magnesium	0.25	Stainless	
Aluminum	0.25	Free machining	1.0
Copper	0.5	Other	1.7
Brass	0.4	Titanium	
Bronze	0.5	Under 100,000 psi	1.3
Malleable iron	1.0	100,000-135,000 psi	1.7
Cast iron		135,000 and over	2.5
Ferrite	0.7	High-tensile alloys	
Pearlitic	1.0	180,000-220,000 psi	2.0
Chilled	0.7	220,000-260,000 psi	2.5
Steel		260,000-300,000 psi	3.3
Up to 150 BHN	1.4	High-temperature alloys	
300 BHN	1.7	Ferritic low alloys	1.7
400 BHN	2.0	Austenitic alloys	2.0
500 BHN	2.5	Nickel-based alloys	2.5
		Cobalt-based alloys	2.5

Unit horsepower for milling.

Gambar 4.22 Nilai *Unit Horse Power* Pahat Carbida
(Sumber: <https://www.machiningresources.com>)

Contoh perhitungan HP_c untuk pahat *Face Mill Carbide* \varnothing 50 mengacu tabel 4.8, tabel 4.9 dan gambar 4.22 didapat:

$$\begin{aligned}
 F &= 379 \text{ mm/menit} & \text{UHP} &= 1 \text{ hp/ in}^3/\text{menit} \\
 A_p &= 1 \text{ mm} & A_e &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Eff} &= 60\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } \text{MRR} &= A_p \cdot A_e \cdot F \\
 &= 1 \cdot 30 \cdot 379 \\
 &= 11370 \text{ mm}^3/\text{menit} \\
 &= 0.694 \text{ in}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{HP}_c &= \text{MRR} \cdot \text{UHP} \\
 &= 0.694 \cdot 1 \\
 &= 0.694 \text{ hp} \\
 &= 0.518 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{HP}_m &= \text{HP}_c / \text{eff} \\
 &= 0.518 / 0.6 \\
 &= 0.863 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Berikut ini data hasil perhitungan respon daya pada setiap proses pengerjaan (*toolpath*):

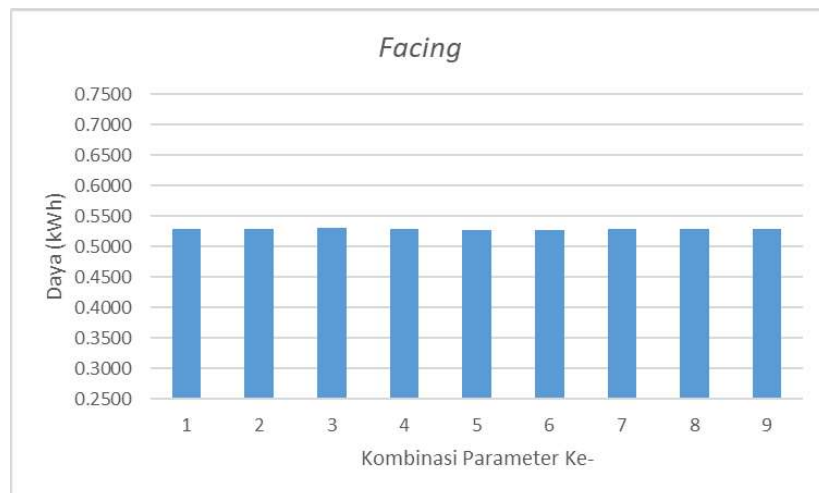
4.4.1 Facing

Tabel 4.10 Nilai Parameter Proses *Facing*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feed Rate</i>	F	189	284	379	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	0.5	0.75	1	mm

Tabel 4.11 Nilai Respon Daya Proses *Facing*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	189	5000	0.5	147.23	2835	0.129	0.215	0.5278
2	189	7500	0.75	98.20	4252.5	0.194	0.323	0.5280
3	189	10000	1	73.93	5670	0.258	0.430	0.5300
4	284	5000	0.75	65.32	6390	0.291	0.485	0.5278
5	284	7500	1	48.98	8520	0.388	0.646	0.5277
6	284	10000	0.5	97.96	4260	0.194	0.323	0.5277
7	379	5000	1	36.76	11370	0.518	0.863	0.5285
8	379	7500	0.5	73.65	5685	0.259	0.431	0.5294
9	379	10000	0.75	49.04	8527.5	0.388	0.647	0.5288



Gambar 4.23 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Facing*

Berdasarkan tabel 4.11 dan gambar 4.23 nilai respon daya paling optimal pada proses *facing* berada pada kombinasi ke-5 dengan nilai *feedrate* 284 mm/menit (level II), *retrack rate* 7500 mm/menit (level II), dan *depth of cut* 1 mm (level III) dengan nilai respon daya 0.5227 kWh.

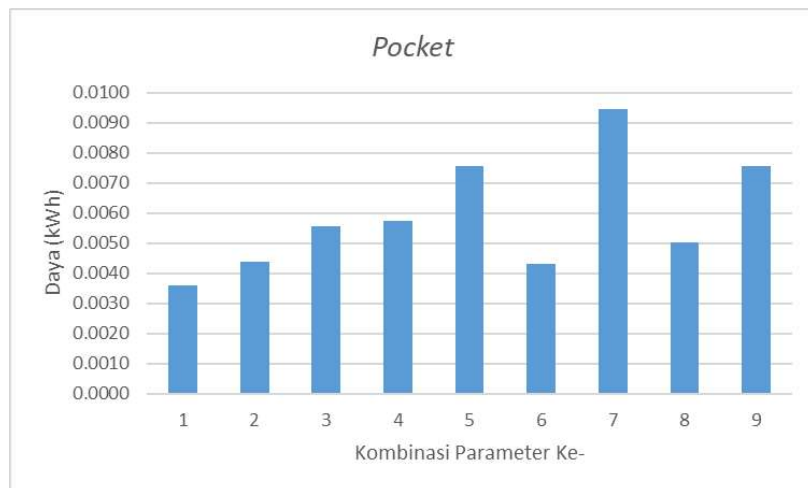
4.4.2 Pocket

Tabel 4.12 Nilai Parameter Proses *Pocket*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.13 Nilai Respon Daya Proses *Pocket*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	1.2	2370.0	0.108	0.180	0.0036
2	237	7500	2	0.73	4740.0	0.216	0.360	0.0044
3	237	10000	3	0.62	7110.0	0.324	0.539	0.0056
4	474	5000	2	0.48	9480.0	0.432	0.719	0.0058
5	474	7500	3	0.42	14220.0	0.647	1.079	0.0076
6	474	10000	1	0.72	4740.0	0.216	0.360	0.0043
7	711	5000	3	0.35	21330.0	0.971	1.618	0.0094
8	711	7500	1	0.56	7110.0	0.324	0.539	0.0050
9	711	10000	2	0.42	14220.0	0.647	1.079	0.0076



Gambar 4.24 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Pocket*

Berdasarkan tabel 4.13 dan gambar 4.24 nilai respon daya paling optimal pada proses *pocket* berada pada kombinasi ke-1 dengan nilai *feedrate* 237 mm/menit (level I), *retrack rate* 5000 mm/menit (level I), dan *depth of cut* 1 mm (level I) dengan nilai respon daya 0.0036 kWh.

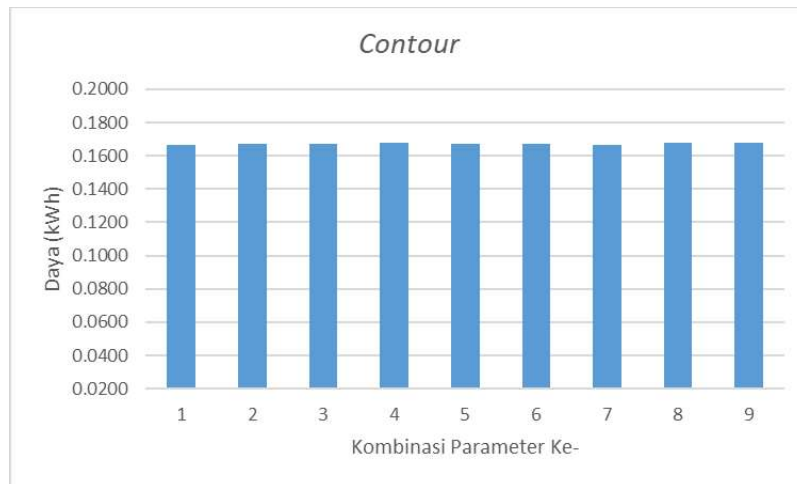
4.4.3 Contour (Cetakan Atas)

Tabel 4.14 Nilai Parameter Proses *Contour* Cetakan Atas

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.15 Nilai Respon Daya Proses *Contour* Cetakan Atas

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	1113.45	118.5	0.005	0.009	0.1668
2	237	7500	2	557.88	237	0.011	0.018	0.1672
3	237	10000	3	372.05	355.5	0.016	0.027	0.1672
4	474	5000	2	279.55	474	0.022	0.036	0.1676
5	474	7500	3	186.15	711	0.032	0.054	0.1674
6	474	10000	1	558.63	237	0.011	0.018	0.1674
7	711	5000	3	123.72	1066.5	0.049	0.081	0.1668
8	711	7500	1	372.63	355.5	0.016	0.027	0.1675
9	711	10000	2	186.73	711	0.032	0.054	0.1679



Gambar 4.25 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Contour* Cetakan Atas

Berdasarkan tabel 4.15 dan gambar 4.25 nilai respon daya paling optimal pada proses *contour* berada pada kombinasi ke-7 *feedrate* 711 mm/menit (level III), *retrack rate* 5000 mm/menit (level I), dan *depth of cut* 3 mm (level III) dengan nilai respon daya 0.1668 kWh.

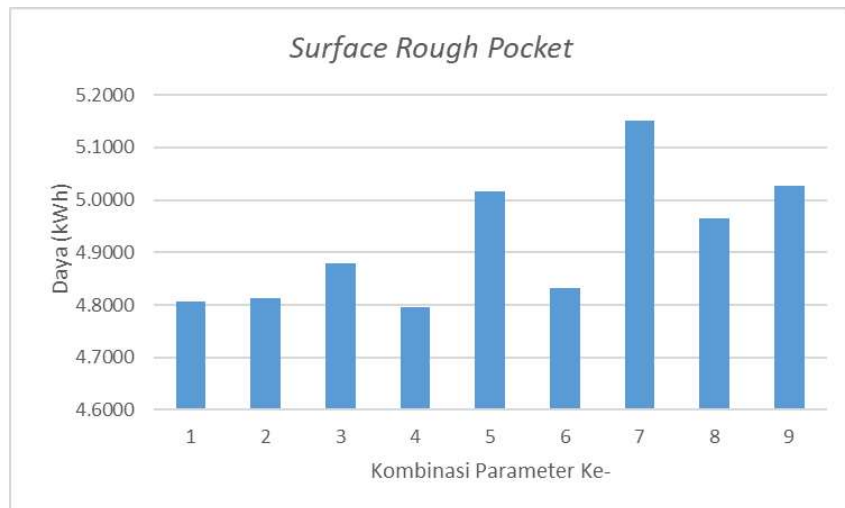
4.4.4 Surface Rough Pocket

Tabel 4.16 Nilai Parameter Proses *Surface Rough Pocket*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	142	284	426	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.17 Nilai Respon Daya Proses *Surface Rough Pocket*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	142	5000	1	1784.58	2130	0.097	0.162	4.8064
2	142	7500	2	893.56	4260	0.194	0.323	4.8133
3	142	10000	3	603.80	6390	0.291	0.485	4.8787
4	284	5000	2	445.22	8520	0.388	0.646	4.7965
5	284	7500	3	310.35	12780	0.582	0.970	5.0152
6	284	10000	1	896.93	4260	0.194	0.323	4.8314
7	426	5000	3	212.52	19170	0.873	1.454	5.1515
8	426	7500	1	614.38	6390	0.291	0.485	4.9642
9	426	10000	2	311.06	12780	0.582	0.970	5.0267



Gambar 4.26 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Surface Rough Pocket*

Berdasarkan tabel 4.17 dan gambar 4.26 nilai respon daya paling optimal pada proses *surface rough pocket* ke-4 berada pada kombinasi *feedrate* 284 mm/menit (level II), *retrack rate* 5000 mm/menit (level I), dan *depth of cut* 2 mm (level II) dengan nilai respon daya 0.47965 kWh.

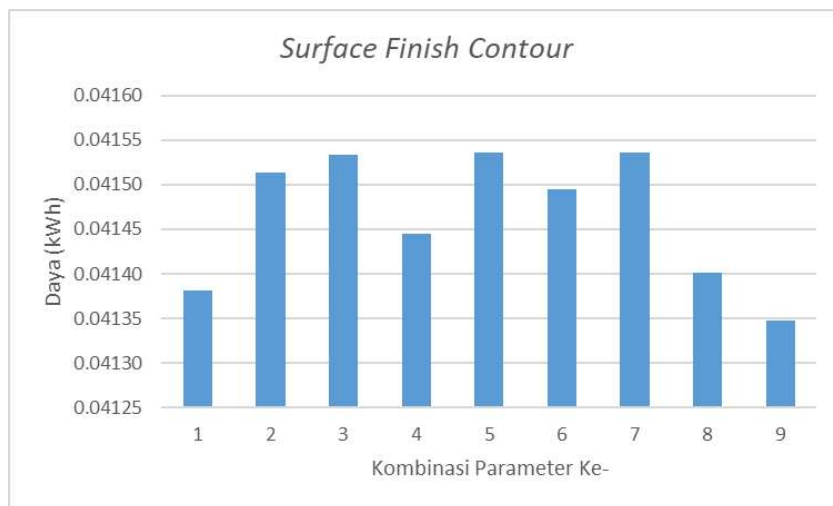
4.4.5 Surface Finish Contour (Cetakan Atas)

Tabel 4.18 Nilai Parameter Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Atas

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	355	711	1066	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	0.5	0.75	1	mm

Tabel 4.19 Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Atas

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR (mm ³ /min)	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	355	5000	0.5	368.75	88.75	0.004	0.007	0.04138
2	355	7500	0.75	246.62	133.125	0.006	0.010	0.04151
3	355	10000	1	185.05	177.5	0.008	0.013	0.04153
4	711	5000	0.75	122.93	266.625	0.012	0.020	0.04144
5	711	7500	1	92.40	355.5	0.016	0.027	0.04154
6	711	10000	0.5	184.62	177.75	0.008	0.013	0.04150
7	1066	5000	1	61.63	533	0.024	0.040	0.04154
8	1066	7500	0.5	122.86	266.5	0.012	0.020	0.04140
9	1066	10000	0.75	81.80	399.75	0.018	0.030	0.04135



Gambar 4.27 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Atas

Berdasarkan tabel 4.19 dan gambar 4.27 nilai respon daya paling optimal pada proses *surface finish contour* berada pada kombinasi ke-9 dengan nilai *feedrate* 1066 mm/menit (level III), *retrack rate* 10000 mm/menit (level III), dan *depth of cut* 0.75 mm (level II) dengan nilai respon daya 0.4135 kWh.

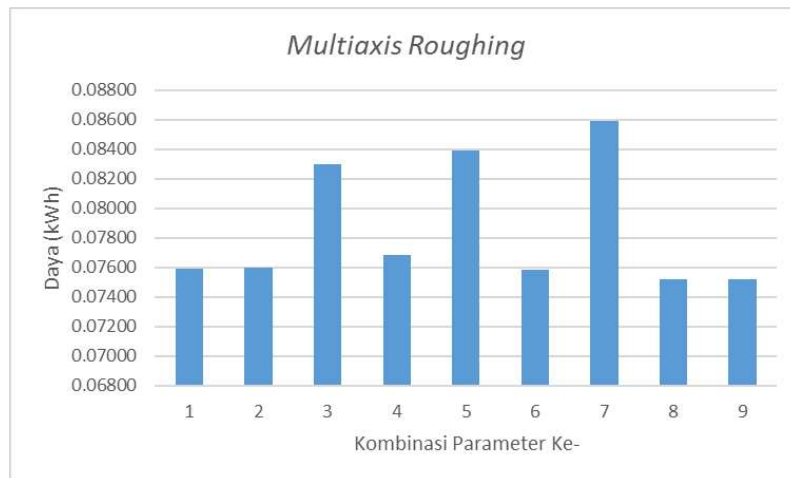
4.4.6 *Multiaxis Roughing*

Tabel 4.20 Nilai Parameter Proses *Multiaxis Roughing*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	790	1184	1579	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.21 Nilai Respon Daya Proses *Multiaxis Roughing*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR (mm ³ /min)	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	790	5000	1	70.38	1422	0.065	0.108	0.07593
2	790	7500	2	35.23	2844	0.129	0.216	0.07602
3	790	10000	3	25.63	4266	0.194	0.324	0.08295
4	1184	5000	2	23.76	4262.4	0.194	0.323	0.07684
5	1184	7500	3	17.3	6393.6	0.291	0.485	0.08392
6	1184	10000	1	46.92	2131.2	0.097	0.162	0.07587
7	1579	5000	3	13.28	8526.6	0.388	0.647	0.08591
8	1579	7500	1	34.88	2842.2	0.129	0.216	0.07521
9	1579	10000	2	17.43	5684.4	0.259	0.431	0.07517



Gambar 4.28 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Multiaxis Roughing*

Berdasarkan tabel 4.21 dan gambar 4.28 nilai respon daya paling optimal pada proses *multiaxis roughing* berada pada kombinasi ke-9 dengan nilai *feedrate* 1579 mm/menit (level III), *retrack rate* 10000 mm/menit (level III), dan *depth of cut* 2 mm (level II) dengan nilai respon daya 0.07517 kWh.

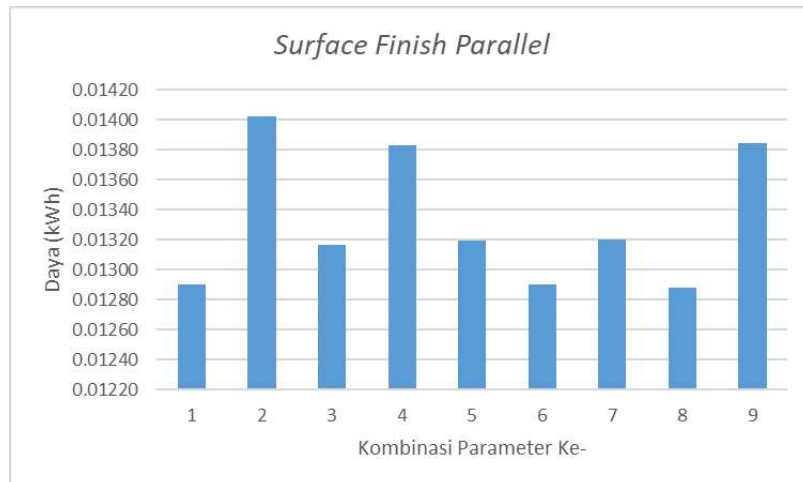
4.4.7 Surface Finish Parallel

Tabel 4.22 Nilai Parameter Proses *Surface Finish Parallel*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.23 Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Parallel*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	143.48	118.5	0.005	0.009	0.01290
2	237	7500	2	77.98	237	0.011	0.018	0.01402
3	237	10000	3	48.82	355.5	0.016	0.027	0.01317
4	474	5000	2	38.46	474	0.022	0.036	0.01383
5	474	7500	3	24.46	711	0.032	0.054	0.01319
6	474	10000	1	71.76	237	0.011	0.018	0.01290
7	711	5000	3	16.32	1066.5	0.049	0.081	0.01321
8	711	7500	1	47.75	355.5	0.016	0.027	0.01288
9	711	10000	2	25.66	711	0.032	0.054	0.01384



Gambar 4.29 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Parallel*

Berdasarkan tabel 4.23 dan gambar 4.29 nilai respon daya paling optimal pada proses *surface finish parallel* berada pada kombinasi ke-8 dengan nilai *feedrate* 711 mm/menit (level III), *retrack rate* 7500 mm/menit (level II), dan *depth of cut* 1 mm (level I) dengan nilai respon daya 0.01288 kWh.

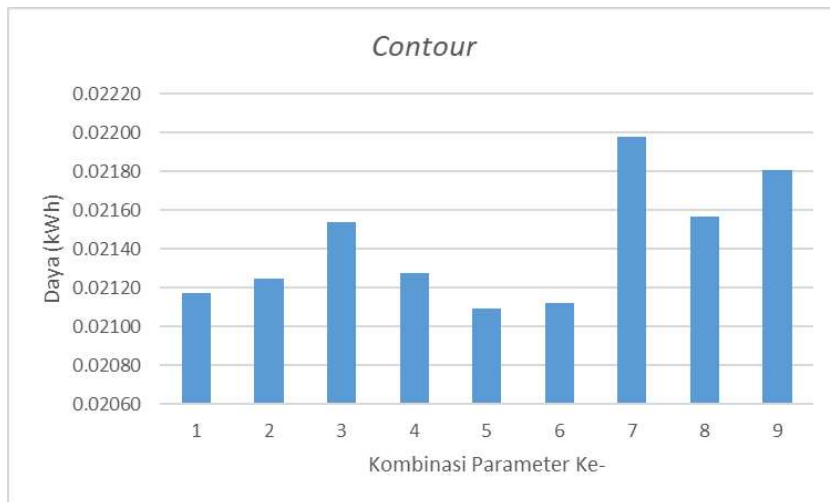
4.4.8 *Contour* (Cetakan Bawah)

Tabel 4.24 Nilai Parameter Proses *Contour* Cetakan Bawah

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.25 Nilai Respon Daya Proses *Contour* Cetakan Bawah

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	235.52	118.5	0.005	0.009	0.02117
2	237	7500	2	118.16	237	0.011	0.018	0.02125
3	237	10000	3	79.86	355.5	0.016	0.027	0.02154
4	474	5000	2	59.16	474	0.022	0.036	0.02127
5	474	7500	3	39.10	711	0.032	0.054	0.02109
6	474	10000	1	117.45	237	0.011	0.018	0.02112
7	711	5000	3	27.16	1066.5	0.049	0.081	0.02198
8	711	7500	1	79.96	355.5	0.016	0.027	0.02157
9	711	10000	2	40.42	711	0.032	0.054	0.02180



Gambar 4.30 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Contour* Cetakan Bawah

Berdasarkan tabel 4.25 dan gambar 4.30 nilai respon daya paling optimal pada proses *contour* berada pada kombinasi ke-5 dengan nilai *feedrate* 474 mm/menit (level II), *retrack rate* 7500 mm/menit (level II), dan *depth of cut* 3 mm (level III) dengan nilai respon daya 0.02109 kWh.

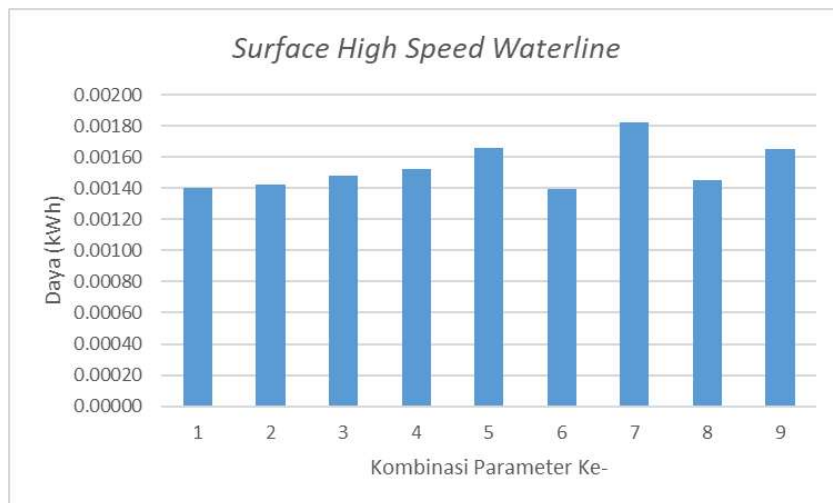
4.4.9 Surface High Speed Waterline

Tabel 4.26 Nilai Parameter Proses *Surface High Speed Waterline*

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.27 Nilai Respon Daya Proses *Surface High Speed Waterline*

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR mm ³ /min	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	15.58	118.5	0.005	0.009	0.00140
2	237	7500	2	7.92	237	0.011	0.018	0.00142
3	237	10000	3	5.48	355.5	0.016	0.027	0.00148
4	474	5000	2	4.23	474	0.022	0.036	0.00152
5	474	7500	3	3.08	711	0.032	0.054	0.00166
6	474	10000	1	7.75	237	0.011	0.018	0.00139
7	711	5000	3	2.25	1066.5	0.049	0.081	0.00182
8	711	7500	1	5.38	355.5	0.016	0.027	0.00145
9	711	10000	2	3.06	711	0.032	0.054	0.00165



Gambar 4.31 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Surface High Speed Waterline*

Berdasarkan tabel 4.27 dan gambar 4.31 nilai respon daya paling optimal pada proses *surface high speed waterline* berada pada kombinasi ke-6 dengan nilai *feedrate* 474 mm/menit (level II), *retrack rate* 10000 mm/menit (level III), dan *depth of cut* 1 mm (level I) dengan nilai respon daya 0.00139 kWh.

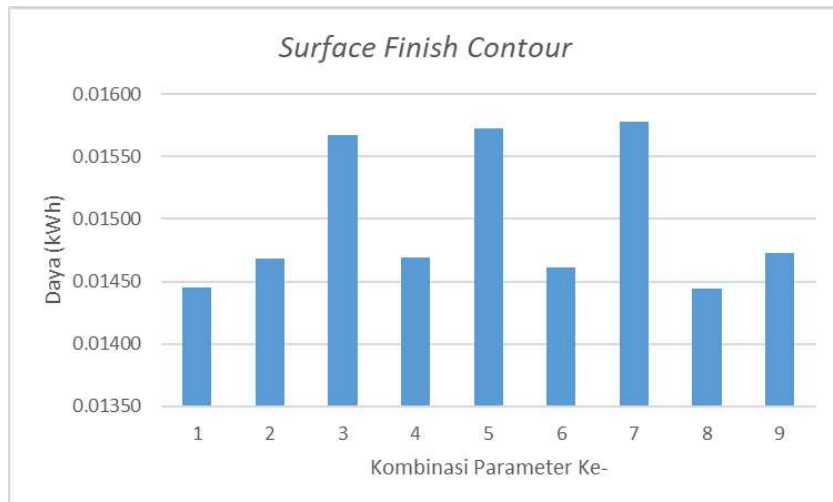
4.4.10 Surface Finish Contour (Cetakan Bawah)

Tabel 4.28 Nilai Parameter Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Bawah

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	F	237	474	711	mm/min
<i>Retrack Rate</i>	Vr	5000	7500	10000	mm/min
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

Tabel 4.29 Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Bawah

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	MRR (mm ³ /min)	HPc (kW)	HPm (kW)	kWh
	F	Vr	a					
1	237	5000	1	160.72	118.5	0.005	0.009	0.01445
2	237	7500	2	81.66	237	0.011	0.018	0.01468
3	237	10000	3	58.10	355.5	0.016	0.027	0.01567
4	474	5000	2	40.86	474	0.022	0.036	0.01469
5	474	7500	3	29.15	711	0.032	0.054	0.01572
6	474	10000	1	81.25	237	0.011	0.018	0.01461
7	711	5000	3	19.50	1066.5	0.049	0.081	0.01578
8	711	7500	1	53.55	355.5	0.016	0.027	0.01444
9	711	10000	2	27.30	711	0.032	0.054	0.01473



Gambar 4.32 Grafik Nilai Respon Daya Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Bawah

Berdasarkan tabel 4.29 dan gambar 4.32 nilai respon daya paling optimal pada proses *surface finish contour* berada pada kombinasi ke-8 dengan nilai *feedrate* 711 mm/menit (level III), *retrack rate* 7500 mm/menit (level II), dan *depth of cut* 1 mm (level I) dengan nilai respon daya 0.01444 kWh.

4.5 Analisa Variasi (ANOVA)

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan analisa menggunakan analisa varian sesuai faktor parameter, level dan pengolahan data berdasarkan statistik Anova untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel faktor (*feedrate*, *retrack rate* dan *depth of cut*) terhadap variabel respon (daya proses permesinan). Proses analisa varian menggunakan *software* mintiab 18. Hasil analisa pada setiap proses pengerjaan adalah sebagai berikut:

4.5.1 Facing

Tabel 4.30 Analisa Varian Proses *Facing*

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	4425.6	2212.81	24.90	0.039
Retrack Rate	2	179.6	89.81	1.01	0.497
Depth of Cut	2	4380.9	2190.44	24.65	0.039
Error	2	177.7	88.85		
Total	8	9163.8			

Berdasarkan hasil analisa data proses *facing* dengan *software* minitab pada tabel 4.30 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *facing feedrate* dan *depth of cut* memiliki nilai $P < 0.05$ berarti signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *facing* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 24.90 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai $F = 24.65$ dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai $F = 1.01$.

4.5.2 Pocket

Tabel 4.31 Analisa Varian Proses *Pocket*

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	0.27082	0.135411	11.00	0.083
Retrack Rate	2	0.01976	0.009878	0.80	0.555
Depth of Cut	2	0.21869	0.109344	8.88	0.101
Error	2	0.02462	0.012311		
Total	8	0.53389			

Berdasarkan hasil analisa data proses *pocket* dengan *software* minitab pada tabel 4.31 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang paling yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *pocket* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan

mempengaruhi respon daya. Pada proses *pocket* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 11.00 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai F= 8.88 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 0.80.

4.5.3 Contour (Cetakan Atas)

Tabel 4.32 Analisa Varian Proses *Contour* Cetakan Atas

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	333926	166963	9.37	0.096
Retrack Rate	2	35500	17750	1.00	0.501
Depth of Cut	2	335094	167547	9.40	0.096
Error	2	35640	17820		
Total	8	740159			

Berdasarkan hasil analisa data proses *contour* dengan *software* minitab pada tabel 4.32 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *contour* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *contour* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *depth of cut* yaitu 9.40 artinya *depth of cut* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *feedrate* dengan nilai F= 9.37 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 1.00.

4.5.4 Surface Rough Pocket

Tabel 4.33 Analisa Varian Proses *Surface Rough Pocket*

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	835164	417582	9.07	0.099
Retrack Rate	2	87447	43724	0.95	0.513
Depth of Cut	2	854300	427150	9.27	0.097
Error	2	92130	46065		
Total	8	1869041			

Berdasarkan hasil analisa data proses *surface rough pocket* dengan *software* minitab pada tabel 4.33 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *surface rough pocket* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses

surface rough pocket nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *depth of cut* yaitu 9.27 artinya *depth of cut* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *feedrate* dengan nilai F= 9.07 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 0.95.

4.5.5 Surface Finish Contour (Cetakan Atas)

Tabel 2.34 Analisa Varian Proses *Surface Finish Contour* Cetakan Atas

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	51504	25752	24.49	0.039
Retrack Rate	2	2093	1047	1.00	0.501
Depth of Cut	2	19650	9825	9.34	0.097
Error	2	2103	1051		
Total	8	75349			

Berdasarkan hasil analisa data proses *surface finish contour* dengan *software* minitab pada tabel 4.25 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *surface finish contour* *feedrate* memiliki nilai $P < 0.05$ berarti signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *surface finish contour* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 24.49 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai F= 9.34 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 1.00.

4.5.6 Multiaxis Roughing

Tabel 4.35 Analisa Varian Proses *Multiaxis Roughing*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	750.19	375.09	9.66	0.094
Retrack Rate	2	75.64	37.82	0.97	0.507
Depth of Cut	2	1685.21	842.61	21.71	0.044
Error	2	77.64	38.82		
Total	8	2588.67			

Berdasarkan hasil analisa data proses *multiaxis roughing* dengan *software* minitab pada tabel 4.35 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *multiaxis roughing* *depth of cut* memiliki nilai $P < 0.05$ berarti

signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *multiaxis roughing* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *depth of cut* yaitu 21.71 artinya *depth of cut* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *feedrate* dengan nilai F= 9.66 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 0.97.

4.5.7 Surface Finish Parallel

Tabel 4.36 Analisa Varian Proses *Surface Finish Parallel*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	5889.6	2944.8	10.29	0.089
Retrack Rate	2	559.2	279.6	0.98	0.506
Depth of Cut	2	5270.5	2635.3	9.21	0.098
Error	2	572.4	286.2		
Total	8	12291.7			

Berdasarkan hasil analisa data proses *surface finish parallel* dengan *software* minitab pada tabel 4.36 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *surface finish parallel* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *surface finish parallel* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 10.29 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai F= 9.21 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 0.98.

4.5.8 Contour (Cetakan Bawah)

Tabel 4.37 Analisa Varian Proses *Contour* Cetakan Bawah

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	14877	7438.5	9.65	0.094
Retrack Rate	2	1582	790.8	1.03	0.494
Depth of Cut	2	14855	7427.6	9.63	0.094
Error	2	1542	771.0		
Total	8	32856			

Berdasarkan hasil analisa data proses *contour* dengan *software* minitab pada tabel 4.37 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *contour* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang

signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *contour* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 9.65 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai F= 9.63 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 1.03.

4.5.9 Surface High Speed Waterline

Tabel 4.38 Analisa Varian Proses *Surface High Speed Waterline*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	60.821	30.410	8.24	0.108
Retrack Rate	2	7.285	3.642	0.99	0.503
Depth of Cut	2	58.002	29.001	7.86	0.113
Error	2	7.378	3.689		
Total	8	133.486			

Berdasarkan hasil analisa data proses *surface high speed waterline* dengan *software* minitab pada tabel 4.38 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon daya. Pada proses *surface high speed waterline* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *surface high speed waterline* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *feedrate* yaitu 8.24 artinya *feedrate* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *depth of cut* dengan nilai F= 7.86 dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai F= 0.99.

4.5.10 Surface Finish Contour (Cetakan Bawah)

Tabel 4.39 Analisa Varian Proses *Surface Finish Contour* Cetakan bawah

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feedrate	2	337014	168507	12.00	0.077
Retrack Rate	2	28084	14042	1.00	0.500
Depth of Cut	2	337014	168507	12.00	0.077
Error	2	28084	14042		
Total	8	730197			

Berdasarkan hasil analisa data proses *surface finish contour* dengan *software* minitab pada tabel 4.39 tersebut dapat kita simpulkan beberapa hal. Jika nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap respon

daya. Pada proses *surface finish contour* semua faktor memiliki nilai $P > 0.05$ berarti tidak ada faktor yang signifikan mempengaruhi respon daya. Pada proses *surface finish contour* nilai F paling besar dari ketiga faktor pada percobaan adalah *depth of cut* yaitu 12.00 artinya *depth of cut* memberikan pengaruh paling besar terhadap respon daya, kemudian yang kedua *feedrate* dengan nilai $F = 12.00$ dan yang terakhir *retrack rate* dengan nilai $F = 1.00$.

4.6 Perhitungan Nilai Rasio S/N dan Analisa Nilai Rata-Rata Rasio S/N

Perhitungan nilai rasio S/N tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari respon. Respon daya memiliki karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik. Rasio S/N dari respon daya tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

Nilai rata-rata rasio S/N digunakan sebagai faktor kontrol untuk mengidentifikasi kombinasi variabel bebas yang paling optimal terhadap rata – rata respon daya yang dibutuhkan setiap proses. Hasil perhitungan rasio S/N dari respon daya untuk setiap proses pengerjaan (*toolpath*) dengan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik adalah sebagai berikut:

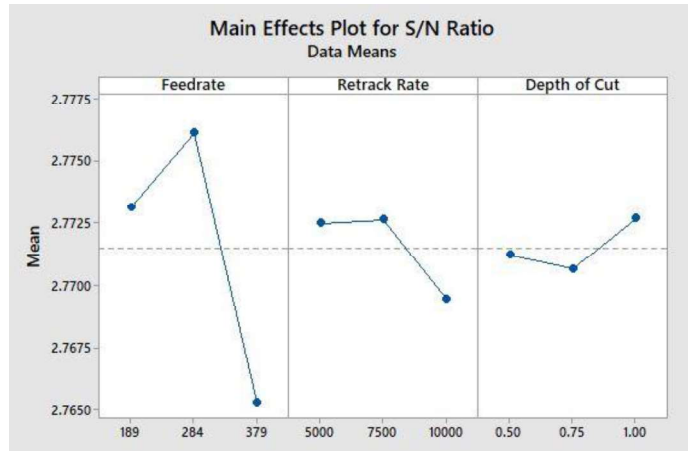
4.6.1 Facing

Tabel 4.40 Nilai Rasio S/N Proses *Facing*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	F	Vr	a	
1	189	5000	0.5	2.775
2	189	7500	0.75	2.776
3	189	10000	1	2.768
4	284	5000	0.75	2.772
5	284	7500	1	2.780
6	284	10000	0.5	2.776
7	379	5000	1	2.770
8	379	7500	0.5	2.762
9	379	10000	0.75	2.764

Tabel 4.41 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Facing*

Level	F	Vr	a
1	2.773	2.772	2.771
2	2.776	2.773	2.771
3	2.765	2.769	2.773
Delta	0.011	0.003	0.001



Gambar 4.33 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Facing*

Berdasarkan tabel 4.40 dan gambar 4.33 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *facing* adalah *feedrate* pada level II (284 mm/menit), *retract rate* pada level II (7500 mm/menit), dan *depth of cut* pada level III (1 mm).

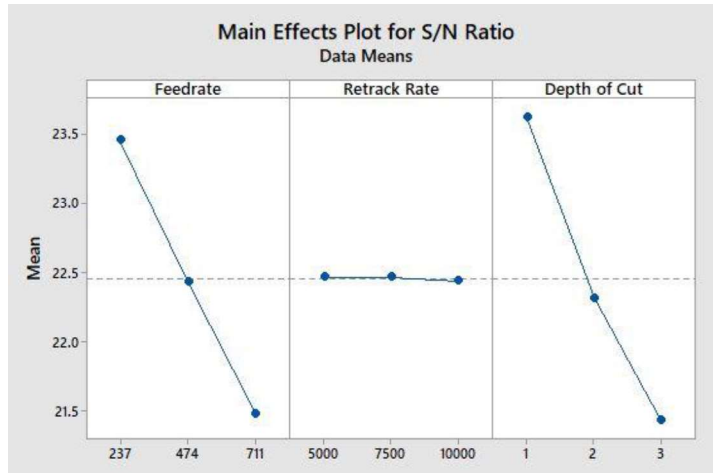
4.6.2 Pocket

Tabel 4.42 Nilai Rasio S/N Proses *Pocket*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	F	Vr	a	
1	237	5000	1	24.442
2	237	7500	2	23.390
3	237	10000	3	22.538
4	474	5000	2	22.432
5	474	7500	3	21.219
6	474	10000	1	23.650
7	711	5000	3	20.530
8	711	7500	1	22.788
9	711	10000	2	21.129

Tabel 4.43 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Pocket*

Level	F	Vr	a
1	23.457	22.468	23.626
2	22.434	22.466	22.317
3	21.482	22.439	21.429
Delta	1.974	0.029	2.197



Gambar 4.34 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Pocket*

Berdasarkan tabel 4.42 dan gambar 4.34 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *pocket* adalah *feedrate* pada level I (237 mm/menit), *retrack rate* pada level I (5000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level I (1 mm).

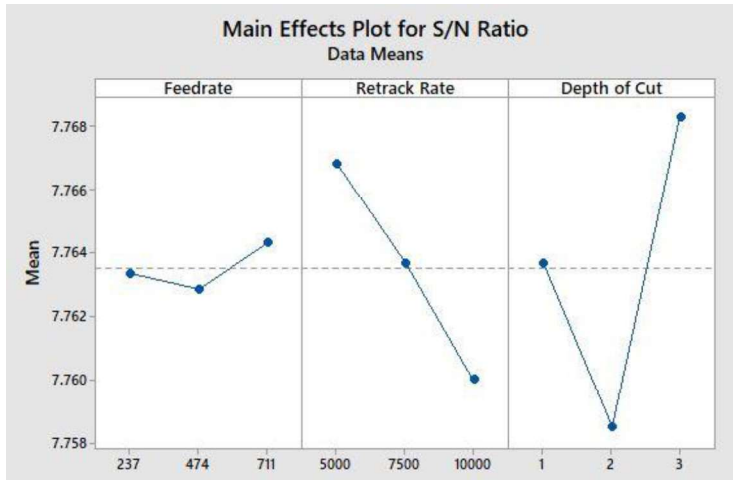
4.6.3 Contour (Cetakan Atas)

Tabel 4.44 Nilai Rasio S/N Proses *Contour*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	237	5000	1	7.765
2	237	7500	2	7.763
3	237	10000	3	7.762
4	474	5000	2	7.759
5	474	7500	3	7.766
6	474	10000	1	7.764
7	711	5000	3	7.777
8	711	7500	1	7.762
9	711	10000	2	7.754

Tabel 4.45 Nilai Rasio S/N Proses *Contour*

Level	F	Vr	a
1	7.763	7.767	7.764
2	7.763	7.764	7.759
3	7.764	7.760	7.768
Delta	0.001	0.007	0.010



Gambar 4.35 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Contour*

Berdasarkan tabel 4.44 dan gambar 4.35 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *contour* adalah *feedrate* pada level III (711 mm/menit), *retrack rate* pada level I (5000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level III (3 mm).

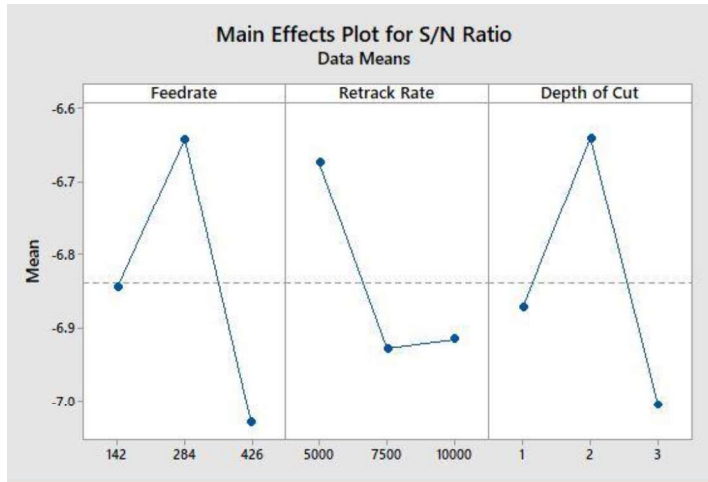
4.6.4 Surface Rough Pocket

Tabel 4.46 Nilai Rasio S/N Proses *Surface Rough Pocket*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	F	Vr	a	
1	142	5000	1	-6.818
2	142	7500	2	-6.824
3	142	10000	3	-6.893
4	284	5000	2	-6.085
5	284	7500	3	-7.003
6	284	10000	1	-6.841
7	426	5000	3	-7.119
8	426	7500	1	-6.958
9	426	10000	2	-7.013

Tabel 4.47 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Rough Pocket*

Level	F	Vr	a
1	-6.845	-6.674	-6.872
2	-6.643	-6.929	-6.641
3	-7.030	-6.916	-7.005
Delta	0.387	0.254	0.364



Gambar 4.36 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N *Surface Rough Pocket*

Berdasarkan tabel 4.46 dan gambar 4.36 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *surface rough pocket* adalah *feedrate* pada level II (284 mm/menit), *retract rate* pada level I (5000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level II (2 mm).

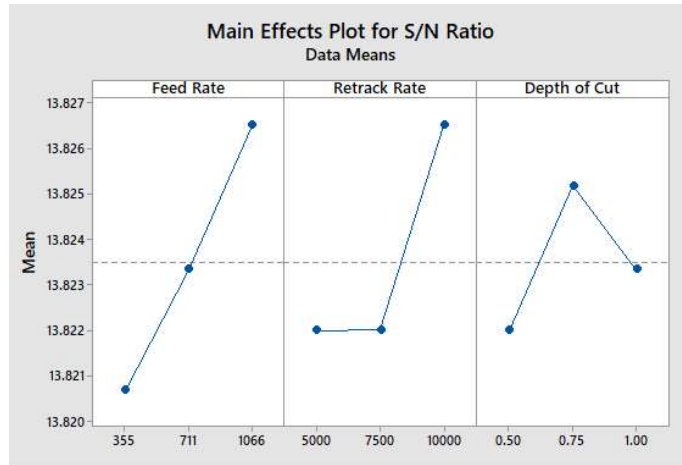
4.6.5 *Surface Finish Contour* (Cetakan Atas)

Tabel 4.48 Nilai Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	F	Vr	a	
1	355	5000	0.5	13.822
2	355	7500	0.75	13.818
3	355	10000	1	13.822
4	711	5000	0.75	13.822
5	711	7500	1	13.826
6	711	10000	0.5	13.822
7	1066	5000	1	13.822
8	1066	7500	0.5	13.822
9	1066	10000	0.75	13.835

Tabel 4.49 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*

Level	F	Vr	a
1	13.821	13.822	13.822
2	13.823	13.822	13.825
3	13.826	13.826	13.823
Delta	0.006	0.004	0.003



Gambar 4.37 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*. Berdasarkan tabel 4.48 dan gambar 4.37 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *surface finish contour* adalah *feedrate* pada level III (1066 mm/menit), *retract rate* pada level III (10000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level II (0.75 mm).

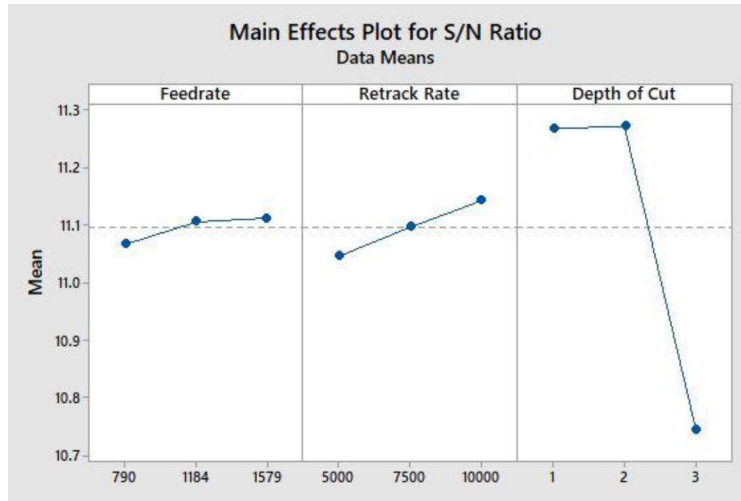
4.6.6 *Multiaxis Roughing*

Tabel 4.50 Nilai Rasio S/N Proses *Multiaxis Roughing*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	474	5000	1	11.196
2	474	7500	2	11.191
3	474	10000	3	10.812
4	947	5000	2	11.144
5	947	7500	3	10.761
6	947	10000	1	11.200
7	1421	5000	3	10.660
8	1421	7500	1	11.335
9	1421	10000	2	11.340

Tabel 4.51 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Multiaxis Roughing*

Level	F	Vr	a
1	11.0662	11.0000	11.2435
2	11.0352	11.0958	11.2251
3	11.1116	11.1171	10.7443
Delta	0.0764	0.1171	0.4808



Gambar 4.38 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Multiaxis Roughing*

Berdasarkan tabel 4.50 dan gambar 4.38 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *multiaxis roughing* adalah *feedrate* pada level III (1579 mm/menit), *retrack rate* pada level III (10000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level II (2 mm).

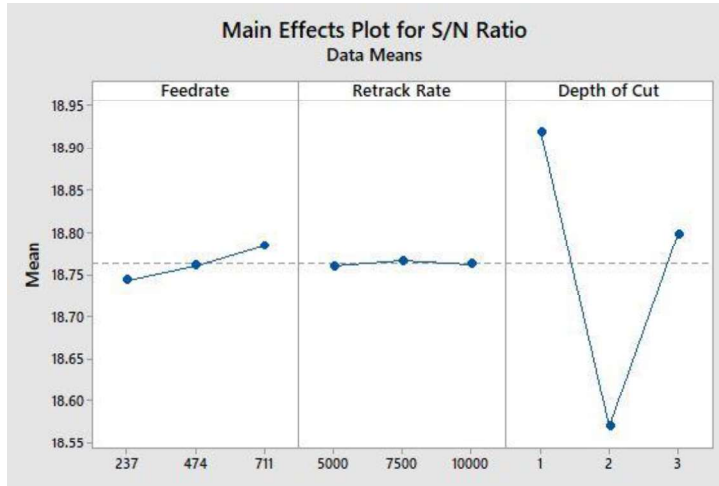
4.6.7 Surface Finish Parallel

Tabel 4.52 Nilai Rasio S/N Proses *Surface Finish Parallel*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	237	5000	1	18.894
2	237	7500	2	18.532
3	237	10000	3	18.805
4	474	5000	2	18.592
5	474	7500	3	18.796
6	474	10000	1	18.893
7	711	5000	3	18.793
8	711	7500	1	18.970
9	711	10000	2	18.588

Tabel 4.53 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Parallel*

Level	F	Vr	a
1	18.7438	18.7595	18.9191
2	18.7603	18.7661	18.5706
3	18.7836	18.7621	18.7979
Delta	0.0398	0.0066	0.3485



Gambar 4.39 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Parallel*

Berdasarkan tabel 4.52 dan gambar 4.39 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *surface finish parallel* adalah *feedrate* pada level III (711 mm/menit), *retrack rate* pada level II (7500 mm/menit), dan *depth of cut* pada level I (1 mm).

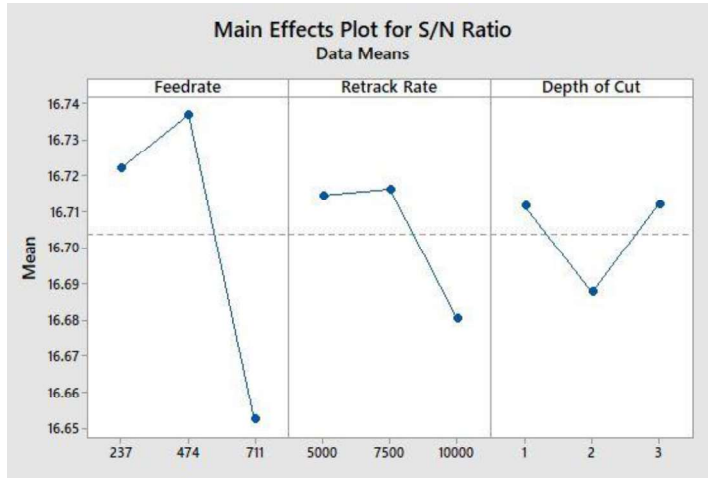
4.6.8 Contour (Cetakan Bawah)

Tabel 4.54 Nilai Rasio S/N Proses *Contour*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	237	5000	1	16.742
2	237	7500	2	16.727
3	237	10000	3	16.697
4	474	5000	2	16.721
5	474	7500	3	16.759
6	474	10000	1	16.730
7	711	5000	3	16.680
8	711	7500	1	16.662
9	711	10000	2	16.615

Tabel 4.55 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Contour*

Level	F	Vr	a
1	16.7221	16.7144	16.7114
2	16.7368	16.7161	16.6878
3	16.6523	16.6806	16.7120
Delta	0.0844	0.0356	0.0242



Gambar 4.40 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Contour*

Berdasarkan tabel 4.54 dan gambar 4.40 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *contour* adalah *feedrate* pada level II (711 mm/menit), *retrack rate* pada level II (7500 mm/menit), dan *depth of cut* pada level III (3 mm).

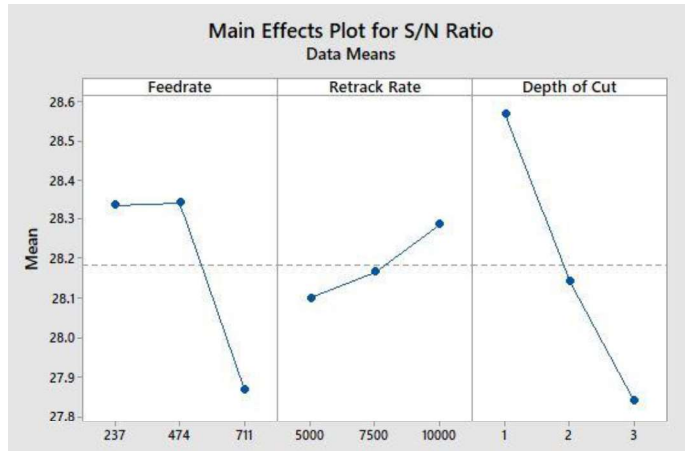
4.6.9 Surface High Speed Waterline

Tabel 4.56 Nilai Rasio S/N Proses *Surface High Speed Waterline*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	237	5000	1	28.537
2	237	7500	2	28.234
3	237	10000	3	28.243
4	474	5000	2	28.365
5	474	7500	3	27.879
6	474	10000	1	28.789
7	711	5000	3	27.398
8	711	7500	1	28.383
9	711	10000	2	27.823

Tabel 4.57 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface High Speed Waterline*

Level	F	Vr	a
1	28.3378	28.0998	28.5696
2	28.3443	28.1654	28.1408
3	27.8682	28.2852	27.8400
Delta	0.4761	0.1853	0.7296



Gambar 4.41 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface High Speed*

Berdasarkan tabel 4.56 dan gambar 4.41 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *surface high speed waterline* adalah *feedrate* pada level II (474 mm/menit), *retract rate* pada level III (10000 mm/menit), dan *depth of cut* pada level I (1 mm).

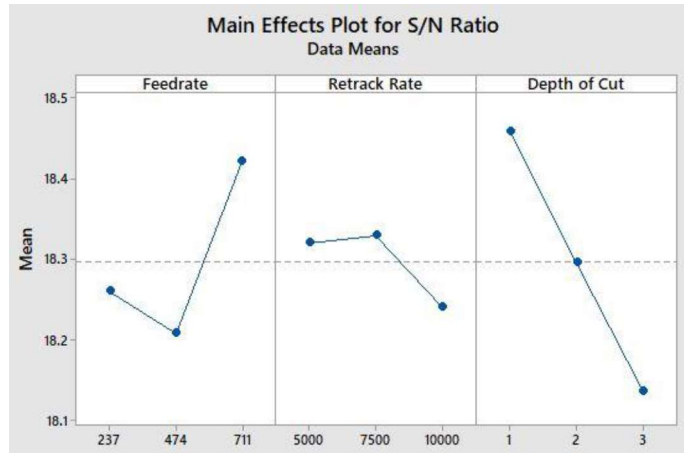
4.6.10 *Surface Finish Contour* (Cetakan Bawah)

Tabel 4.58 Nilai Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*

No	Kombinasi Parameter			Ratio S/N
	Fz	Vr	a	
1	237	5000	1	18.402
2	237	7500	2	18.332
3	237	10000	3	18.049
4	474	5000	2	18.237
5	474	7500	3	18.034
6	474	10000	1	18.354
7	711	5000	3	18.324
8	711	7500	1	18.623
9	711	10000	2	18.319

Tabel 4.59 Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*

Level	F	Vr	a
1	18.2609	18.3208	18.4594
2	18.2083	18.3297	18.2960
3	18.4220	18.2407	18.1359
Delta	0.2137	0.0890	0.3235



Gambar 4.42 Grafik Nilai Rata-Rata Rasio S/N Proses *Surface Finish Contour*

Berdasarkan tabel 4.58 dan gambar 4.42 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter paling optimal pada proses *surface finish contour* adalah *feedrate* pada level III (711 mm/menit), *retrack rate* pada level II (7500 mm/menit), dan *depth of cut* pada level I (1 mm).

4.7 Perhitungan Waktu Total Produksi

Beberapa komponen yang menjadi parameter tolak ukur perhitungan biaya produksi, antara lain:

4.7.1 Waktu Variabel Proses

- a. Waktu Pemasangan Benda Kerja (t_a)

Waktu pemasangan benda kerja meliputi pengambilan *raw material* dan proses pemasangan benda di meja mesin. Waktu pemasangan benda kerja diasumsikan @30 menit, karena ada dua benda maka waktu pemasangan benda kerja menjadi 60 menit.

- b. Waktu Penentuan *Zero Point Tools* (t_b)

Zero point tools merupakan penentuan titik acuan benda atau titik awal benda kerja. Untuk *zero point tool* biasanya menggunakan *tool center*. Nilai *zero point tool* untuk masing-masing pahat berbeda, jadi masing-masing pahat harus diatur sendiri-sendiri. Penentuan ***zero point tool*** diasumsikan @10 menit. Pengerjaan *dies impeller* ini menggunakan 5 variasi *tool* jadi waktu total *zero point* adalah 50 menit

- c. Waktu Pemotongan (t_c)

Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi *MaterCam*. Waktu pemotongan benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.59, yaitu sebesar 953.35 menit.

Tabel 4.60 Waktu dan Daya Total Proses Permesinan

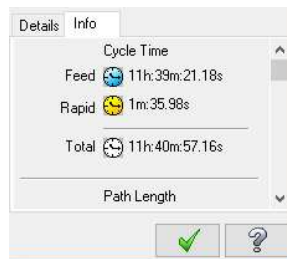
Proses Pengerjaan	<i>Toolpath</i>	Waktu (Menit)	kWh
Cetakan Atas	<i>Facing</i>	48.98	0.5277
	<i>Pocket</i>	1.2	0.036
	<i>Contour</i>	123.72	0.1668
	<i>Surface Rough Pocket</i>	445.22	4.7965
	<i>Surface Finish Contour</i>	81.8	0.04135
	<i>Multiaxis Roughing</i>	104.58	0.45102
Cetakan Bawah	<i>Surface Finish Parallel</i>	47.45	0.01288
	<i>Contour</i>	39.10	0.02109
	<i>Surface High Speed Waterline</i>	7.75	0.00139
	<i>Surface Finish Contour</i>	53.55	0.01444
Total		953.35	6.06917

d. Waktu Pergantian Pahat (t_p)

Merupakan waktu transisi dari *toolpath* satu ke *toolpath* selanjutnya yang berbeda jenis pahat. Untuk jenis mesin CNC yang memiliki magazine atau tempat pergantian pahat otomatis, maka nilainya relative singkat sekitar 1 menit tiap transisi. Jadi untuk 5 transisi membutuhkan waktu 5 menit.

4.7.2 Komponen Waktu Bebas (t_s)

Komponen waktu bebas merupakan waktu non produktif saat pengerjaan benda. Yaitu waktu gerak pahat tanpa menyayat termasuk waktu awal mulai pengerjaan dan akhir pengerjaan. Waktu ini dapat dilihat pada gambar 4.23 dan 4.24 yaitu *cycle time* untuk *rapid* yaitu sebesar 2m: 9d atau 2.15 menit.



Gambar 4.43 *Cycle Time* Pengerjaan Cetakan Atas



Gambar 4.44 *Cycle Time* Pengerjaan Cetakan Bawah

4.7.3 Waktu Permesinan Rata-Rata (t_m)

Merupakan jumlah waktu dari komponen waktu proses, dan komponen waktu bebas. Dari persamaan 2.1 maka didapat:

$$\begin{aligned}
 t_m &= t_a + t_b + t_c + t_t + t_s \text{ menit} \\
 &= 60 + 50 + 953.35 + 5 + 2.15 \\
 &= \mathbf{1070.5} \text{ menit} \\
 &= \mathbf{17 \text{ jam: } 50 \text{ menit: } 30 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$

Jadi waktu total proses produksi *dies impeller* adalah **17 jam: 50 menit: 30 detik**. Waktu tersebut digunakan untuk menghitung dasar biaya produksi.

4.8 Perhitungan Biaya Total Produksi

4.8.1 Biaya Material

Material yang digunakan adalah FCD (*ferro casting ductile*) dengan ukuran 362mm x 362mm x 162mm untuk cetakan atas dan (362mm x 362mm x 22mm) + (Ø52mm x 162mm) untuk cetakan bawah.. Harga per kilogramnya Rp. 35000. Diketahui massa jenis FCD adalah 7200 kg/m³ jadi massa dari benda kerja dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V}, m = \rho \times V \dots\dots\dots (4.5)$$

Dimana:

- ρ = massa jenis, kg/m³
- ρ = 7200 kg/m³
- m = massa, kg
- V = volume, m³

$$\begin{aligned}
 V &= (362 \times 362 \times 162) + (362 \times 362 \times 22) + (3.14 \times 26^2 \times 160) \text{ mm}^3 \\
 &= 24451718 \text{ mm}^3 \\
 &= 0.0244 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \times V \\
 &= 7200 \times 0.0244 \\
 &= 175,68 \text{ kg} \sim 176 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Biaya material dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga material } (C_m) &= \text{harga per kg} \times \text{massa} \\
 &= 35000 \times 176 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp. } 6.160.000, -
 \end{aligned}$$

4.8.2 Biaya Proses atau Biaya Tetap per Tahun

Biaya proses atau biaya tetap per tahun merupakan biaya yang meliputi biaya mesin, peralatan, perlatan dan biaya pahat. Lihat tabel 4.61.

Tabel 4. 61 Harga Mesin dan Peralatan

Mesin dan Peralatan	Harga
Face Mill Ø50	988.026
Flat End mill Ø20	1.839.391
Flat End mill Ø3	113.420
Sphere Endmill Ø25	2.074.631
Sphere Endmill Ø10	322.794
Mesin CNC 5-axis VMC-1060L3	576.160.000
Total	581.498.262

Dalam menentukan biaya tetap pertahun menggunakan persamaan 2.2:

$$C_f = C_{ob} \left\{ \frac{1}{y} + \frac{y+1}{2y} I_{pti} \right\}$$

Dimana:

- C_f = Biaya tetap pertahun
- C_{ob} = harga peralatan mesin
- y = Waktu penyusutan (20 tahun)
- I_{pti} = Bunga-pajak-asuransi (20%)

Jika ditentukan periode penyusutan peralatan permesinan $y=20$ tahun dan nilai bunga-pajak-asuransi $I_{pti} = 20\%$, maka didapat:

$$\begin{aligned} C_f &= 581.498.262 \left\{ \frac{1}{20} + \frac{20+1}{2*20} 0,2 \right\} \\ &= \text{Rp. } 66.872.300, - \text{ per tahun} \end{aligned}$$

4.8.3 Biaya Permesinan

Biaya permesinan berkaitan dengan daya yang dihasilkan pada proses pengerjaan benda. Daya total yang digunakan selama proses *milling* dapat dilihat pada tabel 4.59 yaitu sebesar 6,06917 kWh. Harga daya untuk mesin CNC 11kVA adalah Rp. 1352,-. Per kWh, sehingga besarnya biaya per menit yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Biaya/menit} &= (\text{Kwh} \times \text{harga})/60 \dots \dots \dots (4.6) \\ &= 6,06917 \times 1352 / 60 \\ &= \text{Rp. } 137 / \text{menit} \end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya biaya daya pertahun maka perlu dilakukan perhitungan tentang kerja efektif (J). Dalam 1 minggu ada 5 hari kerja aktif dengan 8 jam (satu shift) tiap harinya dan ada 50 minggu per tahunnya, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$J = M \times H \times J_a \times 60 \dots \dots \dots (4.7)$$

Dimana:

- M = jumlah minggu efektif dalam 1 tahun
- H = Jumlah hari kerja dalam 1 minggu
- Ja = Jumlah jam kerja dalam 1 hari

$$\begin{aligned} \text{Jadi } J &= 50 \times 5 \times 8 \times 60 \\ &= 120000 \text{ menit/tahun} \end{aligned}$$

Biaya daya pertahun merupakan perkalian dari J dengan biaya daya permenit, perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{\text{daya}} &= \text{Biaya/menit} \times J \dots\dots\dots (4.8) \\ &= 137 \times 120000 \\ &= \text{Rp. } 16.440.000, - / \text{ tahun} \end{aligned}$$

Biaya pengoperasian CNC dilakukan oleh 1 orang operator dengan upah minimum regional (UMR) sebesar Rp 3.871.052, - perbulannya. Jadi untuk biaya operator pertahun adalah:

$$\begin{aligned} C_{\text{operator}} &= 1 \times \text{UMR} \times 12 \\ &= 1 \times 3.871.052 \times 12 \\ &= \text{Rp. } 46.452.624 \sim \text{Rp. } 46.452.650,-/\text{tahun} \end{aligned}$$

4.8.4 Biaya Operasi

Biaya operasi mesin permenit (C_m) merupakan jumlah keseluruhan biaya proses, daya, dan biaya operator dibagi dengan kerja efektif dalam 1 tahun, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_m &= (C_f + C_{\text{daya}} + C_{\text{operator}})/J \dots\dots\dots (4.9) \\ &= (66.872.300 + 16.440.000 + 46.452.650)/120000 \\ &= \text{Rp. } 1081,4 / \text{ menit} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan biaya operasi mesin permenit dapat dihitung biaya operasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_o &= C_m \times t_m \dots\dots\dots (4.10) \\ &= 1081,4 \times 1070,5 \\ &= \text{Rp. } 1.157.638, - \sim \text{Rp. } 1.157.650,- \end{aligned}$$

4.8.5 Biaya Produksi

Biaya produksi (C_u) merupakan biaya total proses pengerjaan *dies impeller*. Biaya produksi dapat dihitung dengan persamaan 2.3, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_u &= C_m + C_o \\ &= 6.160.000,- + 1.157.650,- \\ &= \text{Rp. } 7.317.650,- \end{aligned}$$

Jadi biaya total produksi pengerjaan *dies impeller* adalah sebesar **Rp. 7.317.650,-.**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil simulasi pengerjaan *dies impeller* pada *software MasterCam* dengan beberapa kombinasi parameter permesinan dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Pada simulasi pengerjaan *Dies Impeller* didapatkan 10 (sepuluh) langkah pengerjaan (*toolpath*) yaitu *facing*, *pocket*, *contour* (cetakan atas), *surface rough pocket*, *surface finish contour* (cetakan atas), *multiaxis roughing*, *surface finish paralle*, *contour* (cetakan bawah), *surface high speed waterline*, *surface finish contour* (cetakan bawah).
2. Dari hasil simulasi yang telah dilaksanakan dihitung waktu total proses produksi pengerjaan *dies impeller* yaitu sebesar 17 jam 50 menit 30 detik dengan daya pemotongan sebesar 6,06917 kWh.
3. Hasil perhitungan total biaya pengerjaan *dies impeller* sebesar Rp. 7.317.650,-.

5.2. Saran

Pada perencanaan proses produksi *dies impeller*, penulis menyarankan dari bentuk perencanaan yang telah dibuat dapat dikembangkan ke proses pengerjaan permesinan CNC yang sesungguhnya, sehingga didapatkan total waktu produksi serta konsumsi daya secara riil yang dijadikan acuan untuk menghitung total biaya produksi *dies impeller*.

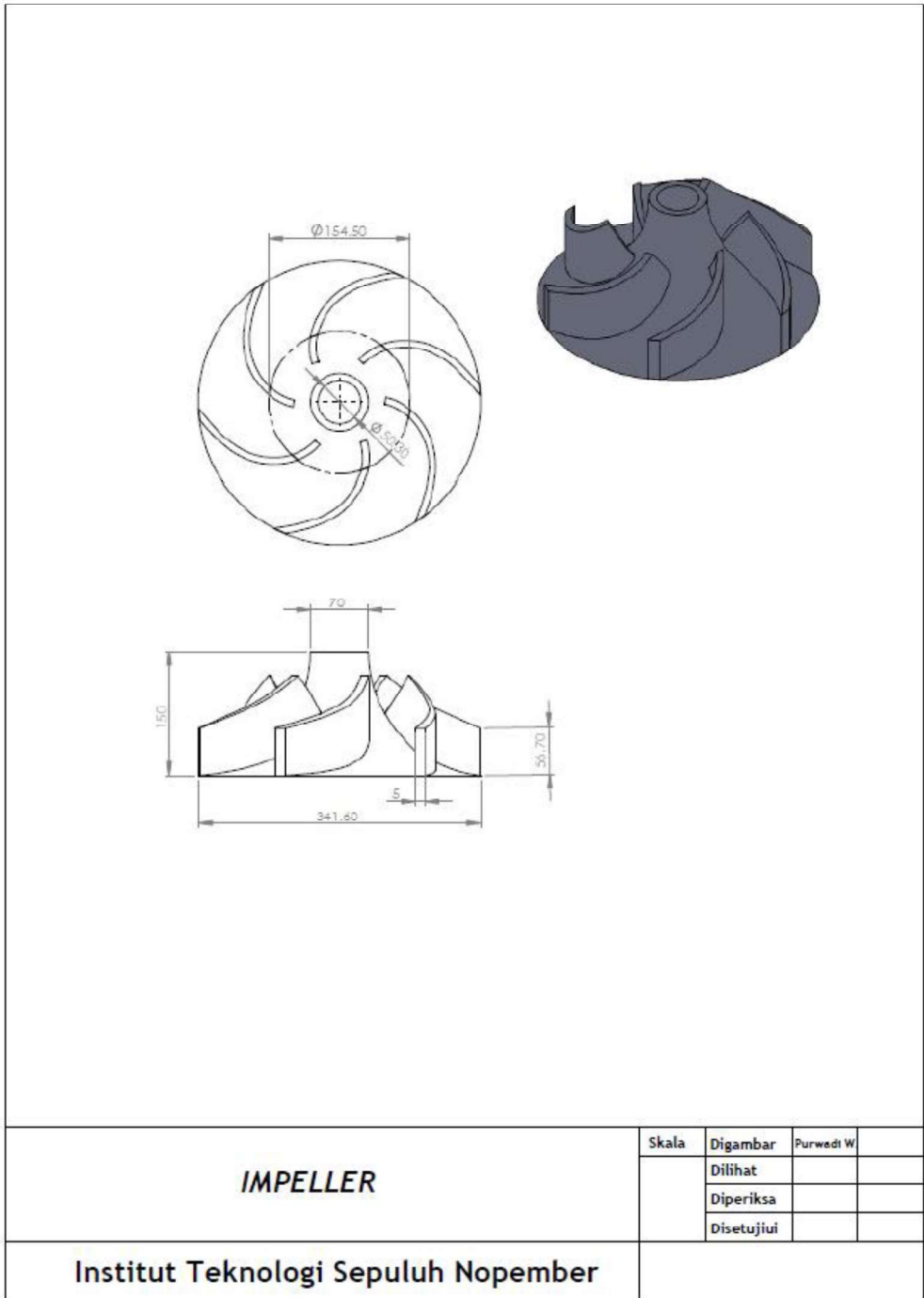
“Halaman ini sengaja dikosongkan”


DAFTAR PUSTAKA

- Utomo, Cahyo. (2017). *Perancangan dan Pembuatan Dies Permanent Mold Pengecoran Logam Dengan Material Besi Cor Ductile*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Firdaus. (2009). *Rancang Bangun Cetakan Permanen (Permanent Mold) Untuk Pembuatan Pulley Aluminium*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Supriyanta. (2018). *Desain Dan Proses Pembuatan Cetakan Permanen Dengan Material Logam Besi Cor Kelabu Hasil Coran Pasir Co2 Untuk Proses Pembuatan Flange Dengan Material Kuningan*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- I G.N.K. Yudhyadi, T. R. (2016). *Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Milling dengan Berbasis CAD/CAM*. *Dinamika Teknik Mesin*, VI(1), 38-50.
- Iskandar, W. (2016). *Analisa Teoritis Kebutuhan Daya Mesin Bubut Gear Head Turret*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Adi Nugraha, Sasmita. (2018). *Optimasi Desain Impeller Sea Water Pump Dengan Parameter Distribusi Blade Angle Pada Daerah Shroud Menggunakan Pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rochim, Taufiq. (2002). *Optimasi Proses Pemesinan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Ibnu Sabilillah, M. (2018). *Perancangan dan Perhitungan Waktu Total Proses Produksi Blade Controllable Pitch Propeller Dengan CNC untuk Perencanaan Biaya Produksi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wijanarka, B. (2013). *Cadcam untuk Mesin Bubut dan Frais Menggunakan MasterCam 9 dan X3*. Yogyakarta.
- Sumbodo, W. (2008). *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Mosey, C.A. (2015). *Perhitungan Waktu Dan Biaya Pada Proses Permesinan Benda Uji Tarik*. Manado : Universitas Sam Ratulangi
- Anto,Edi. (2013). *Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Turning*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Atmadio, Nico. (2018). *Optimasi Jalan Pahat dan Analisis Biaya Produksi Proses Permesinan CNC Lathe Pembuatan Piston Master Cylinder Rem Sepeda Motor Yamaha Menggunakan CAM*. Pekanbaru: Universitas Riau
- Kumbhar, Abhishek. (2015). *Multi-objective Optimization of Machining Parameters in CNC End Milling of Stainless Steel 304*. India: K.B.P. College of Engineering
- Gani Maulana, M. (2012). *Optimasi Pemesinan Pada Mesin Bubut Tipe M-300 Horriison Dengan Metode Optimasi Algoritma Genetika*. Jakarta: Uniersitas Indonesia

- Sumbodo, Wirawan. (2008). *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Depdiknas
- Van Hoten, Henry. (2012). *Pemodelan Sistem Perhitungan Tarif Mesin Produksi Dengan Memperhitungkan Beban Langsung dan Tak Langsung*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Widya Utama, D. (2009). *Optimalisasi Proses Parting pada Machining Benda Kerja Throttle*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara
- Harizzal Ikhlah. (2017). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System*. Pekanbaru: Universitas Riau
- Setyono, Gatot. (2016). *Optimasi Pemesinan Pembuatan Variasi Tutup Katub Suspensi Udara Honda Gl Max 125cc Di Mesin Turning Cnc TU-2A*. Surabaya: Institut Adhi Tama Surabaya
- Hamdani, Ficky. (2014). *Optimasi Pemesinan Pada Mesin Bubut Tipe M-300 Horrison Dengan Metode Optimasi Algoritma Genetika*. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Daniel. (2009). *Optimasi Parameter Pemesinan Proses Cnc Freis Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Candra, Susila. (2009). *Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology*. Surabaya: Universitas Surabaya
- Bagus Prasetyo, A. (2015). *Aplikasi Metode Taguchi Pada Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat Hss Pada Proses Bubut Material St 37*. Kediri: Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia

LAMPIRAN





MT2 M10 Shank 400R 50mm Face End Mill Cutter + 10pcs Carbide Insert APMT1604 CNC
 Sold by Balance World Inc ★★★★★

Condition:

Jumlah:

Estimasi Berat Produk: **0.5 Kg**

Harga Produk: **RP 737,307**

Sembunyikan harga

BELI

US Tax (0%)
 US ship
 Fee other

RP 0
 RP 0
 RP 250,720

Total service fees and taxes **RP 250,720**

Total Biaya untuk Berat Estimasi 0.5 kg **RP 988,026**



5 sumbu vertikal jenis cnc harga mesin penggilingan VMC-1060L3

US \$30.000 - 40.000 / Set
 Pesanan Min. 1 Set/set

DAPATKAN HARGA TERBARU ON APP

Rincian Item

Pelabuhan:	Sherthen,China
Kemampuan Suplai:	100 Set/set untuk Month
Ketersediaan Pembayaran:	L/C,D/A,D/P,T/T,Western Union,MoneyGram
Rincian Kemasan:	paket kayu
Rincian Pengiriman:	25-30 hari setelah pembayaran
tempat aslinya:	China (saratani)
Jenis mesin:	CNC Mesin Pusat
ukuran meja:	1300*600mm
Travel:	1000*600*600mm
motor Spindle:	11kw
presisi:	Presisi tinggi
lensa:	BT40
umpan cepat:	30°/30°/30 m/min
Spindle kecepatan:	8000/10000/12000/15000 rpm
sistem kontrol:	Fanuc/Mitsubishi/Siemens
warna:	opsional

HTC 955-4393 10mm Carbide Ball End Mill Standard Length 3 Flute GP 30° Uncoated

Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.



Sale Price: \$22.41 Qty
List Price.: ~~\$24.98~~
SKU: 955-4393



Click on image to enlarge.

All items proudly made in the USA!

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Description Feeds & Speeds Manufacturer Re-sharpening

Description:

Carbide Ball End Mill Standard Length, 10mm x 22mm x 83mm, 3 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix

Dimensions: DIA=10mm FL=22mm OAL=83mm SHK=10mm

Brand: HTC

Series: HTC955

General Purpose

Diameter Information

Cutter Diameter: 0.3937 10.0mm

Diameter Tolerance: +.000" -.002"

OD Grind: Standard

Shank Information

Shank Diameter: 10mm

Shank Tolerance: +.0000" -.0005"

Weldon Flats: None

Length Information

Flute Length: 22mm

Neck Length: N/A

Over All Length: 83mm

Length Category: Standard

Fluting Information

Number of Flutes: 3

Helix Angle: 30°

Flute Index: Constant

Cut: Center Cutting Right Hand

Spiral: Right Hand

Coating and End Configuration

Coating: Uncoated

End Type: Single End Ball

Corner Radius: Ball

Corner Chamfer or Taper per Side: N/A

Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)

25.0mm Square End Mill Long Length HTC 460-2990 2FL GP 30° Uncoated

Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.



Sale Price: \$146.70

List Price: ~~\$163.00~~

SKU: 460-2990

Qty

1

Add To Cart



Click on image to enlarge.

All items proudly made in the USA!

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Description	Feeds & Speeds	Manufacturer	Re-sharpening
Description: Carbide Square End Mill Long Length, 25.0mm x 75mm x 150mm, 2 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix			
Dimensions: DIA=25.0mm FL=75mm OAL=150mm SHK=25.0mm			
Brand: HTC			
Series: HTC460			
General Purpose			
<u>Diameter Information</u>			
Cutter Diameter: 0.9843 25.0mm			
Diameter Tolerance: +.000" -.002"			
OD Grind: Standard			
<u>Shank Information</u>			
Shank Diameter: 1/64"			
Shank Tolerance: +.0000" -.0005"			
Weldon Flats: None			
<u>Length Information</u>			
Flute Length: 75mm			
Neck Length: N/A			
Over All Length: 150mm			
Length Category: Long			
<u>Fluting Information</u>			
Number of Flutes: 2			
Helix Angle: 30°			
Flute Index: Constant			
Cut: Center Cutting Right HAnd			
Spiral: Right Hand			
<u>Coating and End Configuration</u>			
Coating: Uncoated			
End Type: Single End Square			
Corner Radius: N/A			
Corner Chamfer or Taper per Side: N/A			
Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)			

20.0mm Square End Mill Long Length HTC 460-2790 4FL GP 30° Uncoated

Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.

Sale Price: \$127.70

Qty

1

Add To Cart

List Price.: ~~\$163.00~~

SKU: 460-2790



Click on image to enlarge.

All items proudly made in the USA!

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Description	Feeds & Speeds	Manufacturer	Re-sharpening
Description: Carbide Square End Mill Long Length, 20.0mm x 75mm x 175mm, 2 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix			
Dimensions: DIA=20.0mm FL=75mm OAL=175mm SHK=20.0mm			
Brand: HTC			
Series: HTC460			
General Purpose			
<u>Diameter Information</u>			
Cutter Diameter: 0.7874 20.0mm			
Diameter Tolerance: +.000" -.002"			
OD Grind: Standard			
<u>Shank Information</u>			
Shank Diameter: 1/64"			
Shank Tolerance: +.0000" -.0005"			
Weldon Flats: None			
<u>Length Information</u>			
Flute Length: 75mm			
Neck Length: N/A			
Over All Length: 175mm			
Length Category: Long			
<u>Fluting Information</u>			
Number of Flutes: 4			
Helix Angle: 30°			
Flute Index: Constant			
Cut: Center Cutting Right HAnd			
Spiral: Right Hand			
<u>Coating and End Configuration</u>			
Coating: Uncoated			
End Type: Single End Square			
Corner Radius: N/A			
Corner Chamfer or Taper per Side: N/A			
Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)			

3.0mm Square End Mill Long Length HTC 460-2119 2FL GP 30° Uncoated

Usually in stock, and ships within one day from Michigan. Call for availability.



Sale Price: \$8.02

List Price: ~~\$8.91~~

SKU: 460-2119

Qty

1

Add To Cart



Click on image to enlarge.

All items proudly made in the USA!

FREE SHIPPING on orders of \$200 or more!



Description	Feeds & Speeds	Manufacturer	Re-sharpening
Description: Carbide Square End Mill Long Length, 3.0mm x 25mm x 75mm, 2 Flute, Uncoated, General Purpose, 30° Helix			
Dimensions: DIA=3.0mm FL=25mm OAL=75mm SHK=3.0mm			
Brand: HTC			
Series: HTC460			
General Purpose			
<u>Diameter Information</u>			
Cutter Diameter: 0.1181 3.0mm			
Diameter Tolerance: +.000" -.002"			
OD Grind: Standard			
<u>Shank Information</u>			
Shank Diameter: 1/64"			
Shank Tolerance: +.0000" -.0005"			
Weldon Flats: None			
<u>Length Information</u>			
Flute Length: 25mm			
Neck Length: N/A			
Over All Length: 75mm			
Length Category: Long			
<u>Fluting Information</u>			
Number of Flutes: 2			
Helix Angle: 30°			
Flute Index: Constant			
Cut: Center Cutting Right HAnd			
Spiral: Right Hand			
<u>Coating and End Configuration</u>			
Coating: Uncoated			
End Type: Single End Square			
Corner Radius: N/A			
Corner Chamfer or Taper per Side: N/A			
Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)			

Helix Angle: 30°
Flute Index: Constant
Cut: Center Cutting Right HAnd
Spiral: Right Hand

Coating and End Configuration

Coating: Uncoated
End Type: Single End Square
Corner Radius: N/A
Corner Chamfer or Taper per Side: N/A
Materials Families: All (P, K, M, S, H, N)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Purwadi Wahyunugroho, lahir di Kabupaten Klaten pada tanggal 18 Nopember 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Nangsri, SMP Negeri 1 Manisrenggo, SMK Leonardo Klaten, dan Diploma 3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Penulis Kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di S1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan sebagai mahasiswa Lintas Jalur angkatan 2017. Dalam perkuliahan penulis mengambil penelitian untuk Tugas Akhir pada bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD) dengan pokok bahasan *computerized numerical control* (CNC). Penulis aktif di kegiatan akademis dengan menjadi Grader untuk membimbing Praktikum mahasiswa Sistem Perkapalan. penulis juga menjadi Grader untuk Mata Kuliah Ilmu Bahan dan Perlakuan Logam bidang studi Marine Manufacturing and Design (MMD) dalam praktikum Mesin Bubut dan Sekrap Periode Genap 2018/2019.