



**SKRIPSI - ME184834**

**ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI DIES  
TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT PADA OCEAN THERMAL  
ENERGY CONVERSION (OTEC) DENGAN PERANCANGAN SIMULASI  
PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM**

Dhymas Endrayana Waskitojati  
NRP 04211745000012

Dosen Pembimbing  
Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
Ir. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

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



**SKRIPSI - ME 184834**

**ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI DIES  
TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT PADA OCEAN THERMAL  
ENERGY CONVERSION (OTEC) DENGAN PERANCANGAN SIMULASI  
PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM**

Dhymas Endrayana Waskitojati  
NRP 04211745000012

Dosen Pembimbing  
Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
Ir. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

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

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**SKRIPSI - ME 184834**

**ESTIMATION OF TIME CALCULATION AND PRODUCTION COST OF  
TWO STAGE 40 DEGREES TURBINE BLADE IN OCEAN THERMAL  
ENERGY CONVERSION (OTEC) USING SIMULATION DESIGN OF  
MACHINERY WITH MASTERCAM**

Dhymas Endrayana Waskitojati  
NRP 0421174500012

Supervisor

Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
Ir. 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

### ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI *DIES TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT* PADA *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)* DENGAN PERANCANGAN SIMULASI PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

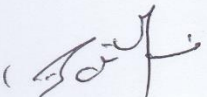
Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design (MMD)*  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DHYMAS ENDRAYANA WASKITJATI**  
NRP 04211745000012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
NIP. 197807062008011012

(  )

2. Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.  
NIP. 196912251997021001

(  )

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI *DIES TURBINE BLADE TWO STAGE* 40 DERAJAT PADA *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION* (OTEC) DENGAN PERANCANGAN SIMULASI PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM**

**TUGAS AKHIR**

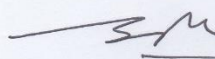
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

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

Oleh:

**DHYMAS ENDRAYANA WASKITOJATI**  
NRP 04211745000012

Disetujui oleh Kepala Departemen  
Teknik Sistem Perkapalan



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



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI *DIES TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT* PADA *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)* DENGAN PERANCANGAN SIMULASI PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM**

**Nama Mahasiswa** : Dhymas Endrayana Waskitojati  
**NRP** : 04211745000012  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing I** : Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
**Dosen Pembimbing II** : Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

Dewasa ini ilmu pengetahuan dan teknologi telah berkembang dengan pesat. Kemajuan ini juga merambah dunia industri manufaktur. Sebagai contoh dari kemajuan tersebut, mesin produksi atau mesin perkakas sudah banyak menggunakan teknologi tinggi seperti mesin CNC. CNC (Computer Numerical Control) merupakan pengembangan dari perkakas pemesian konvensional yang dikombinasikan dengan media kontrol komputer yang terdiri dari program sehingga pengerjaannya dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan akurat. Dalam hal ini, fungsi komputer pada sistem kontrol ditekankan pada perangkat lunak. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan atau dipadukan dengan mesin CNC adalah perangkat lunak Mastercam. Perencanaan proses permesinan pada pembuatan cetakan sudu turbin juga dapat dilakukan dengan Mastercam. Dengan memvariasikan variabel permesinan seperti depth of cut, diameter pahat dan kecepatan potong dengan metode Taguchi, diharapkan dapat diperoleh proses permesinan dengan waktu paling singkat sehingga dapat menghemat biaya produksi. Dari hasil proses simulasi permesinan yang dilakukan, untuk dapat menghasilkan dies turbine blade two stage 40 derajat pada OTEC memerlukan waktu 303.08 menit untuk row 1, 300.98 menit untuk row 2, 510.55 menit untuk row 3 dan 367,6 menit untuk row 4. Estimasi biaya produksi yang dihabiskan untuk pembuatan dies turbine blade tow stage 40 derajat pada OTEC yaitu untuk row 1 menghabiskan biaya sebesar Rp. 802.000, untuk row 2 menghabiskan biaya Rp. 962.600, row 3 menghabiskan biaya sebesar Rp. 1.112.850, dan row 4 menghabiskan biaya sebesar Rp. 920.450. Dari hasil permesinan dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling signifikan terhadap waktu pada proses permesinan dies turbin blade adalah yang pertama kedalaman potong kemudian diameter pahat dan kecepatan potong pada proses roughing, pocketing dan finishing. Sedangkan hal yang paling terbukti paling signifikan terhadap waktu pada proses yang dihadapi adalah kecepatan potong, kemudian disusul dengan diameter pahat dan kedalaman potong.

**Kata Kunci** : CNC, dies, turbine blade, MasterCam, biaya produksi

\

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI *DIES TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT* PADA *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)* DENGAN PERANCANGAN SIMULASI PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM**

**Nama Mahasiswa** : Dhymas Endrayana Waskitojati  
**NRP** : 0421174500012  
**Departemen** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing I** : Edi Jadmiko, S.T.,M.T.  
**Dosen Pembimbing II** : Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T.

## **ABSTRACT**

*Today science and technology has developed rapidly. This progress has also penetrated the world of manufacturing industries. As an example of this progress, many production machines or machine tools have used high technology such as CNC machines. CNC (Computer Numerical Control) is the development of conventional machining tools combined with computer control media consisting of programs so that the process can be done quickly, precisely and accurately. In this case, the function of the computer in the control system is emphasized in the software. One software that can be used or integrated with CNC machines is the Mastercam software. The machining process for making turbine blade molds can also be done with Mastercam. By varying the machining variables such as depth of cut, tool diameter and cutting speed with the Taguchi method, it is expected that the machining process with the shortest time is expected to be able to save production costs. From the results of the machining simulation process, to be able to produce two stage 40 degree dies turbine blades at OTEC requires 303.08 minutes for row 1, 300.98 minutes for row 2, 510.55 minutes for row 3 and 367.6 minutes for row 4. Estimation of cost production spent on making dies turbine blade tow stage 40 degrees at OTEC that is for row 1 costs Rp. 802,000, for row 2 it costs Rp. 962,600, row 3 cost Rp. 1,112,850, and row 4 costs Rp. 920,450. From the results of machining, it can be concluded that the most significant parameter to the time of machining of blade turbine dies is the first depth of cut then tool diameter and cutting speed in the process of roughing, pocketing and finishing. Whereas the most proven most significant thing about the time in the process faced is the cutting speed, then followed by the tool diameter and the depth of the cut.*

**Keywords:** *CNC, Dies, turbine blade, MasterCam, production cost*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr, wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu yang berjudul :

**“ESTIMASI PERHITUNGAN WAKTU DAN BIAYA PRODUKSI *DIES TURBINE BLADE TWO STAGE 40 DERAJAT* PADA *OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)* DENGAN PERANCANGAN SIMULASI PERMESINAN MENGGUNAKAN MASTERCAM ”**

Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk 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, Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis juga Kakak dan adik atas doa, perhatian, dukungan moral, dan materi yang diberikan kepada penulis tanpa henti sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Edi Jadmio, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pertama atas semua pelajaran baik berupa kritik, saran, moral, solusi, dan inspirasi yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menggali hal-hal baru untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T.,M.T, selaku dosen pembimbing kedua yang sering memberian masukan, solusi, waktu dan tempat pengerjaan kepada penulis ketika penulis mengalami kesulitan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Teman seperjuangan Tugas Akhir 2019 terutama teman-teman LJ Gasal Periode 2017 serta seluruh teman-teman seperjuangan Siskal lainnya.
5. Teman seperjuangan angkatan 2013 yang telah memberikan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Sahabat penulis di dalam kota Surabaya (Siti, Paundra, Riyan) dan di luar Kota Surabaya (Dicky) yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Kawan-kawan penghuni Kos Bu Fany, Surabaya.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangatlah penulis harapkan untuk lebih baik dan sempurnanya

Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebagai tambahan informasi serta wacana-wacana bagi semua pihak yang membutuhkan sehingga dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi semua pihak yang berkepentingan dalam topik Tugas Akhir ini.

*Wassalamualaikum wr, wb*

Surabaya, 14 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>SKRIPSI - ME184834</b> .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	vi
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xxii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Turbin .....	5
2.2 Computerized Numerical Control (CNC) .....	6
2.3 Dasar-Dasar Pemrograman CNC .....	8
2.3.1 Pemrograman <i>Absolute</i> .....	8
2.3.2 Pemrograman <i>Incrimental</i> .....	9
2.4 Parameter Permesinan pada Mesin CNC .....	9
2.4.1 Cs (Cutting Speed) .....	9
2.4.3 Kecepatan Pemakanan ( <i>feedrate</i> ) .....	10
2.4.4 Kedalaman Pemakanan ( <i>depth of cut</i> ).....	10
2.5 Jenis- Jenis Mesin CNC Tipe Milling .....	10
2.5.1 Mesin CNC Milling 3-Axis .....	10
2.5.2 Mesin CNC Milling 4-Axis .....	11
2.5.3 Mesin CNC Milling 5-Axis .....	11
2.6 Software MasterCam.....	12

2.7	Perhitungan Biaya Produksi .....	12
2.7.1	Komponen Waktu Produksi.....	12
2.7.2	Komponen Biaya Produksi.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		16
3.1	Rencana Pelaksanaan.....	16
3.1.1	Perumusan Masalah.....	17
3.1.2	Studi Literatur.....	17
3.1.3	Pengumpulan Data.....	17
3.1.4	Pembuatan Model <i>turbine blade</i> .....	17
3.1.5	Desain Proses Permesinan .....	17
3.1.6	Simulasi .....	17
3.1.7	Perhitungan Waktu Total Produksi.....	17
3.1.8	Perhitungan Biaya Total Produksi.....	17
3.1.9	Kesimpulan.....	17
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		19
4.1	Desain Model.....	19
4.2	Desain Permesinan Pada MasterCam .....	19
4.2.1	Pemilihan Jenis Permesinan .....	22
4.2.2	Pemilihan <i>Toolpath</i> .....	23
4.2.3	Pemilihan Pahat .....	23
4.2.4	Variasi Alur Pahat .....	25
4.3	Penentuan Parameter Permesinan.....	26
4.4	Simulasi Pengerjaan pada <i>MasterCam</i> .....	30
4.5	Perhitungan Waktu Optimal .....	34
4.5.1	Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 1 .....	34
4.5.2	Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 2.....	39
4.5.3	Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 3.....	44
4.5.4	Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 4.....	50
4.6	Analisa of Varian dan S/N Rasio.....	56
4.6.1	Analisa of Varian S/N Rasio Untuk Row 1 .....	56
4.6.2	S/N Rasio Untuk Row 2 .....	59
4.6.3	S/N Rasio Untuk Row 3 .....	63
4.6.4	S/N Rasio Untuk Row 4 .....	66



4.7	Perhitungan Waktu Total Produksi .....	69
4.7.1	Waktu Variabel Proses .....	70
4.7.2	Komponen Waktu Bebas ( $t_s$ ) .....	71
4.7.3	Waktu Permesinan Rata-Rata ( $t_m$ ) .....	71
4.8	Perhitungan Biaya Total Produksi.....	71
4.8.1	Biaya Material .....	71
4.8.2	Biaya Proses atau Biaya Tetap per Tahun .....	72
4.8.3	Biaya Permesinan .....	73
4.8.4	Biaya Operasi .....	76
4.8.5	Biaya Produksi .....	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		79
5.1.	Kesimpulan.....	79
5.2.	Saran.....	79
LAMPIRAN .....		80
DAFTAR PUSTAKA.....		82
BIODATA PENULIS.....		84

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin dan turbine blade.....	5
Gambar 2. 2 Skema proses dengan CNC .....	7
Gambar 2. 3 Pengukuran Metode Absolute.....	8
Gambar 2. 4 Pengukuran Metode Incremental.....	9
Gambar 2. 5 Persumbuan Pada Mesin milling 3 Axis.....	10
Gambar 2. 6 Persumbuan Pada Mesin milling 4 Axis.....	11
Gambar 2. 7 Persumbuan Pada Mesin milling 5 Axis.....	11
Gambar 4. 1 Aliran Pengerjaan Tugas Akhir .....	19
Gambar 4. 2 Machine Group properties untuk pengaturan stock.....	22
Gambar 4. 3 Penentuan stock pada MasterCam .....	23
Gambar 4. 4 Pemilihan Toolpath.....	23
Gambar 4. 5 Jenis-jenis pahat pada mesin frais.....	24
Gambar 4. 6 Contoh pemilihan pahat Facemill.....	24
Gambar 4. 7 Jenis-jenis alur lintasan pahat .....	25
Gambar 4. 8 Contoh Pengaturan Parameter Permesinan.....	27
Gambar 4. 9 Ilustrasi Parameter Permesinan.....	27
Gambar 4. 10 Kemampuan Depth of cut pahat milling.....	30
Gambar 4. 11 Pengerjaan Toolpath Facing .....	30
Gambar 4. 12 Pengerjaan Area Roughing .....	31
Gambar 4. 13 Pengerjaan Surface Roughing Pocket.....	31
Gambar 4. 14 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour.....	32
Gambar 4. 15 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour.....	32
Gambar 4. 16 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour.....	33
Gambar 4. 17 Pengerjaan Toolpath Surface Roughing Contour .....	33
Gambar 4. 18 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour.....	33
Gambar 4. 19 Cycle Time Simulasi Pengerjaan di MasterCam .....	70
Gambar 4. 20 Nilai Unit Horsepower Untuk Berbagai Material.....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 pemilihan pahat dalam pengerjaan facing pada dies turbine blade .....	24
Tabel 4. 2 Nilai Feed Per Tooth dan Cutting speed untuk pahat carbida .....	28
Tabel 4. 3 Data pahat endmill diameter 5mm .....	28
Tabel 4. 4 Data Cutting Speed Pahat Karbida .....	29
Tabel 4. 5 Nilai Parameter Proses Facing .....	34
Tabel 4. 6 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	34
Tabel 4. 7 Nilai Parameter Proses Roughing .....	34
Tabel 4. 8 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	35
Tabel 4. 9 Nilai Parameter Proses Finishing .....	35
Tabel 4. 10 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	35
Tabel 4. 11 Nilai Parameter Proses Pocket .....	36
Tabel 4. 12 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	36
Tabel 4. 13 Nilai Parameter Proses Facing .....	36
Tabel 4. 14 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	37
Tabel 4. 15 Nilai Parameter Proses Roughing .....	37
Tabel 4. 16 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	37
Tabel 4. 17 Nilai Parameter Proses Finishing .....	38
Tabel 4. 18 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	38
Tabel 4. 19 Nilai Parameter Proses Pocket Cetakan Atas .....	38
Tabel 4. 20 Nilai Respon Waktu Proses Pocket Cetakan Atas .....	39
Tabel 4. 21 Nilai Parameter Proses Facing .....	39
Tabel 4. 22 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	39
Tabel 4. 23 Nilai Parameter Proses Roughing .....	40
Tabel 4. 24 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	40
Tabel 4. 25 Nilai Parameter Proses Finishing .....	40
Tabel 4. 26 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	41
Tabel 4. 27 Nilai Parameter Proses Pocket .....	41
Tabel 4. 28 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	41
Tabel 4. 29 Nilai Parameter Proses Facing .....	42
Tabel 4. 30 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	42
Tabel 4. 31 Nilai Parameter Proses Roughing .....	42
Tabel 4. 32 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	43
Tabel 4. 33 Nilai Parameter Proses Finishing .....	43
Tabel 4. 34 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	43
Tabel 4. 35 Nilai Parameter Proses Pocket .....	44
Tabel 4. 36 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	44
Tabel 4. 37 Nilai Parameter Proses Facing .....	44
Tabel 4. 38 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	45
Tabel 4. 39 Nilai Parameter Proses Roughing .....	45
Tabel 4. 40 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	45
Tabel 4. 41 Nilai Parameter Proses Finishing .....	46
Tabel 4. 42 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	46
Tabel 4. 43 Nilai Parameter Proses Pocket .....	46

Tabel 4. 44 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	47
Tabel 4. 45 Nilai Parameter Proses Facing.....	47
Tabel 4. 46 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	47
Tabel 4. 47 Nilai Parameter Proses Roughing.....	48
Tabel 4. 48 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	48
Tabel 4. 49 Nilai Parameter Proses Finishing .....	48
Tabel 4. 50 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	49
Tabel 4. 51 Nilai Parameter Proses Pocket.....	49
Tabel 4. 52 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	49
Tabel 4. 53 Nilai Parameter Proses Facing.....	50
Tabel 4. 54 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	50
Tabel 4. 55 Nilai Parameter Proses Roughing.....	50
Tabel 4. 56 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	51
Tabel 4. 57 Nilai Parameter Proses Finishing .....	51
Tabel 4. 58 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	51
Tabel 4. 59 Nilai Parameter Proses Pocket.....	52
Tabel 4. 60 Nilai Respon Waktu Proses Pocket .....	52
Tabel 4. 61 Nilai Parameter Proses Facing.....	52
Tabel 4. 62 Nilai Respon Waktu Proses Facing .....	53
Tabel 4. 63 Nilai Parameter Proses Roughing.....	53
Tabel 4. 64 Nilai Respon Waktu Proses Roughing .....	53
Tabel 4. 65 Nilai Parameter Proses Finishing .....	54
Tabel 4. 66 Nilai Respon Waktu Proses Finishing .....	54
Tabel 4. 67 Nilai Parameter Proses Pocket Cetakan atas .....	54
Tabel 4. 68 Nilai Respon Waktu Proses Pocket Cetakan atas .....	55
Tabel 4. 69 Nilai Analysis of Variance Proses Facing .....	56
Tabel 4. 70 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	56
Tabel 4. 71 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	57
Tabel 4. 72 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing .....	57
Tabel 4. 73 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	58
Tabel 4. 74 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	58
Tabel 4. 75 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing .....	58
Tabel 4. 76 Nilai Analysis of Variance Proses Facing .....	59
Tabel 4. 77 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	59
Tabel 4. 78 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	60
Tabel 4. 79 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing.....	61
Tabel 4. 80 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	61
Tabel 4. 81 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	62
Tabel 4. 82 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing .....	62
Tabel 4. 83 Nilai Analysis of Variance Proses Facing .....	63
Tabel 4. 84 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	63
Tabel 4. 85 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	64
Tabel 4. 86 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing.....	64
Tabel 4. 87 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	65
Tabel 4. 88 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	65
Tabel 4. 89 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing.....	66

Tabel 4. 90 Nilai Analysis of Variance Proses Facing .....	66
Tabel 4. 91 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	67
Tabel 4. 92 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	67
Tabel 4. 93 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing .....	68
Tabel 4. 94 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing .....	68
Tabel 4. 95 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket .....	69
Tabel 4. 96 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing .....	69
Tabel 4. 97 Hasil Perhitungan Biaya Produksi Dies Turbine Blade .....	77

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	56
Grafik 4. 2 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	56
Grafik 4. 3 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	57
Grafik 4. 4 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Finishing</i> .....	57
Grafik 4. 5 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	58
Grafik 4. 6 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	58
Grafik 4. 7 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	59
Grafik 4. 8 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	59
Grafik 4. 9 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	60
Grafik 4. 10 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	60
Grafik 4. 11 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Finishing</i> .....	61
Grafik 4. 12 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	61
Grafik 4. 13 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	62
Grafik 4. 14 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	62
Grafik 4. 15 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	63
Grafik 4. 16 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	63
Grafik 4. 17 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	64
Grafik 4. 18 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Finishing</i> .....	64
Grafik 4. 19 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	65
Grafik 4. 20 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	65
Grafik 4. 21 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	66
Grafik 4. 22 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	66
Grafik 4. 23 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	67
Grafik 4. 24 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	67
Grafik 4. 25 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Finishing</i> .....	68
Grafik 4. 26 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing</i> .....	68
Grafik 4. 27 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Roughing Pocket</i> .....	69
Grafik 4. 28 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses <i>Facing</i> .....	69

*Halaman ini sengaja dikosongkan”*





## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini ilmu pengetahuan dan teknologi telah berkembang dengan pesat. Kemajuan ini juga merambah dunia industri manufaktur. Sebagai contoh dari kemajuan tersebut, mesin produksi atau mesin perkakas sudah banyak menggunakan teknologi tinggi seperti mesin CNC. CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan perkembangan dari perkakas pemesian konvensional yang dikombinasikan dengan media kontrol komputer berupa program sehingga pengerjaannya dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan akurat. Dalam hal ini, fungsi komputer pada sistem kontrol ditekankan pada perangkat lunak (*software*). Aplikasi perangkat lunak (*software*) sebagai bagian dari sistem kontrol pada mesin yang banyak digunakan saat ini adalah *software* dengan sistem CAD/CAM. *Software* ini memiliki dua bagian utama yaitu desain gambar CAD (*Computer Aided Design*) dan desain gambar CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Desain gambar CAD berisikan tentang gambar produk yang meliputi ukuran dan bentuk geometri sedangkan desain gambar CAM adalah berupa desain tentang proses pemakanan, *toolpath*, *setup* mesin dan hal-hal lainnya yang berkaitan dengan proses atau cara agar dihasilkan produk yang sesuai dengan yang digambar pada proses CAD.

Setelah gambar benda kerja dibuat, operator bisa melihat kembali gambar tersebut dan dapat mengeksekusinya dalam bentuk simulasi, sehingga bila ada kesalahan pada gambar dapat diketahui lebih dahulu sebelum dieksekusi ke mesin yang sebenarnya. Hal ini bertujuan untuk mencegah kesalahan dalam pembuatan produk. Selain itu program yang sudah dibuat (disimpan) dapat digunakan secara berulang-ulang.

Salah satu *software* yang dapat digunakan atau dipadukan dengan mesin CNC adalah *software* Mastercam. Dengan menggunakan *software* ini seorang *programmer* tidak perlu membuat program perintah-perintah dalam pengoperasian mesin CNC dalam pembuatan benda kerja, akan tetapi *programmer* hanya perlu membuat gambar yang kemudian dimasukkan dalam *software* ini. Secara otomatis perintah-perintah pembuatan benda kerja langsung dibuat oleh *software* ini, sehingga sangat meringankan kerja dari *programmer*. Di dalam *software* Mastercam ini gambar yang sudah dibuat akan diubah dalam bentuk bahasa numerik (bahasa G-Code) yang dapat dimengerti oleh mesin CNC. Setelah bahasa G-Code benda kerja diperoleh, program tersebut kemudian akan ditransfer ke mesin CNC. Proses permesinan menggunakan mesin CNC meliputi beberapa tahap diantaranya: tahap desain produk, tahap pembelian material, pemotongan benda kerja, pemasangan benda kerja pada ragum mesin, pemasangan pahat, penentuan *zero point tools*, proses pengerjaan *roughing* hingga *finishing*, dan pengerjaan lanjutan.

Adapun beberapa keuntungan penggunaan mesin perkakas CNC yaitu: produktivitas tinggi, ketelitian pengerjaan tinggi, kualitas produk yang seragam dan

dapat digabung dengan perangkat lunak tambahan misalnya *software* CAD/CAM sehingga pemakaian mesin CNC akan lebih efektif, waktu produksi lebih singkat, kapasitas produksi lebih tinggi, biaya pembuatan produk lebih rendah.

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 biaya produksi dies untuk *Blade Turbin Two Stage 40 derajat* pada *OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)* dengan menggunakan mesin CNC dan simulasi permesinannya menggunakan Mastercam. Dari penelitian ini dapat diketahui perhitungan total waktu produksi yang paling optimal dan estimasi biaya produksi dies *Blade Turbin Two Stage 40 derajat* tersebut. Dengan mengetahui biaya produksinya maka akan menguntungkan banyak pihak salah satunya yaitu dapat menentukan estimasi *cost* dalam proses produksi.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Apa saja parameter permesinan yang digunakan untuk proses produksi dies *turbine blade* dengan CNC ?
2. Berapa waktu total produksi dies *turbine blade* dengan menggunakan CNC melalui simulasi permesinan menggunakan Mastercam ?
3. Berapa estimasi biaya produksi dies *turbine blade* dengan menggunakan CNC melalui simulasi permesinan menggunakan Mastercam?
4. Parameter apa yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap waktu di setiap proses permesinan ?

## 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 pengerjaan produksi untuk dies *turbine blade* dengan jumlah *turbine blade row* 1 berjumlah 10 *blade*, row 2 berjumlah 15 *blade*, row 3 berjumlah 15 *blade* dan row 4 berjumlah 20 *blade*.
2. Pembuatan dies *turbine blade* hanya sebatas simulasi menggunakan *Software Mastercam*.

## 1.4 Tujuan

1. Untuk mengetahui parameter permesinan yang digunakan pada proses produksi dies *turbine blade* menggunakan mesin CNC melalui simulasi permesinan dengan *software Mastercam* .

2. Untuk mengetahui hasil perhitungan waktu total proses produksi dies *turbine blade* dengan menggunakan mesin CNC melalui simulasi permesinan dengan software Mastercam.
3. Untuk mengetahui hasil perhitungan estimasi biaya produksi dies *turbine blade* menggunakan mesin CNC melalui simulasi permesinan dengan software Mastercam.

### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

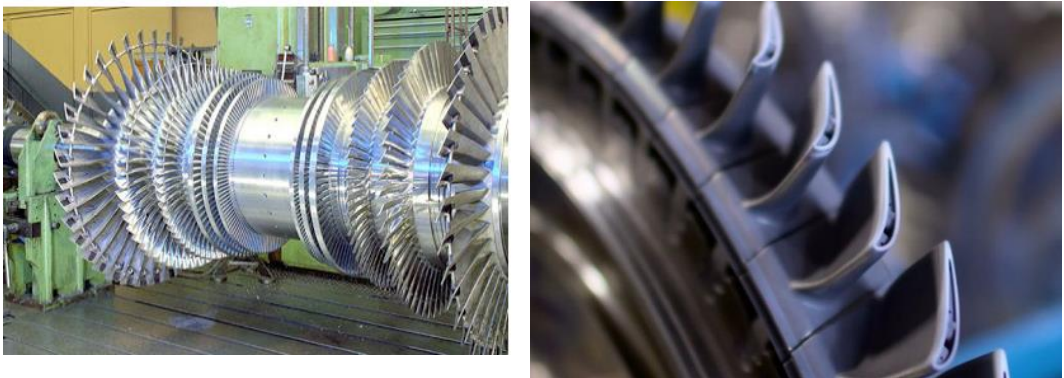
1. Manfaat Bagi Peneliti
  - a. Mengetahui parameter permesinan yang digunakan pada saat proses produksi dies *turbine blade* dengan mesin CNC melalui simulasi permesinan dengan software Mastercam
  - b. Mengetahui estimasi waktu total yang digunakan pada proses produksi dies *turbine blade* .
2. Manfaat Bagi Pembaca  
Menambah wawasan tentang proses permesinan pada mesin CNC dengan simulasi menggunakan software Mastercam.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Turbin

Turbin adalah sebuah mesin yang berputar dan prinsip kerjanya yaitu dengan cara mengambil energi dari aliran fluida. Fluida yang bergerak membuat baling-baling berputar sehingga menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Pada turbin terdapat *blade* turbin atau pisau turbin. Turbin blade merupakan komponen dari turbin yang berfungsi untuk mengkonversi temperatur, energi atau tekanan tinggi menjadi energi putar yang selanjutnya digunakan untuk memutar motor. Turbine blade dapat dibuat melalui proses pengecoran logam.



Gambar 2. 1 Turbin dan turbine blade

(Sumber: <https://interestingengineering.com/siemens>)

Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan.(Febrianto. F, 2015). Pengecoran logam merupakan suatu proses pembuatan benda yang dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari pembuatan pola, cetakan, proses peleburan, menuang, membongkar dan membersihkan coran (Utomo.C, 2017). Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk yang rumit. Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam-macam logam seperti besi, baja paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu aluminium dan sebagainya), paduan ringan(paduan aluminium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, semisal paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga).

Untuk membuat coran harus melalui proses pembuatan model pencairan logam, penuangan cairan logam ke model, membongkar, membersihkan dan

memeriksa coran. Pencairan logam dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, misal dengan tanur induksi (tungku listrik di mana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam), tanur kupola (tanur pelebur dalam pengecoran logam untuk melebur besi tuang kelabu), atau lainnya. Cetakan biasanya dibuat dengan memadatkan pasir yang diperoleh dari alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal. Cetakan dapat juga terbuat dari logam, biasanya besi dan digunakan untuk mengecor logam-logam yang titik leburnya di bawah titik lebur besi. Pada umumnya, cetakan logam termasuk dalam *permanent mold* dilapisi dengan bahan perekat tahan panas (*heat-resisting wet mixture*) dan jelaga yang menjaga cetakan agar tidak lengket dan mengurangi efek dingin pada logam.

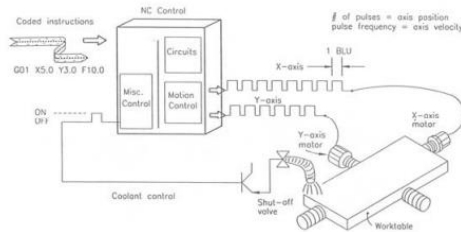
## 2.2 Computerized Numerical Control (CNC)

Awal lahirnya mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar. Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas (Kuspriyanto, H, 2014)

CNC singkatan dari *Computer Numerical Control*, merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan system mekanik dan kontrol dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai dengan standart ISO yang mampu membaca instruksi kode N, G, F, T, dan lain-lain, dimana kode-kode tersebut akan menginstruksikan ke mesin CNC agar bekerja sesuai dengan program benda kerja yang akan dibuat. Secara umum cara kerja mesin perkakas CNC tidak berbeda dengan mesin perkakas konvensional, fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional. Misalnya pekerjaan setting tool atau mengatur gerakan pahat sampai pada posisi siap memotong, gerakan pemotongan dan gerakan kembali ke posisi awal, dan yang lainnya. Mesin perkakas CNC dilengkapi dengan berbagai alat potong yang dapat membuat benda kerja secara presisi dan dapat melakukan interpolasi yang diarahkan secara numerik (berdasarkan angka). Parameter sistem operasi CNC dapat diubah melalui program perangkat lunak yang sesuai. Tingkat ketelitian mesin CNC lebih akurat hingga ketelitian seperseribu millimeter, karena penggunaan *ballscrew* pada setiap porosnya. *Ballscrew* tidak memiliki kelonggaran (*spelling*) namun dapat bergerak dengan lancar.

CNC dapat bekerja secara otomatis atau semiotomatis setelah diprogram terlebih dahulu melalui komputer yang ada. Program yang dimaksud merupakan program membuat benda kerja yang telah direncanakan atau dirancang sebelumnya. Sebelum benda kerja tersebut dieksekusi atau dikerjakan oleh mesin CNC, sebaiknya program tersebut di cek berulang-ulang agar program benar-benar telah sesuai dengan bentuk

benda kerja yang diinginkan, serta benar-benar dapat dikerjakan oleh mesin CNC. Pengecekan tersebut dapat melalui layar monitor yang terdapat pada mesin atau bila tidak ada fasilitas cheking melalui monitor (seperti pada CNC TU EMCO 2A/3A) dapat pula melalui plotter yang dipasang pada tempat kedudukan pahat mesin frais (Surahto,A, 2013)



Gambar 2. 2 Skema proses dengan CNC

(Sumber: Harizzal Ikhilash, 2017)

Secara umum mesin perakakas CNC layaknya mesin perkakas konvensional namun tugas operator telah banyak digantikan oleh pengontrol otomatis. Sehingga bila terjadi kesalahan pemrograman dan proses pemotongan telah dijalankan, maka benda kerja yang dihasilkan akan mengalami kesalahan serta memungkinkan terjadinya kerusakan baik pada benda kerja maupun mesin (Rahdiyanta. D, 2012). Menurut Dalmasius (2008:23) penggunaan program otomatis (CAD/CAM) sangat efektif dibandingkan dengan cara manual karena disamping cepat, tingkat kesalahan juga dapat dikontrol sebelum melakukan proses pemesinan. Menurut Nageswara Rau (2006:2) menyebutkan: *“CAD (computer aided design) the use computer method to develop the geometric model of the product in two or three dimension form, such that the geometric and manufacturing requirments can be examined. CAM (computer aided manufacturing) generally refers to the computer software used to develop the computer numerical control program for machining and other processing application”*

Dengan CAD, merupakan program komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. Dengan CAM adalah teknologi perencanaan, pengaturan, dan pengontrolan pembuatan produk dengan bantuan komputer. Dengan menggunakan cara ini, kita hanya cukup menggambar pada komputer sesuai dengan benda yang kita inginkan kemudian disimulasikan prosesnya sesuai dengan urutan kerja menggunakan *software* CAD/CAM tertentu (Rahdiyanta. D, 2012)

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) dapat memproses informasi geometrik dari sebuah CAD file dimana data-data masukan berupa desain dari model CAD tersebut digunakan sebagai referensi bagi perangkat lunak dalam memproses

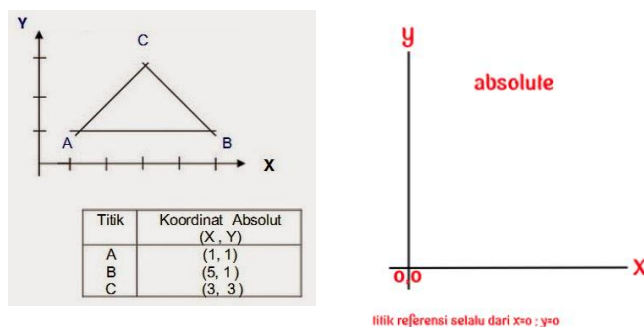
perintah tersebut untuk dapat mengkalkulasikan gerak pahat. Informasi tersebut dapat disimpan dalam bentuk *nc file* yang merupakan informasi dari gerakan pahat. Karena bahasa manual atau *G Code* pada tiap jenis mesin CNC memiliki struktur penulisan yang berbeda-beda maka perangkat lunak tersebut dalam mengeluarkan *G Code* akan menyesuaikan dengan tipe *post processor* yang dipilih. Kode G atau G-code merupakan fungsi bahasa pemrograman control numerik dan merupakan kode dari posisi/koordinat alat atau pekerjaan yang sebenarnya dilakukan. *G Code* yang tersimpan dalam *nc.file* tersebut berisi informasi yang akan digunakan untuk menggerakkan pahat, akan tetapi informasi tersebut belum mampu digunakan untuk menggerakkan sebuah mesin CNC milling. Oleh sebab itu diperlukan perangkat lunak lain yang dapat digunakan untuk memproses semua informasi tersebut sehingga menghasilkan output berupa control numerik yang merupakan instruksi untuk mengontrol proses permesinan pada mesin perkakas dalam hal ini adalah pergerakan pahat pada mesin CNC milling.

### 2.3 Dasar-Dasar Pemrograman CNC

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

#### 2.3.1 Pemrograman *Absolute*

Pemrograman absolut merupakan pemrograman di mana titik awal penempatan alat potong yang digunakan sebagai acuan adalah menetapkan titik referensi yang berlaku tetap selama proses operasi mesin berlangsung (Kuspriyanto, H, 2014). Pada pemrograman absolut, jika salah satu titik “salah” maka tidak berpengaruh terhadap titik lainnya karena pemrograman absolut titik koordinatnya selalu mengacu pada titik nol benda kerja (Surahto, A. 2013)

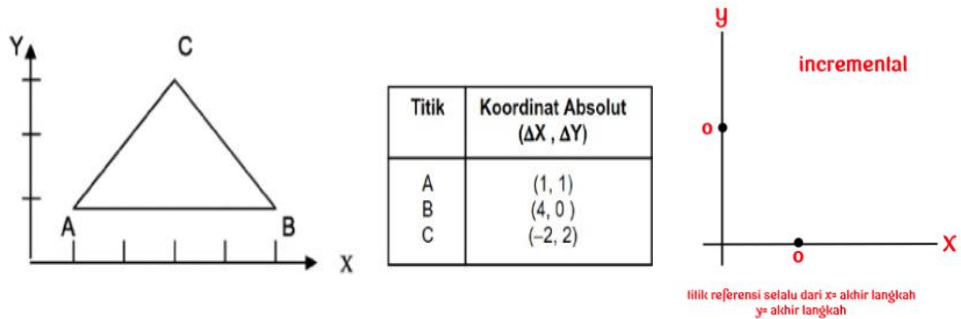


Gambar 2. 3 Pengukuran Metode Absolut  
(Sumber: <http://www.teknikmesin-indo.com>)



### 2.3.2 Pemrograman Incremental

Pemrograman Incremental merupakan system pemrograman dimana titik awal penempatan yang digunakan sebagai acuan selalu berpindah sesuai dengan titik actual yang dinyatakan berakhir. Pada sistem pemrograman *incremental*, jika salah satu titik “salah” maka akan berpengaruh terhadap titik-titik lainnya karena pemrograman incremental titik referensinya mengacup ada titik akhir atau pada ukuran berikutnya. (Surahto, A. 2013).



Gambar 2. 4 Pengukuran Metode Incremental

(Sumber: <http://www.teknikmesin-indo.com>)

## 2.4 Parameter Permesinan pada Mesin CNC

### 2.4.1 Cs (Cutting Speed)

Cutting Speed atau kecepatan potong merupakan kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang/ waktu (meter/menit atau *feet/* menit). Kecepatan gerak pahat tergantung dari bahan benda kerja yang akan diproses dan bahan dari pahat potong itu sendiri, untuk mencari kecepatan pemotongan dapat dihitung dengan rumus:

Keterangan:  $n$  = Putaran Spindle (putaran/menit)

$$n = \frac{1000 \cdot CS}{\pi \cdot D}$$

$D$  = Diameter Pisau Fraisi (mm)

$CS$  = Cutting Speed (meter/menit)

### 2.4.2 Kecepatan Spindle (spindle speed)

Kecepatan putaran mesin adalah kemampuan kecepatan putaran mesin dalam revolusi putara setiap 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.

### 2.4.3 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. Kecepatan pemakanan ditentukan dengan melihat beberapa faktor, diantaranya: kekerasan bahan, kedalaman penyayatan, sudut-sudut sayat alat potong, bahan alat potong, ketajaman alat potong dan kesiapan mesin yang akan digunakan. Kesiapan mesin ini dapat diartikan sebagai seberapa besar kemampuan mesin dalam mendukung tercapainya kecepatan pemakanan yang optimal. Feedrate pada mesin milling dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$n = N \times f_m \times m$$

keterangan:  $n$  = putaran spindle (rpm)

$f_m$  = feed per mata (in/mata)

$m$  = jumlah mata pahat

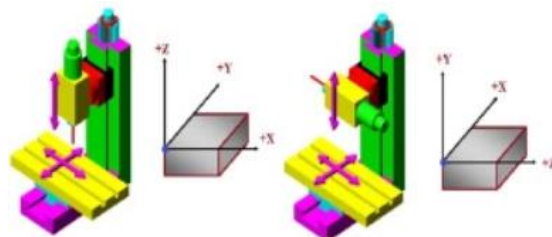
### 2.4.4 Kedalaman Pemakanan (*depth of cut*)

Kedalaman potong ( $a$ ) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan, diameter pahat tersebut. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil.

## 2.5 Jenis- Jenis Mesin CNC Tipe Milling

### 2.5.1 Mesin CNC Milling 3-Axis

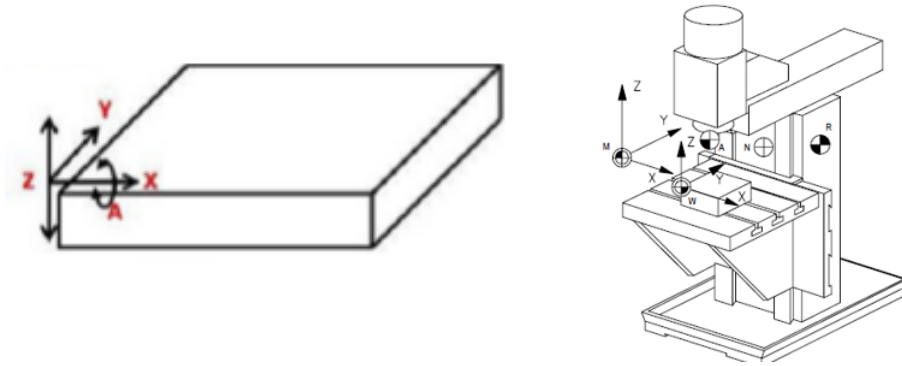
Merupakan Mesin CNC milling yang mempunyai 3 axis dalam pergerakannya. Hasil rancang bangun mesin CNC milling ini mampu menghasilkan gerak dalam 3 axis yang dapat diprogram. Gerak dari komponen tool dan kombinasi gerak slide carriages yang masing-masing dapat dikendalikan gerakannya dalam arah sumbu x y dan sumbu z.



Gambar 2. 5 Persumbuan Pada Mesin milling 3 Axis  
(Sumber: <https://suryaputra2009.wordpress.com>)

### 2.5.2 Mesin CNC Milling 4-Axis

Milling CNC 4 *axis* adalah mesin CNC yang memiliki empat arah gerakan 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).

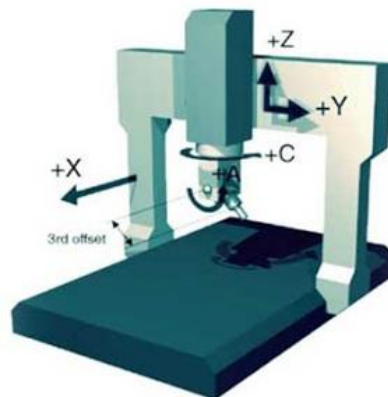


Gambar 2. 6 Persumbuan Pada Mesin milling 4 Axis

(Sumber: <http://www.nmine.com/5axis.htm>)

### 2.5.3 Mesin CNC Milling 5-Axis

Mesin frais CNC 5 axis bekerja dengan 5 anggota gerak, yakni berupa axis X,Y,Z untuk gerakan linier lalu axis A untuk gerakan berputar horizontal, dan axis C untuk gerakan berputar vertikal.



Gambar 2. 7 Persumbuan Pada Mesin milling 5 Axis

(Sumber: <http://punyanya1.blogspot.com>)

## 2.6 Software MasterCam

Perangkat lunak Mastercam merupakan perangkat lunak yang dikembangkan CNC Software, Inc dari Amerika Serikat dan digunakan untuk memprogram mesin bubut (lathe), mesin frais (mill) dan mesin wire cutting. Terdapat banyak perangkat lunak seperti MasterCam yang merupakan produk dari CAM yang beredar di pasaran, antara lain: Emcodraft CadCam, Mastercam, BobCam, DelCam, dan SolidCam. Pada percobaan kali ini akan menggunakan software MasterCam. Software Mastercam memungkinkan pengerjaan mendesain, kemudian merencanakan pembuatannya melalui simulasi baik untuk mesin bubut, frais, maupun wire cutting dan dilaksanakan secara berurutan atau simultan. Hasil dari software Mastercam berupa NC file. *Operating system* akan 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. Hasil perpaduan teknologi computer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerical Control*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara computer dengan peralatan mesin mekaniknya.

## 2.7 Perhitungan Biaya Produksi

Ada beberapa parameter dalam perhitungan biaya produksi, antara lain:

### 2.7.1 Komponen Waktu Produksi

#### 1. Variabel Proses

- Waktu pemasangan benda kerja ( $t_a$ )  
Perhitungan waktu pemasangan benda kerja dapat diestimasi.
- 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.
- Waktu pemotongan ( $t_c$ )  
Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi tiap sub-blok program yang telah di validasi.
- Waktu pergantian pahat ( $t_i$ )  
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:

$$t_m = t_a + t_b + t_c + t_t + t_s \dots \dots \dots (2.1)$$

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

$$C_f = C_{ob} \left\{ \frac{1}{y} + \frac{y+1}{2y} I_{pti} \right\} \dots \dots \dots (2.2)$$

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:

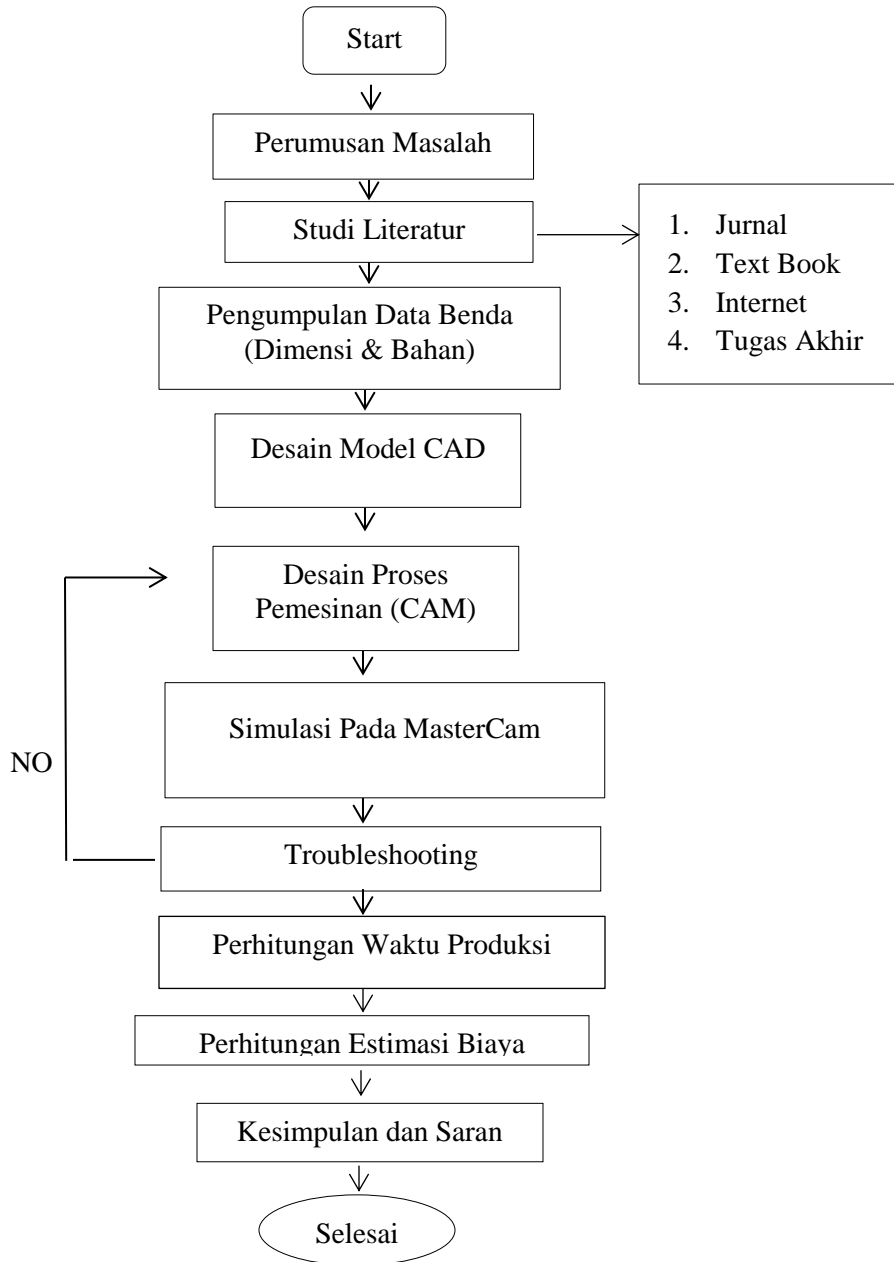
$$C_u = C_m + C_o \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana  $C_u$  = Biaya produksi  
 $C_m$  = Biaya material  
 $C_o$  = Biaya Operasi Mesin

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rencana Pelaksanaan



Gambar 3. 1 Aliran Pengerjaan Tugas Akhir



### **3.1.1 Perumusan Masalah**

Pada tahap awal ini adalah mengidentifikasi masalah yang ada.

### **3.1.2 Studi Literatur**

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

### **3.1.3 Pengumpulan Data**

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

- a. Data geometri dies *turbine blade*
- b. Bahan material

### **3.1.4 Pembuatan Model *turbine blade***

Dalam tahap ini dilakukan perancangan model dies *turbine blade* dengan menggunakan program berbasis Solidwork.

### **3.1.5 Desain Proses Permesinan**

Dalam tahap ini dilalkukan pemilihan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk produksi dies *turbine blade*.

### **3.1.6 Simulasi**

Melakukan simulasi program pada Mastercam. Hal ini bertujuan untuk melihat hasil benda kerja untuk melihat lamanya waktu produksi.

### **3.1.7 Perhitungan Waktu Total Produksi**

Waktu total proses produksi merupakan keseluruhan waktu proses pengerjaanl dan juga waktu permesinan non-produktif.

### **3.1.8 Perhitungan Biaya Total Produksi**

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

### **3.1.9 Kesimpulan**

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

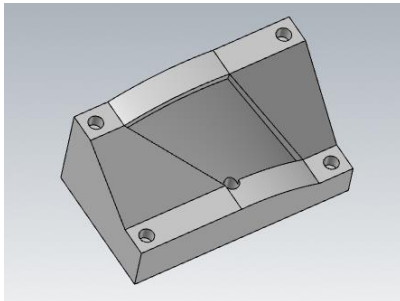
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

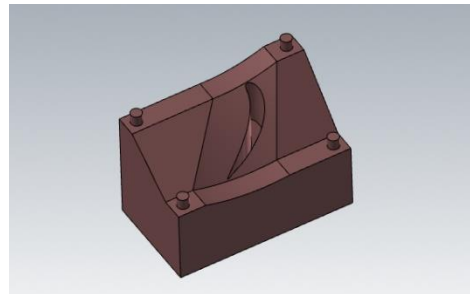
### 4.1 Desain Model

Benda kerja yang akan dikerjakan dengan mesin CNC *milling* adalah dies *turbine blade* penelitian terdahulu oleh Desta Rifky Aldara pada tahun 2018. Berikut adalah data utama *turbine blade* yang dikerjakan:

- Tipe : *Axial Turbine*
- Jumlah Blade
  - Row 1 : 10 blade
  - Row 2 : 15 blade
  - Row 3 : 15 blade
  - Row 4 : 20 blade
- Diameter Hub (dH) : 60 mm
- Sudut Hub : 40 derajat
- Diameter Shroud : 100 mm
- Tinggi (t) : 215 mm
- Material Dies : *Cast Iron*



a



b

Gambar 4. 1 Aliran Pengerjaan Tugas Akhir

a. kup (cetakan atas), b. drag (cetakan bawah)

### 4.2 Desain Permesinan Pada MasterCam

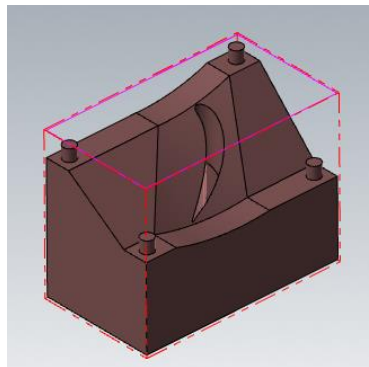
Desain proses permesinan pada MasterCam adalah tahapan untuk menentukan jenis permesinan, pemilihan batasan area dari kerja pahat, dan pemilihan jenis pengerjaan (*toolpath*) dalam pembuatan *dies turbine blade*. Pemilihan *Toolpath* disesuaikan dengan bentuk benda kerja, untuk dies *turbine blade* sendiri merupakan jenis pengerjaan 3D yang mengharuskan pemakanan

benda dengan 3 aksis (x, y, z,) maka dipilihlah *Toolpath Surface* untuk pengerjaan 3D. Langkah-langkah desain permesinan pada MasterCam antara lain:

#### 4.2.1 Pemilihan Jenis Permesinan

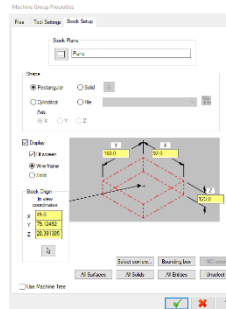
Di Mastercam terdapat berbagai jenis permesinan antara lain *Mill*, *Lathe*, *Wire*, *Art*, dan *Router*. Pada dasarnya CNC merupakan mesin perkakas konvensional yang dioperasikan menggunakan komputer. Mesin perkakas tersebut yakni *Mill* atau frais dengan 3 sistem persumbuan (*3 axis system*), *Mill* 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, *turbine blade* merupakan jenis pengerjaan 3D dengan pergeseran 3 aksis, jadi tipe mesin yang digunakan adalah mesin milling *milling* 3 aksis atau Mill-3 Axis Table- Head Vertical.

Setelah jenis mesin dipilih barulah menentukan dimensi benda kerja awal yaitu bentuk *rectangular* dengan ukuran 92 mm x 160 mm x 80 mm. Dimensi ini dibuat berdasarkan kebutuhan pembuatan dies *turbine blade*. Untuk pengaturan dimensi benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Machine Group properties untuk pengaturan stock

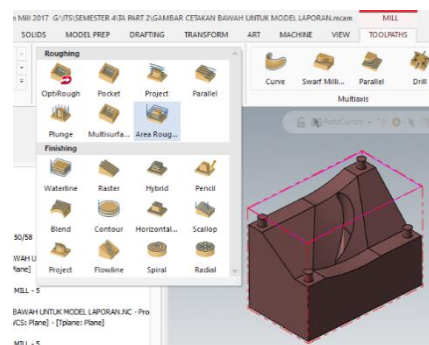
Pada gambar 4.2 bentuk benda kerja awal dapat dilihat pada garis putus-putus berwarna merah yang nantinya akan diproses menjadi *turbine blade* seperti bentuk di tengahnya



Gambar 4. 3 Penentuan stock pada MasterCam

#### 4.2.2 Pemilihan *Toolpath*

*Toolpath* adalah pola gerakan pahat pada mesin CNC yang disimulasikan dalam MasterCam ketika menyayat material. *Toolpath* dipilih sesuai jenis pengerjaan dan tipe mesin yang dipakai. Untuk proses produksi dies *turbine blade* digunakan mesin tipe *milling* atau frais. Tiap *Toolpath* juga memiliki fungsi yang berbeda apakah untuk pengerjaan 2D atau 3D maupun pekerjaan *roughing* atau *finishing*. Pada pengerjaan *turbine blade* digunakan beberapa *toolpath* antara lain *facing*, *surface rough pocket*, *surface finish contour*. 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.

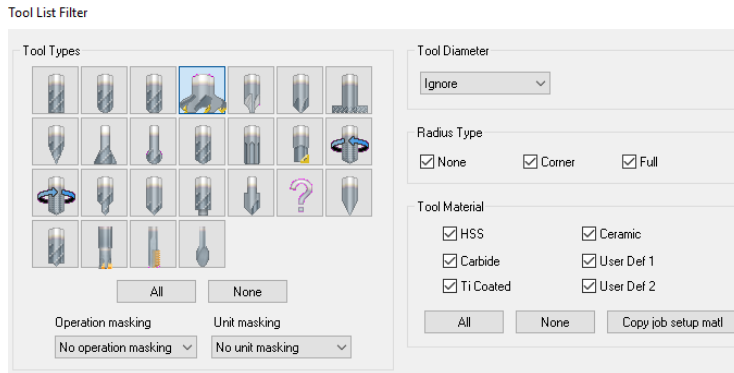


Gambar 4. 4 Pemilihan *Toolpath*

#### 4.2.3 Pemilihan Pahat

Pada proses penyayatan benda kerja akan digunakan sebuah *tool* atau alat yang disebut pahat. Pahat untuk mesin frais ada banyak jenisnya antara lain: *Face Endmill*, *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 *spher Endmill* yang memiliki radius pada mata sayatnya.

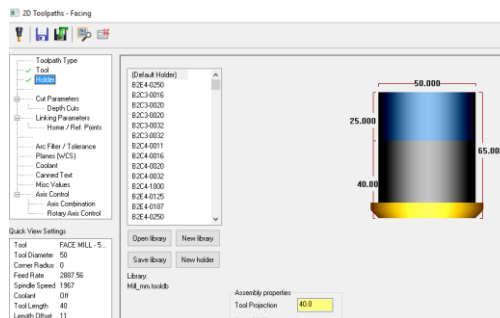


Gambar 4. 5 Jenis-jenis pahat pada mesin frais

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

#	Tool Name	Dia.	Cor. rad.	Length	# Flutes	Type	Rad. ...
11	FACE MILL - 55/63	55.0	0.0	8.0	5	Face ...	None
11	FACE MILL - 50/58	50.0	0.0	8.0	4	Face ...	None
11	FACE MILL - 42/50	42.0	0.0	8.0	4	Face ...	None
11	FACE MILL - 80/88	80.0	0.0	8.0	7	Face ...	None
11	FACE MILL - 72/80	72.0	0.0	8.0	7	Face ...	None
11	FACE MILL - 117/125	117.0	0.0	8.0	10	Face ...	None
11	FACE MILL - 125/133	125.0	0.0	8.0	10	Face ...	None
11	FACE MILL - 100/108	100.0	0.0	8.0	8	Face ...	None
11	FACE MILL - 92/100	92.0	0.0	8.0	8	Face ...	None
11	FACE MILL - 63/71	63.0	0.0	8.0	6	Face ...	None

Tabel 4. 1 pemilihan pahat dalam pengerjaan facing pada dies turbine blade



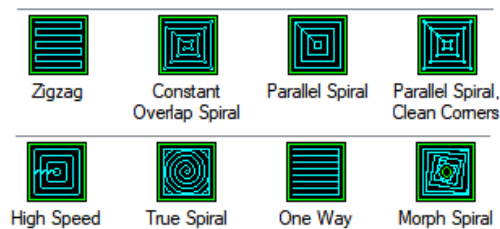
Gambar 4. 6 Contoh pemilihan pahat Facemill

#### 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 dan 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. 7 Jenis-jenis alur lintasan pahat

### 4.3 Penentuan Parameter Permesinan

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

- Jenis material dan diameter pahat
- Cutting speed*
- Kecepatan Spindel
- 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

$$t = \frac{L}{F} \dots \dots \dots (4-4)$$

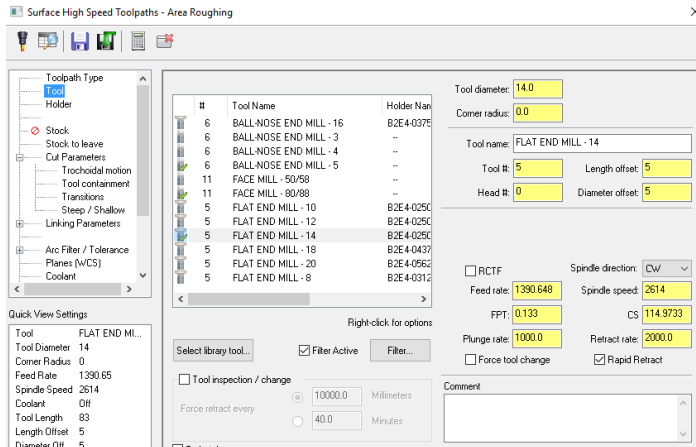
Dimana:

t = Waktu penyayatan (menit)

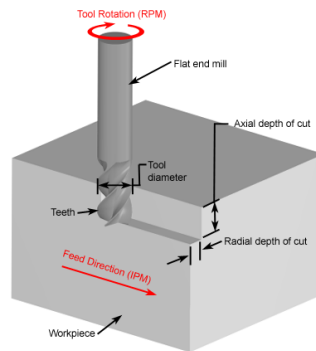
L = Panjang penyayatan (mm)

Nilai dari parameter permesinan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *Software Mastercam*. Parameter yang dapat diatur pada software *MasterCam* antara lain yaitu *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 4.9.





Gambar 4. 8 Contoh Pengaturan Parameter Permesinan



Copyright © 2008 CustomPartNet

Gambar 4. 9 Ilustrasi Parameter Permesinan

(Sumber: [www.custompartnet.com](http://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 *feeding* mengacu pada tabel 4.2. Nilainya didasarkan pada jenis material material benda kerja dan jenis pahatnya.

Tabel 4. 2 Nilai Feed Per Tooth dan Cutting speed untuk pahat carbida

Carbide Cutters							
Material	Feed (in/tooth) Speed (rpm)	Face Mills	Slab Mills	End Mills	Full and Half Side Mills	Saws	Form Mills
Malleable Iron Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.005-.015 200-300	.005-.015 200-300	.005-.010 200-350	.005-.010 200-300	.003-.004 200-350	.005-.010 175-275
Cast steel Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 150-350	.005-.015 150-350	.003-.010 150-350	.005-.010 150-350	.002-.004 150-300	.005-.010 150-300
100-150 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.010-.015 450-800	.008-.015 450-800	.005-.010 450-800	.008-.012 450-800	.003-.006 350-600	.004-.010 350-600
150-250 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.010-.015 300-450	.008-.015 300-450	.005-.010 300-450	.007-.012 300-450	.003-.006 300-450	.004-.010 300-450
250-350 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 180-300	.007-.012 150-300	.005-.010 150-300	.005-.012 160-300	.002-.005 150-300	.003-.008 150-300
350-450 BHN Steel	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 125-180	.007-.012 100-150	.004-.008 100-150	.005-.012 125-180	.001-.004 100-150	.003-.008 100-150
Cast Iron Hard BHN 225-350	Feed per tooth Feed per min.	.005-.010 125-200	.005-.010 100-175	.003-.008 125-200	.003-.010 125-200	.002-.003 125-200	.005-.010 100-175
Cast Iron Medium BHN 180-225	Feed per tooth Feed per min.	.008-.015 200-275	.008-.015 175-250	.005-.010 200-275	.005-.012 200-275	.003-.004 200-250	.006-.012 175-250
Cast Iron Soft BHN 150-180	Feed per tooth Feed per min.	.015-.025 275-400	.010-.020 250-350	.005-.012 275-400	.008-.015 275-400	.003-.004 250-350	.008-.015 250-350
Bronze Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.020 300-400	.010-.020 300-800	.005-.010 300-1000	.008-.012 300-1000	.003-.004 300-1000	.008-.015 200-800
Brass Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.020 500-1500	.010-.020 500-1500	.005-.010 500-1500	.008-.012 500-1500	.003-.004 500-1500	.008-.015 500-1500
Aluminum Alloy Soft/Hard	Feed per tooth Feed per min.	.010-.040 2000 UP	.010-.030 2000 UP	.003-.015 2000 UP	.008-.025 2000 UP	.003-.006 2000 UP	.008-.015 2000 UP

Contoh perhitungan untuk menentukan besarnya *feeding* dan *spindle speed* mesin:

Tabel 4. 3 Data pahat endmill diameter 5mm

Data Tool	
Jenis pahat	Flat Endmill
Diameter	Ø 5
Jumlah Gigi	4
Material	Carbide Cutter-300BHN Steel

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

Diketahui :

$$D = \varnothing 5 \text{ mm}$$

$$Z = 4$$

$$F_t = 0.127 - 0.254 \text{ mm/tooth}$$

$$\text{Diambil nilai } F_z = 0.12$$

$$CS = 24 \text{ m/min}$$

Ditanya :

- N, Rpm
- F, mm/min

$$\begin{aligned} \text{a. } N &= \frac{1000CS}{\frac{\pi D}{1000 \times 24}} \\ &= \frac{3.14 \times 5}{1000 \times 24} \\ &= 1528.66242 \sim 1500 \text{ RPM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } f_z &= f_t \times Z \\ &= 0.12 \times 4 \\ &= 0.48 \text{ mm/tooth} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= f_z \times N \\ &= 0.48 \times 1500 \\ &= 720 \text{ mm/min} \end{aligned}$$



Tabel 4. 4 Data Cutting Speed Pahat Karbida

BAHAN ( MATERIAL )	CUTTING SPEED (VC) M/MENUTES	
	HSS	CARBIDE
Mild Steel ST 37 : CK10 : CK26 : CK22 : VE20	20 - 25	80 - 120
ST 60.2 : CK45	18 - 31	70 - 200
ST 70.2 : CK60	14 - 17	60 - 90
STAINLESS STEEL	11 - 15	50 - 70
CAST STEEL	10 - 18	60 - 75
CAST IRON	14 - 20	45 - 60
MALEABLE CAST IRON	10 - 20	45 - 60
BRONZE	40 - 50	60 - 100
KUNINGAN ( BRASS )	30 - 60	100 - 120
LOGAM RINGAN	80 - 200	400 - 800
$\text{Rpm} = \frac{m/\text{minutes}}{\phi_{\text{cutter}} \cdot \pi} \times 1000$		FEED

- Pahat (tool) yang dipakai***

Dalam pembuatan dies *turbine blade* digunakan tiga macam pahat yaitu berwujud pahat facing dengan diameter 50 mm, 55 mm dan 63 mm yang digunakan pada proses facing. Kemudian pahat flat end mill dengan diameter 5 mm, 6 mm dan 8 mm untuk proses roughing dan finishing. Kemudian ada pahat jenis ball nose end mill yang digunakan dalam proses pocketing dies turbine blade. *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:

Slot milling Axial depth of cut, $a_p = 1 \times D$		
Uncoated HSS <sup>(24)</sup>	Cutting speed, $v_c$ (m/min) Feed, $f_z$ (mm/tooth)	
Coated HSS <sup>(4)</sup>	Cutting speed, $v_c$ (m/min) Feed, $f_z$ (mm/tooth)	
Solid cemented carbide <sup>(5-6)</sup>	Cutting speed, $v_c$ (m/min) Feed, $f_z$ (mm/tooth)	
Indexable insert <sup>(6-8)</sup> (cemented carbide inserts)	Cutting speed, $v_c$ (m/min) Feed, $f_z$ (mm/tooth) Suitable grades	
Side milling Axial depth of cut, $a_p = 1.5 \times D$		

Gambar 4. 10 Kemampuan Depth of cut pahat milling

(Sumber: <https://www.uddeholm.com>)

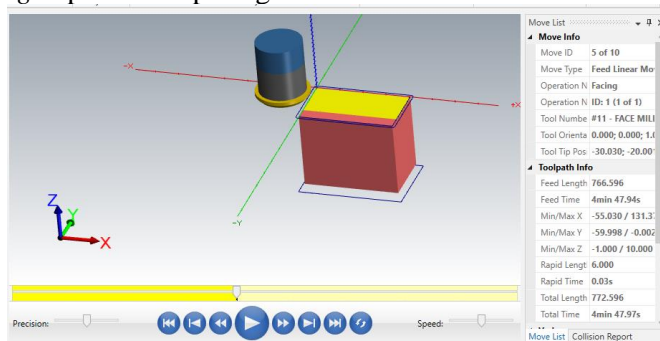
#### 4.4 Simulasi Pengerjaan pada *MasterCam*

Pengerjaan dies *turbine blade* membutuhkan 5 kali langkah pengerjaan atau 5 *Toolpath* yang disesuaikan berdasarkan bentuk benda kerja yang dikerjakan. Langkah-langkah pengerjaan dari setiap *toolpath* adalah sebagai berikut:

##### A. Proses Machining Untuk Cetakan Bawah

###### 1. Facing

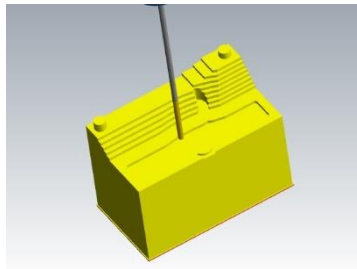
*Facing* merupakan pekerjaan yang bertujuan untuk meratakan permukaan benda kerja serta untuk memasukkan ukuran tinggi dari dies *turbine blade* yang dikerjakan. Pekerjaan *facing* menggunakan pahat *face endmill* dengan variasi pahat  $\varnothing 50\text{mm}$ ,  $\varnothing 55\text{mm}$ , dan  $\varnothing 63\text{mm}$  dan dengan variasi depth of cut 1.5 mm, 1.75 mm, 2 mm. Proses dari pengerjaan *toolpath facing* dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Pengerjaan Toolpath Facing

## 2. Area Roughing (Top)

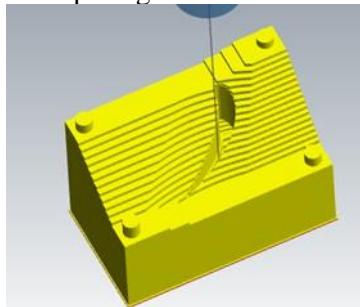
*Area roughing* merupakan pengerjaan kasar atau *roughing* dengan variasi ukuran pahat *Flat endmill* dengan diameter  $\varnothing$  5 mm,  $\varnothing$  6 mm,  $\varnothing$  8 mm. Pengerjaan dari *toolpath* ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan benda kerja dan menjadikannya ke bentuk awal dies *turbine blade* yang masih kasar sebelum benda dikerjakan dengan proses *finishing*. Proses dari pengerjaan *area roughing* dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4. 12 Pengerjaan Area Roughing

## 3. Surface Roughing Pocket

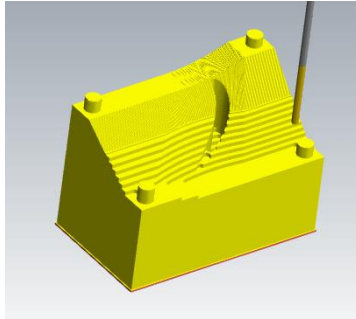
*Surface Rough Pocket* merupakan pengerjaan kasar atau *roughing* dengan pahat *Sphere Endmill*  $\varnothing$  16 mm. Pengerjaan dari *toolpath* ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan benda kerja dan menjadikannya ke bentuk awal *dises turbine blade* yang masih kasar sebelum benda dikerjakan dengan proses *finishing*. Proses dari pengerjaan *toolpath surface rough pocket* dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4. 13 Pengerjaan Surface Roughing Pocket

## 4. Surface Finish Contour

*Surface Finish Contour* ini berfungsi untuk proses *finishing* pada pengerjaan *Surface Rough Area* yang sebelumnya dikerjakan. *Finishing* ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan benda kerja yang masih kasar yang dihasilkan oleh proses *roughing* dan pengerjaannya menggunakan pahat *sphere endmill*  $\varnothing$  10 mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface finish contour* dapat dilihat pada gambar 4.14

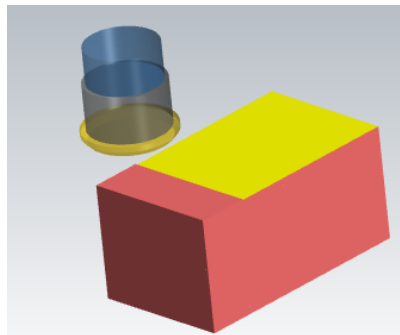


Gambar 4. 14 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour

#### A. Machining Untuk Cetakan Bagian Atas

##### i. Facing

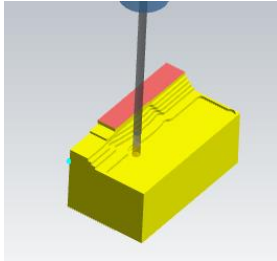
*Facing* merupakan pekerjaan yang bertujuan untuk meratakan permukaan benda kerja serta untuk memasukkan ukuran tinggi dari dies *turbine blade* yang dikerjakan. Pekerjaan *facing* menggunakan pahat *face endmill* dengan variasi pahat  $\varnothing$  50mm,  $\varnothing$  55mm, dan  $\varnothing$  63mm dan dengan variasi depth of cut 1.5 mm, 1.75 mm, 2 mm. Proses dari pengerjaan *toolpath facing* dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour

##### ii. Area Roughing (Top)

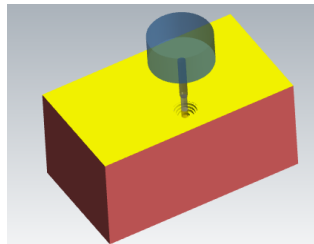
*Area roughing* merupakan pengerjaan kasar atau *roughing* dengan variasi ukuran pahat *Flat endmill* dengan diameter  $\varnothing$  5 mm,  $\varnothing$  6 mm,  $\varnothing$  8 mm. Pengerjaan dari *toolpath* ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan benda kerja dan menjadikannya ke bentuk awal dies *turbine blade* yang masih kasar sebelum benda dikerjakan dengan proses *finishing*. Proses dari pengerjaan *area roughing* dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4. 16 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour

iii. *Surface Roughing Pocket*

*Surface Rough Pocket* merupakan pengerjaan kasar atau *roughing* dengan pahat *Sphere Endmill*  $\varnothing$  16 mm. Pengerjaan dari *toolpath* ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan benda kerja dan menjadikannya ke bentuk awal *dies turbine blade* yang masih kasar sebelum benda dikerjakan dengan proses finishing. Proses dari pengerjaan *toolpath surface rough pocket* dapat dilihat pada gambar 4.17

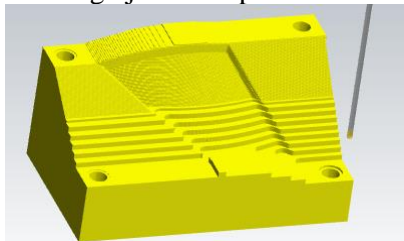


Gambar 4. 17 Pengerjaan Toolpath Surface Roughing Contour

iv. *Surface Finish Contour*

*Surface Finish Contour* ini berfungsi untuk proses *finishing* pada pengerjaan *Surface Rough Area* yang sebelumnya dikerjakan. *Finishing* ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan benda kerja yang masih kasar yang dihasilkan oleh proses *roughing* dan pengerjaannya menggunakan pahat *sphere endmill*  $\varnothing$  10 mm. Proses dari pengerjaan *toolpath surface finish contour* dapat dilihat pada gambar 4.18

Gambar 4. 18 Pengerjaan Toolpath Surface Finish Contour



## 4.5 Perhitungan Waktu Optimal

### 4.5.1 Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 1

#### 1. Facing Cetakan Bawah Row 1

**Tabel 4. 5 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	A	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 6 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power Kwh	Cost Rupiah
	Cs	D	a			
1	45	50	1,5	4,35	4,09	Rp92,0
2	45	55	1,75	3,58	3,92	Rp88,4
3	45	63	2	4,15	5,20	Rp117,1
4	55	50	1,75	3,56	4,77	Rp107,4
5	55	55	2	2,93	4,48	Rp101,0
6	55	63	1,5	3,4	3,90	Rp87,9
7	60	50	2	3,26	5,44	Rp122,6
8	60	55	1,5	2,68	3,36	Rp75,6
9	60	63	1,75	3,11	4,54	Rp102,4

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 2,68 menit dan 3,36 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

#### 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Row 1

**Tabel 4. 7 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	A	1	2	3	mm



**Tabel 4. 8 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	Rupiah
1	45	5	1	745,63	15,56	Rp350,6
2	45	6	2	209,63	8,75	Rp197,2
3	45	8	3	141,85	8,88	Rp200,1
4	55	5	2	302,81	15,45	Rp348,1
5	55	6	3	115,18	8,81	Rp198,6
6	55	8	1	375,3	9,57	Rp215,7
7	60	5	3	184,06	15,36	Rp346,2
8	60	6	1	320	8,90	Rp200,6
9	60	8	2	162,65	9,05	Rp204,0

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 115,18 menit dan 8,75 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6mm dan depth of cut =2 mm.

### 3. Finishing Cetakan Bawah Untuk Row 1

**Tabel 4. 9 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 10 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	A		kWh	Rupiah
1	45	5	0,5	62,95	3,639	Rp82,00
2	45	6	0,75	26,65	2,311	Rp52,07
3	45	8	1	23,2	2,682	Rp60,44
4	55	5	0,75	34,93	3,702	Rp83,41
5	55	6	1	16,7	2,360	Rp53,17
6	55	8	0,5	37,83	2,673	Rp60,23
7	60	5	1	24,26	3,740	Rp84,27
8	60	6	0,5	30,31	2,336	Rp52,64
9	60	8	0,75	23,43	2,709	Rp61,04

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 24,26 menit dan 2,311 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6mm dan depth of cut =0,75 mm.

#### 4. Pocket Cetakan Bawah Untuk Row 1

**Tabel 4. 11 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 12 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	4	1	4,35	0,710	Rp16,01
2	45	3	2	3,58	1,169	Rp26,35
3	45	2	3	4,15	2,033	Rp45,82
4	55	4	2	3,56	1,421	Rp32,03
5	55	3	3	2,93	1,755	Rp39,54
6	55	2	1	3,4	0,679	Rp15,29
7	60	4	3	3,26	2,130	Rp47,99
8	60	3	1	2,68	0,584	Rp13,15
9	60	2	2	3,11	1,354	Rp30,52

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 2,68 menit dan 0,584 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 3mm dan depth of cut 1 mm.

#### 5. Facing Cetakan Atas Untuk Row 1

**Tabel 4. 13 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	A	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 14 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	Rupiah
1	45	50	1,5	4,35	4,085	Rp92,05
2	45	55	1,75	3,58	3,922	Rp88,38
3	45	63	2	4,15	5,196	Rp117,09
4	55	50	1,75	3,56	4,767	Rp107,42
5	55	55	2	2,93	4,484	Rp101,04
6	55	63	1,5	3,4	3,902	Rp87,94
7	60	50	2	3,26	5,443	Rp122,64
8	60	55	1,5	2,68	3,356	Rp75,61
9	60	63	1,75	3,11	4,543	Rp102,37

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 2,68 menit dan 3,356 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

## 6. Roughing Cetakan Atas

**Tabel 4. 15 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 16 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	1	674,71	14,080	Rp317
2	45	6	2	223,1	9,312	Rp210
3	45	8	3	129,63	8,116	Rp183
4	55	5	2	270,25	13,786	Rp311
5	55	6	3	102,3	7,828	Rp176
6	55	8	1	346,76	8,845	Rp199
7	60	5	3	164,9	13,765	Rp310
8	60	6	1	287	7,986	Rp180
9	60	8	2	146	8,125	Rp183

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 102,3 menit dan 7,828 Kwh menit yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6mm dan depth of cut 3 mm.

## 7. Finishing Cetakan Atas

**Tabel 4. 17 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 18 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWH	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	5	0,5	34,86	2,015	Rp45,41
2	45	6	0,75	15,1	1,309	Rp29,50
3	45	8	1	12,5	1,445	Rp32,56
4	55	5	0,75	19,58	2,075	Rp46,76
5	55	6	1	9,48	1,340	Rp30,18
6	55	8	0,5	20,8	1,470	Rp33,11
7	60	5	1	13,56	2,090	Rp47,10
8	60	6	0,5	17,48	1,347	Rp30,36
9	60	8	0,75	12,98	1,501	Rp33,81

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 12,5 menit dan 1,309 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 45 m /menit, kemudian diameter pahat 8 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6mm dan depth of cut = 0,75 mm.

## 8. Pocket Cetakan Atas

**Tabel 4. 19 Nilai Parameter Proses Pocket Cetakan Atas**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 20 Nilai Respon Waktu Proses Pocket Cetakan Atas**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	Rupiah
1	45	4	1	2,46	0,284	Rp6,41
2	45	3	2	3,2	0,740	Rp16,67
3	45	2	3	2,18	0,756	Rp17,04
4	55	4	2	1,1	0,311	Rp7,00
5	55	3	3	1,78	0,755	Rp17,00
6	55	2	1	4,96	0,701	Rp15,79
7	60	4	3	0,68	0,314	Rp7,09
8	60	3	1	4,48	0,691	Rp15,56
9	60	2	2	2,43	0,749	Rp16,88

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 0,68 menit dan 0,284 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =1 mm.

#### 4.5.2 Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 2

##### 1. Facing Cetakan Bawah Row 2

**Tabel 4. 21 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 22 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	50	1,5	2,2	3,79	Rp85,35
2	45	55	1,75	1,8	3,62	Rp81,47
3	45	63	2	2,4	5,51	Rp124,14
4	55	50	1,75	1,8	4,42	Rp99,57
5	55	55	2	1,61	4,52	Rp101,79
6	55	63	1,5	1,71	3,60	Rp81,08
7	60	50	2	1,65	5,05	Rp113,80
8	60	55	1,5	1,35	3,10	Rp69,83
9	60	63	1,75	1,58	4,23	Rp95,35

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,35 menit dan 3,10 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55 mm dan depth of cut 1,5 mm.

## 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Row 2

**Tabel 4. 23 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 24 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost Rupiah
	Cs	D	a			
1	45	5	1	661	13,794	Rp310,83
2	45	6	2	296,7	12,383	Rp279,04
3	45	8	3	202,31	12,666	Rp285,40
4	55	5	2	426,85	21,775	Rp490,65
5	55	6	3	164,25	12,568	Rp283,20
6	55	8	1	498,73	12,721	Rp286,64
7	60	5	3	262,8	21,937	Rp494,32
8	60	6	1	450	12,521	Rp282,14
9	60	8	2	226,2	12,588	Rp283,65

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 164,25 menit dan 12,383 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =2 mm.

## 3. Finishing Cetakan Bawah Untuk Row 2

**Tabel 4. 25 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	A	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 26 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	0,5	63	2,549	Rp57,44
2	45	6	0,75	41,98	2,548	Rp57,42
3	45	8	1	36,4	2,946	Rp66,38
4	55	5	0,75	55	4,080	Rp91,94
5	55	6	1	25,78	2,550	Rp57,46
6	55	8	0,5	59,96	2,965	Rp66,82
7	60	5	1	37,65	4,063	Rp91,54
8	60	6	0,5	47,35	2,555	Rp57,56
9	60	8	0,75	37,15	3,007	Rp67,75

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 25,78 menit dan 2,548Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =0,75 mm.

#### 4. Pocket Cetakan Bawah Untuk Row 2

**Tabel 4. 27 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 28 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	4	1	61,5	2,834	63,869
2	45	3	2	40,31	3,716	83,726
3	45	2	3	31,75	4,390	98,920
4	55	4	2	12,88	1,451	32,697
5	55	3	3	22,78	3,850	86,745
6	55	2	1	74,38	4,190	94,411
7	60	4	3	12,25	2,258	50,888
8	60	3	1	30,1	1,850	41,680
9	60	2	2	46,1	5,666	127,670

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 12,25 menit dan 1,451 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 55 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =2 mm.

#### 5. Facing Cetakan Atas Untuk Row 2

**Tabel 4. 29 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 30 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	50	1,5	2,2	2,066	Rp46,55
2	45	55	1,75	1,8	1,972	Rp44,44
3	45	63	2	2,4	3,005	Rp67,71
4	55	50	1,75	1,8	2,410	Rp54,31
5	55	55	2	1,61	2,464	Rp55,52
6	55	63	1,5	1,71	1,963	Rp44,23
7	60	50	2	1,65	2,755	Rp62,07
8	60	55	1,5	1,35	1,690	Rp38,09
9	60	63	1,75	1,58	2,308	Rp52,01

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,35 dan 1,690 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

#### 6. Roughing Cetakan Atas Untuk Row 2

**Tabel 4. 31 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm



**Tabel 4. 32 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	1	806,6	16,833	Rp379,30
2	45	6	2	303,4	12,663	Rp285,34
3	45	8	3	206,6	12,934	Rp291,46
4	55	5	2	435,95	22,239	Rp501,11
5	55	6	3	165,6	12,671	Rp285,53
6	55	8	1	517,93	13,210	Rp297,67
7	60	5	3	806,43	67,317	Rp1.516,87
8	60	6	1	460,48	12,813	Rp288,72
9	60	8	2	236,63	13,168	Rp296,73

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 165,6 menit dan 12,663 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m/menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =2 mm.

#### 7. Finishing Cetakan Atas Untuk Row 2

**Tabel 4. 33 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 34 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	A		kWh	Rupiah
1	45	5	0,5	44,46	1,799	Rp40,54
2	45	6	0,75	29,68	1,801	Rp40,59
3	45	8	1	27,93	2,260	Rp50,93
4	55	5	0,75	36,13	2,680	Rp60,40
5	55	6	1	19,61	1,940	Rp43,71
6	55	8	0,5	45,56	2,253	Rp50,77
7	60	5	1	28	3,021	Rp68,08
8	60	6	0,5	34,16	1,843	Rp41,53
9	60	8	0,75	26,85	2,173	Rp48,96

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 19,61 menit dan 1,799 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 5 mm dan depth of cut =0,5 mm.

#### 8. Pocket Cetakan Atas Untuk Row 2

**Tabel 4. 35 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 36 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	4	1	3,1	0,358	Rp8,07
2	45	3	2	1,95	0,451	Rp10,15
3	45	2	3	1,41	0,489	Rp11,01
4	55	4	2	0,71	0,201	Rp4,52
5	55	3	3	1,2	0,508	Rp11,46
6	55	2	1	3,18	0,449	Rp10,12
7	60	4	3	0,46	0,213	Rp4,79
8	60	3	1	2,81	0,433	Rp9,76
9	60	2	2	1,53	0,471	Rp10,62

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 0,46 menit dan 0,201 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 55 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =2 mm.

#### 4.5.3 Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 3

##### 1. Facing Cetakan Bawah Untuk Row 3

**Tabel 4. 37 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 38 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	50	1,5	2,23	3,218	Rp72,51
2	45	55	1,75	1,85	3,115	Rp70,18
3	45	63	2	2,13	4,098	Rp92,35
4	55	50	1,75	1,83	3,766	Rp84,85
5	55	55	2	1,5	3,528	Rp79,49
6	55	63	1,5	1,75	3,087	Rp69,55
7	60	50	2	1,68	4,310	Rp97,12
8	60	55	1,5	1,38	2,655	Rp59,83
9	60	63	1,75	1,6	3,592	Rp80,93

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,38 menit dan 2,655 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

## 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Untuk Row 3

**Tabel 4. 39 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 40 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	1	773,28	16,137	Rp363,63
2	45	6	2	346,65	14,468	Rp326,02
3	45	8	3	233,73	14,633	Rp329,73
4	55	5	2	111,15	5,670	Rp127,76
5	55	6	3	189,75	14,519	Rp327,17
6	55	8	1	583,93	14,894	Rp335,61
7	60	5	3	192,83	16,096	Rp362,71
8	60	6	1	524,76	14,601	Rp329,02
9	60	8	2	643,5	35,811	Rp806,93

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 111,15 menit dan 5,67 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 5 mm dan depth of cut 2 mm.

### 3. Finishing Cetakan Bawah Untuk Row 3

**Tabel 4. 41 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 42 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	5	0,5	79	4,567	Rp102,90
2	45	6	0,75	33,56	2,910	Rp65,57
3	45	8	1	29,15	3,370	Rp75,94
4	55	5	0,75	43,8	4,642	Rp104,60
5	55	6	1	20,8	2,939	Rp66,23
6	55	8	0,5	48,16	3,403	Rp76,67
7	60	5	1	30,11	4,641	Rp104,59
8	60	6	0,5	30,3	2,335	Rp52,62
9	60	8	0,75	29,76	3,441	Rp77,53

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 20,8 menit dan 2,335 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 60 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut = 0,5 mm.

### 4. Pocket Cetakan Bawah Untuk Row 3

**Tabel 4. 43 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 44 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	4	1	31,26	1,442	32,486
2	45	3	2	40,68	3,752	84,552
3	45	2	3	21,36	2,955	66,594
4	55	4	2	13	1,466	33,024
5	55	3	3	23,12	3,910	88,099
6	55	2	1	74,78	4,215	94,984
7	60	4	3	8,28	1,527	34,419
8	60	3	1	45,23	2,781	62,673
9	60	2	2	34,8	4,280	96,441

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 8,28 menit dan 1,442 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =1 mm.

#### 5. Facing Cetakan Atas Untuk Row 3

**Tabel 4. 45 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 46 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	A		kWh	rupiah
1	45	50	1,5	2,23	3,839	Rp86,51
2	45	55	1,75	1,85	3,716	Rp83,73
3	45	63	2	2,13	4,890	Rp110,18
4	55	50	1,75	1,83	4,493	Rp101,23
5	55	55	2	1,5	4,209	Rp94,83
6	55	63	1,5	1,75	3,682	Rp82,98
7	60	50	2	1,68	5,142	Rp115,87
8	60	55	1,5	1,38	3,168	Rp71,38
9	60	63	1,75	1,6	4,285	Rp96,56

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,38 dan 3,168 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

## 6. Roughing Cetakan Atas Untuk Row 3

**Tabel 4. 47 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 48 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost Rupiah
	Cs	D	A			
1	45	5	1	465,1	9,706	Rp218,71
2	45	6	2	245	10,226	Rp230,42
3	45	8	3	136,5	8,546	Rp192,56
4	55	5	2	304,43	15,530	Rp349,94
5	55	6	3	112,15	8,582	Rp193,37
6	55	8	1	338	8,621	Rp194,26
7	60	5	3	185,6	15,493	Rp349,11
8	60	6	1	309,4	8,609	Rp193,99
9	60	8	2	155,13	8,633	Rp194,53

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 112,15 menit dan 8,609 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 60 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =1 mm.

## 7. Finishing Cetakan Atas Untuk Row 3

**Tabel 4. 49 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 50 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	5	0,5	56,68	2,614	Rp58,90
2	45	6	0,75	37,36	2,585	Rp58,24
3	45	8	1	32,3	2,979	Rp67,13
4	55	5	0,75	48,48	4,099	Rp92,37
5	55	6	1	23,46	2,645	Rp59,60
6	55	8	0,5	53,61	3,022	Rp68,09
7	60	5	1	22	2,706	Rp60,97
8	60	6	0,5	43,26	2,660	Rp59,94
9	60	8	0,75	33,06	3,049	Rp68,71

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 22 menit dan 2,585 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 5 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =0,75 mm.

#### 8. Pocket Cetakan Atas Untuk Row 3

**Tabel 4. 51 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 52 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost Rupiah
	Cs	D	A			
1	45	4	1	4,06	0,374	Rp8,44
2	45	3	2	2,56	0,472	Rp10,64
3	45	2	3	1,86	0,515	Rp11,60
4	55	4	2	0,92	0,207	Rp4,67
5	55	3	3	1,5	0,507	Rp11,43
6	55	2	1	4,15	0,468	Rp10,54
7	60	4	3	0,62	0,229	Rp5,15
8	60	3	1	3,7	0,455	Rp10,25
9	60	2	2	2	0,492	Rp11,09

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 0,62 menit dan 0,207 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 55 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =2 mm.

#### 4.5.4 Perhitungan Waktu Optimal Untuk ROW 4

##### 1. Facing Cetakan Bawah Untuk Row 4

**Tabel 4. 53 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 54 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	A			
1	45	50	1,5	2,2	3,154	71,072
2	45	55	1,75	1,81	3,027	68,219
3	45	63	2	2,1	4,014	90,456
4	55	50	1,75	1,56	3,189	71,862
5	55	55	2	1,48	3,458	77,916
6	55	63	1,5	1,7	2,979	67,124
7	60	50	2	1,65	4,205	94,763
8	60	55	1,5	1,36	2,600	58,581
9	60	63	1,75	1,58	3,524	79,400

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,36 dan 2,6 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

##### 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Untuk Row 4

**Tabel 4. 55 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm



**Tabel 4. 56 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	1	671,71	14,018	315,865
2	45	6	2	301,8	12,596	283,837
3	45	8	3	202,85	12,700	286,165
4	55	5	2	436,93	22,289	502,241
5	55	6	3	164,68	12,601	283,944
6	55	8	1	509,9	13,006	293,059
7	60	5	3	263,7	22,012	496,010
8	60	6	1	456,36	12,698	286,132
9	60	8	2	234,5	13,050	294,057

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 164,68 menit dan 12,596 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =2 mm.

### 3. Finishing Cetakan Bawah Untuk Row 4

**Tabel 4. 57 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	5	6	8	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 58 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	0,5	74,45	4,304	96,976
2	45	6	0,75	31,5	2,731	61,546
3	45	8	1	27,68	3,200	72,110
4	55	5	0,75	41,2	4,366	98,387
5	55	6	1	19,7	2,784	62,726
6	55	8	0,5	45,25	3,197	72,039
7	60	5	1	28,58	4,406	99,273
8	60	6	0,5	35,9	2,767	62,350
9	60	8	0,75	27,96	3,233	72,840

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 19,7 menit dan 2,731 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 1 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 6 mm dan depth of cut =0,75 mm.

#### 4. Pocket Cetakan Bawah Untuk Row 4

**Tabel 4. 59 Nilai Parameter Proses Pocket**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 60 Nilai Respon Waktu Proses Pocket**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	4	1	6,26	4,274	96,318
2	45	3	2	3,78	5,162	116,320
3	45	2	3	1,86	3,810	85,855
4	55	4	2	1,45	2,420	54,536
5	55	3	3	2,2	5,508	124,116
6	55	2	1	7,16	5,975	134,647
7	60	4	3	0,95	2,595	58,468
8	60	3	1	6,48	5,900	132,937
9	60	2	2	3,45	6,282	141,554

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 0,95 menit dan 2,420 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 55 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =2 mm.

#### 5. Facing Cetakan Atas Untuk Row 4

**Tabel 4. 61 Nilai Parameter Proses Facing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	50	55	63	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1,5	1,75	2	mm

**Tabel 4. 62 Nilai Respon Waktu Proses Facing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	50	1,5	2,2	3,154	71,072
2	45	55	1,75	1,81	3,027	68,219
3	45	63	2	2,1	4,014	90,456
4	55	50	1,75	1,56	3,189	71,862
5	55	55	2	1,48	3,458	77,916
6	55	63	1,5	1,7	2,979	67,124
7	60	50	2	1,65	4,205	94,763
8	60	55	1,5	1,36	2,600	58,581
9	60	63	1,75	1,58	3,524	79,400

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 1,36 dan 2,6 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m /menit, kemudian diameter pahat 55mm dan depth of cut 1,5 mm.

#### 6. Roughing Cetakan Atas Untuk Row 4

**Tabel 4. 63 Nilai Parameter Proses Roughing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 64 Nilai Respon Waktu Proses Roughing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	5	1	462,3	9,648	217,392
2	45	6	2	172,68	7,207	162,402
3	45	8	3	117,18	7,336	165,308
4	55	5	2	250	12,753	287,369
5	55	6	3	93,36	7,144	160,973
6	55	8	1	295,23	7,530	169,680
7	60	5	3	150,4	12,555	282,897
8	60	6	1	261,6	7,279	164,020
9	60	8	2	134,73	7,498	168,948

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 93,36 dan 7,144 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 55 m /menit, kemudian diameter pahat 6 mm dan depth of cut 3 mm.

#### 7. Finishing Cetakan Atas Untuk Row 4

**Tabel 4. 65 Nilai Parameter Proses Finishing**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Feedrate</i>	Cs	45	55	60	mm/menit
<i>Retrack Rate</i>	D	5	6	8	mm/menit
<i>Depth of Cut</i>	a	0,5	0,75	1	mm

**Tabel 4. 66 Nilai Respon Waktu Proses Finishing**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power kWh	Cost rupiah
	Cs	D	a			
1	45	5	0,5	58,58	2,366	53,303
2	45	6	0,75	38,56	2,336	52,630
3	45	8	1	22,31	1,802	40,600
4	55	5	0,75	50,21	3,717	83,759
5	55	6	1	24,21	2,390	53,849
6	55	8	0,5	36,85	1,819	40,982
7	60	5	1	34,85	3,753	84,562
8	60	6	0,5	44,55	2,399	54,049
9	60	8	0,75	22,46	1,814	40,873

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 22,31 dan 1,802 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 45 m /menit, kemudian diameter pahat 8 mm dan depth of cut 1 mm.

#### 8. Pocket Cetakan Atas Untuk Row 4

**Tabel 4. 67 Nilai Parameter Proses Pocket Cetakan atas**

Nama Faktor	Kode	Level I	Level II	Level III	Satuan
<i>Cutting speed</i>	Cs	45	55	60	m/menit
<i>Diameter Pahat</i>	D	4	3	2	mm
<i>Depth of Cut</i>	a	1	2	3	mm

**Tabel 4. 68 Nilai Respon Waktu Proses Pocket Cetakan atas**

No	Kombinasi Parameter			Waktu (menit)	Power	Cost
	Cs	D	a		kWh	rupiah
1	45	4	1	2,03	0,164	3,701
2	45	3	2	2,53	0,409	9,225
3	45	2	3	1,83	0,444	10,009
4	55	4	2	0,9	0,178	4,011
5	55	3	3	1,46	0,433	9,760
6	55	2	1	4,06	0,401	9,047
7	60	4	3	0,6	0,194	4,375
8	60	3	1	3,6	0,388	8,751
9	60	2	2	1,98	0,427	9,626

Dari data diatas dalam dilihat bahwa kombinasi parameter permesinan yang menghabiskan waktu paling sedikit dan daya paling rendah yakni 0,6 menit dan 0,164 Kwh yaitu kombinasi cutting speed 60 m/menit, kemudian diameter pahat 4 mm dan depth of cut 3 mm. Untuk daya memakai cutting speed 45 m/menit , diameter pahat= 4 mm dan depth of cut =1 mm.

## 4.6 Analisa of Varian dan S/N Rasio

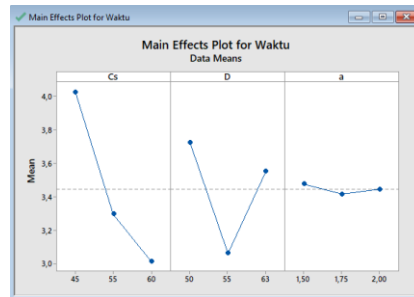
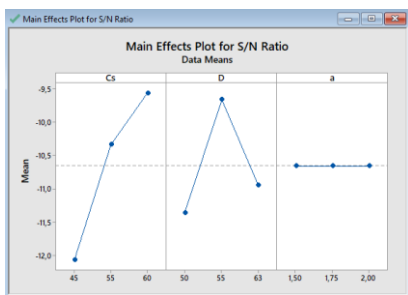
### 4.6.1 Analisa of Varian S/N Rasio Untuk Row 1

#### 1. Facing Untuk Cetakan Bawah Row 1

Tabel 4. 69 Nilai Analysis of Variance Proses Facing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	1,63140	0,815700	326,28	0,003
D	2	0,70460	0,352300	140,92	0,007
a	2	0,00540	0,002700	1,08	0,481



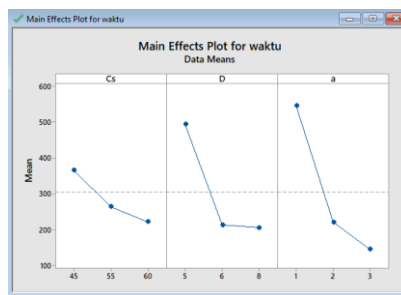
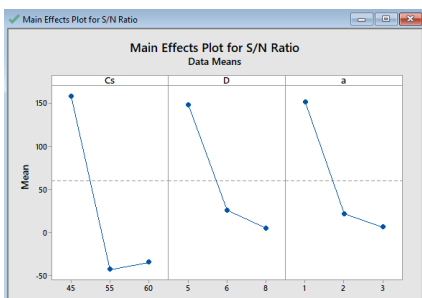
Grafik 4. 1 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Facing

#### 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Row 1

Tabel 4. 70 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	32619	16310	2,23	0,310
D	2	72453	36227	4,95	0,168
a	2	182327	91164	12,45	0,074



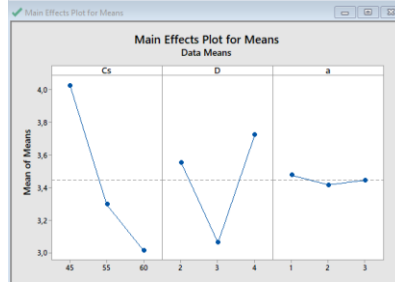
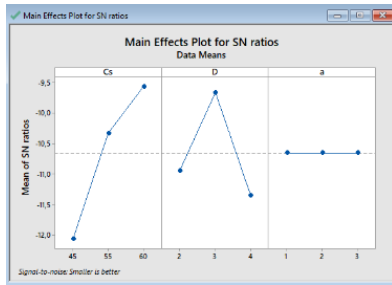
Grafik 4. 2 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Roughing

### 3. Surface Roughing Pocket Untuk Cetakan Bawah Row 1

Tabel 4. 71 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	1,63140	0,815700	326,28	0,003
D	2	0,70460	0,352300	140,92	0,007
a	2	0,00540	0,002700	1,08	0,481



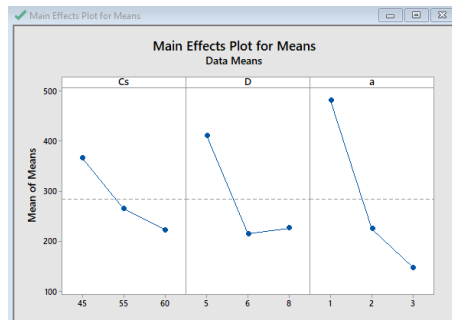
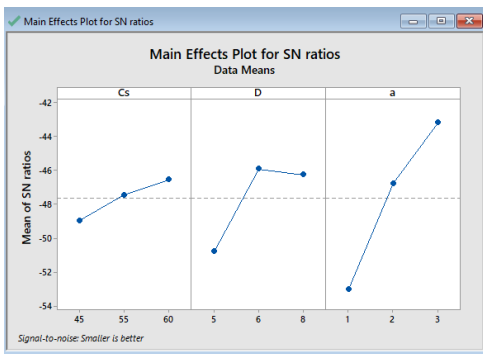
Grafik4. 3 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing* Pocket

### 4. Finishing Untuk Cetakan Bawah Row 1

Tabel 4. 72 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	32619	16310	2,23	0,310
D	2	72453	36227	4,95	0,168
a	2	182327	91164	12,45	0,074



Grafik4. 4 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Finishing*

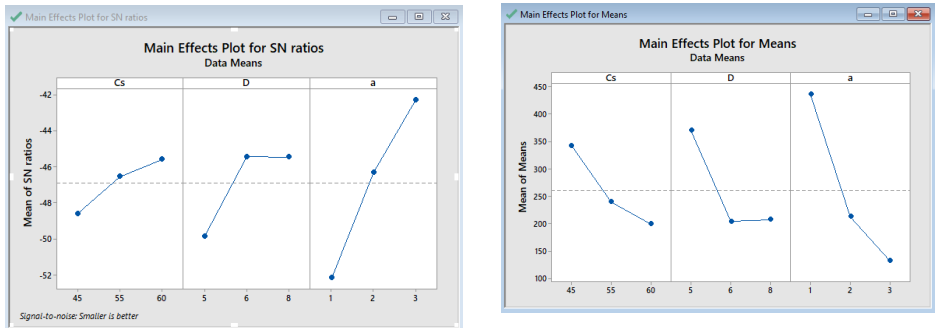
**5. Roughing Untuk Cetakan Atas Row 1**

Tabel 4. 73 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	32688	16344	3,15	0,241
D	2	53910	26955	5,19	0,162
a	2	148625	74313	14,31	0,065

Grafik 4. 5Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing*

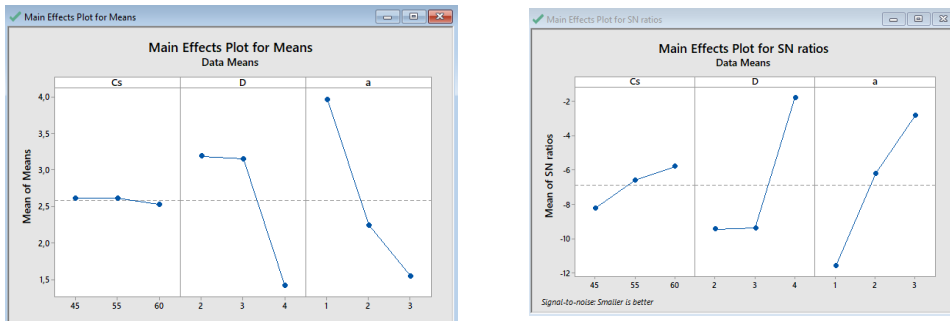


**6. Surface Roughing Pocket Cetakan Atas Row 1**

Tabel 4. 74 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,0139	0,00694	0,02	0,983
D	2	6,1855	3,09274	7,88	0,113
a	2	9,3116	4,65581	11,86	0,078



Grafik 4. 6 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing* Pocket

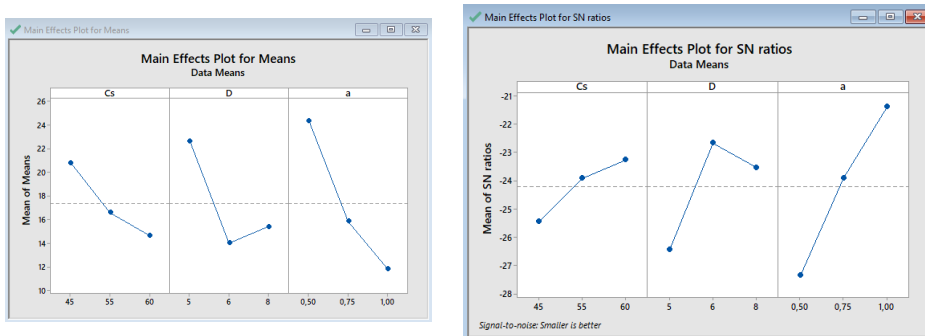
**7. Finishing Untuk Cetakan Atas Row 1**

Tabel 4. 75 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing



### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	59,21	29,606	4,37	0,186
D	2	129,16	64,581	9,53	0,095
a	2	245,54	122,771	18,11	0,052



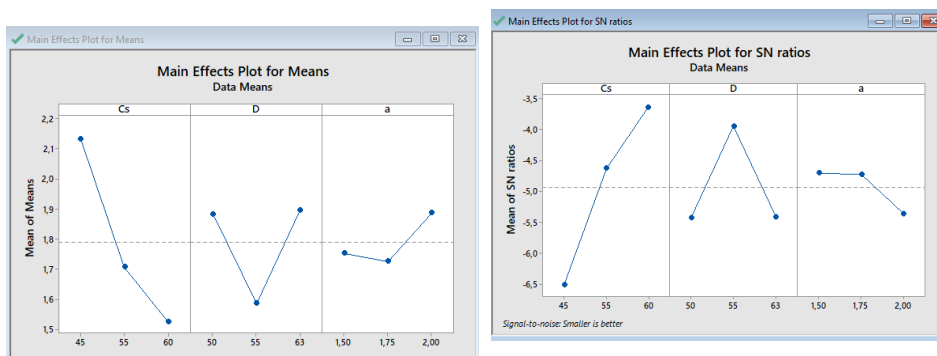
Grafik 4. 7 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Facing

## 4.6.2 S/N Rasio Untuk Row 2

### 1. Facing Untuk Cetakan Bawah Row 2

Tabel 4. 76 Nilai Analysis of Variance Proses Facing

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,58249	0,29124	22,73	0,042
D	2	0,18429	0,09214	7,19	0,122
a	2	0,04409	0,02204	1,72	0,368



Grafik 4. 8 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Facing

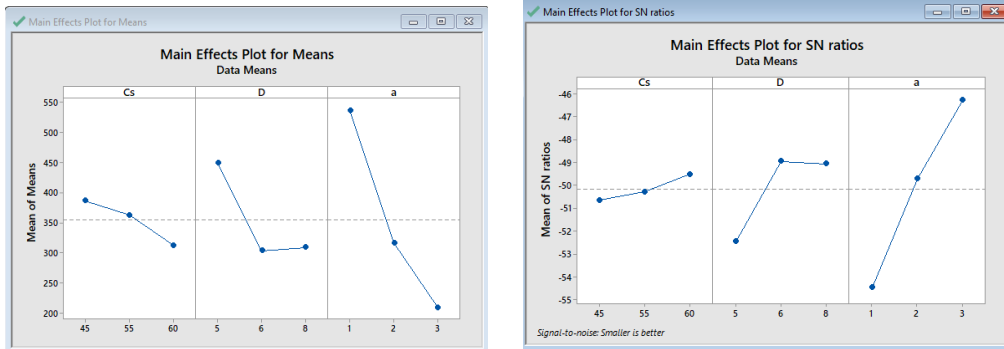
### 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Row 2

Tabel 4. 77 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	8502	4251,1	61,12	0,016
D	2	41431	20715,4	297,85	0,003
a	2	166594	83297,1	1197,68	0,001

Grafik4. 9 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing*



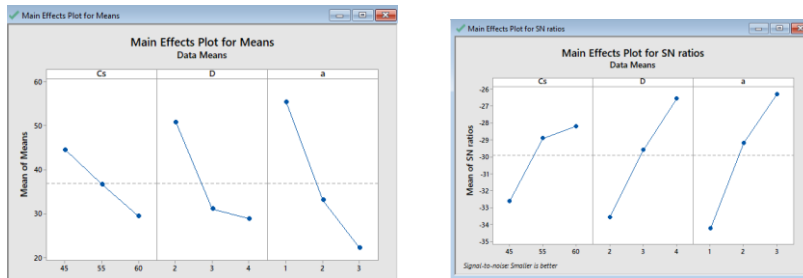
### 3. Surface Roughing Pocket Untuk Cetakan Bawah Row 2

Tabel 4. 78 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	79,53	39,77	2,04	0,329
D	2	274,69	137,35	7,03	0,125
a	2	828,10	414,05	21,19	0,045

Grafik 4. 10 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing Pocket*

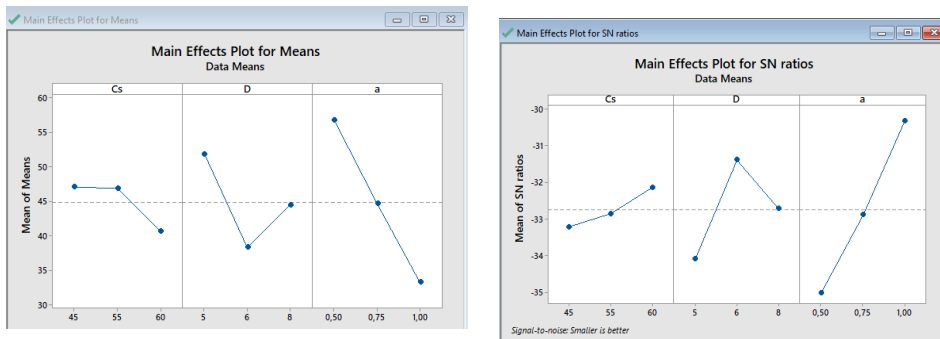


#### 4. Finishing Untuk Cetakan Bawah Row 2

Tabel 4. 79 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	79,53	39,77	2,04	0,329
D	2	274,69	137,35	7,03	0,125
a	2	828,10	414,05	21,19	0,045



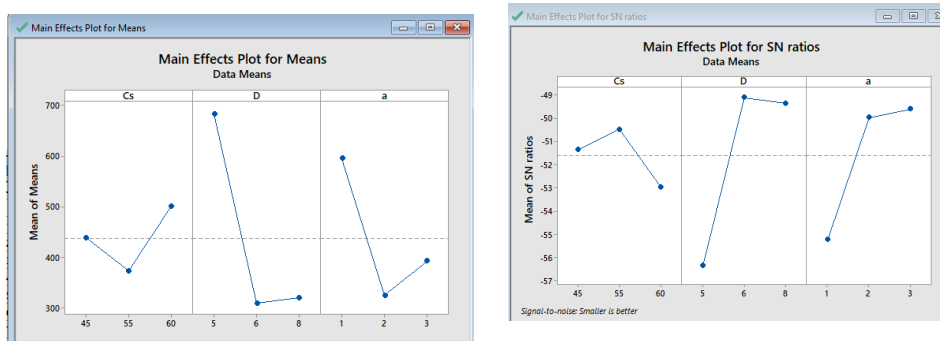
Grafik 4. 11 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Finishing*

#### 5. Roughing Untuk Cetakan Atas Row 2

Tabel 4. 80 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	24589	12295	0,48	0,676
D	2	270848	135424	5,28	0,159
a	2	118144	59072	2,30	0,303



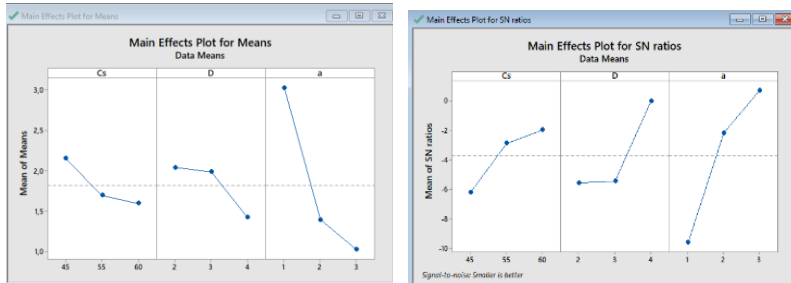
Grafik 4. 12 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing*

### 6. Surface Roughing Pocket Cetakan Atas Row 2

Tabel 4. 81 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,5241	0,26203	3,62	0,216
D	2	0,7005	0,35023	4,84	0,171
a	2	6,8339	3,41693	47,20	0,021



Grafik 4. 13 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing Pocket*

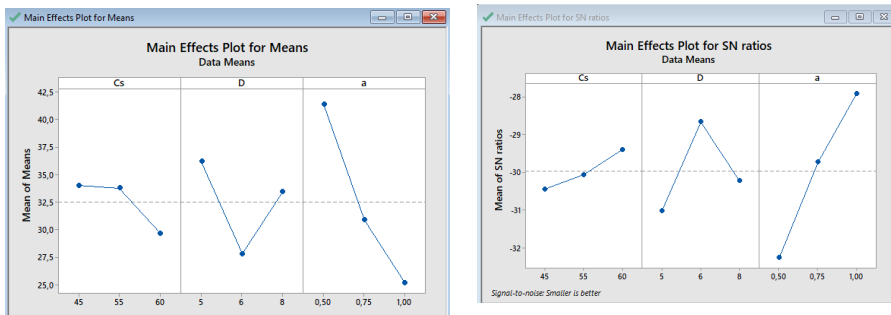
### 7. Finishing Untuk Cetakan Atas Row 2

Tabel 4. 82 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	35,80	17,90	1,40	0,417
D	2	109,48	54,74	4,28	0,189
a	2	405,83	202,91	15,86	0,059

Grafik 4. 14 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Facing*



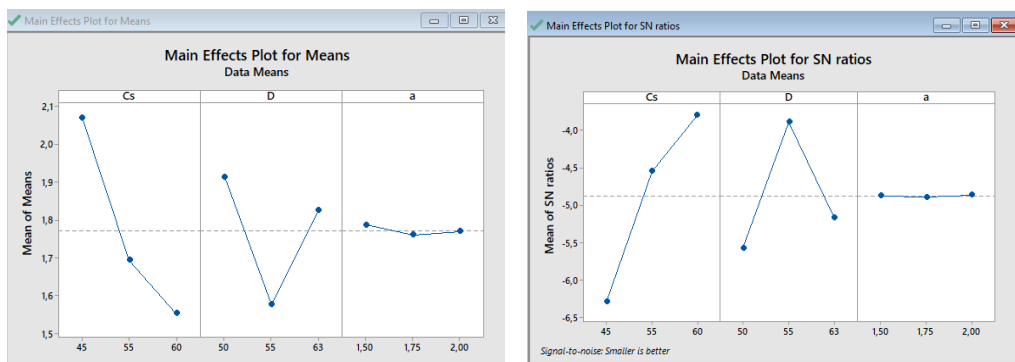
### 4.6.3 S/N Rasio Untuk Row 3

#### 1. Facing Untuk Cetakan Bawah Row 3

Tabel 4. 83 Nilai Analysis of Variance Proses Facing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,428422	0,214211	621,90	0,002
D	2	0,183356	0,091678	266,16	0,004
a	2	0,001089	0,000544	1,58	0,388



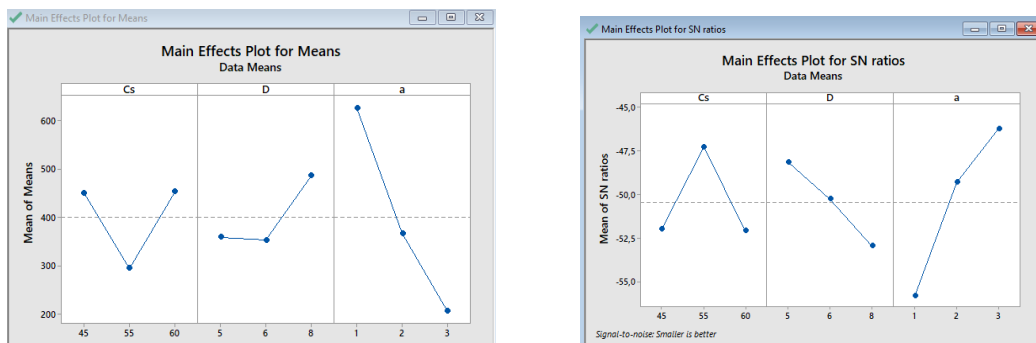
Grafik 4. 15 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Facing

#### 2. Roughing Untuk Cetakan Bawah Row 3

Tabel 4. 84 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	49631	24816	0,53	0,653
D	2	34182	17091	0,37	0,732
a	2	271840	135920	2,91	0,256



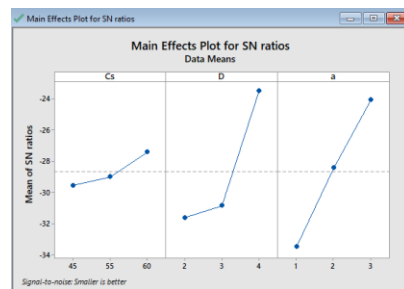
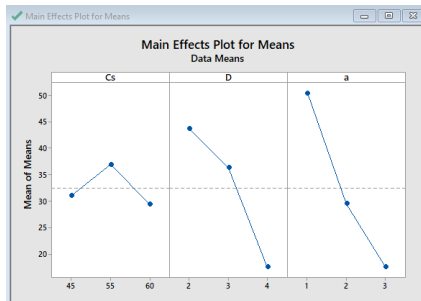
Grafik 16 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses Roughing

### 3. Surface Roughing Pocket Untuk Cetakan Bawah Row 3

Tabel 4. 85 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	93,89	46,94	0,26	0,793
D	2	1090,86	545,43	3,03	0,248
a	2	1658,08	829,04	4,61	0,178



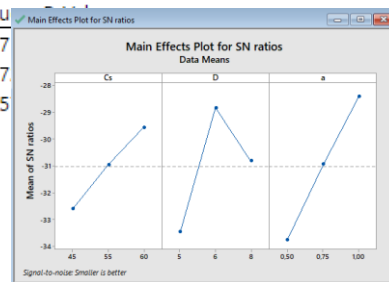
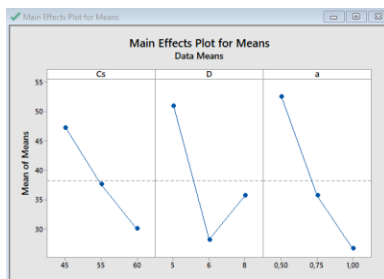
Grafik 4. 17 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing Pocket*

### 4. Finishing Untuk Cetakan Bawah Row 3

Tabel 4. 86 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Cs	2	445,0	222,49	3,7
D	2	806,8	403,42	6,7
a	2	1028,6	514,28	8,5



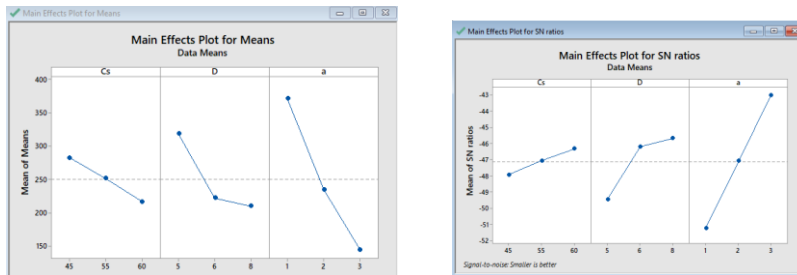
Grafik 4. 18 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Finishing*

## 5. Roughing Untuk Cetakan Atas Row 3

Tabel 4. 87 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	6442	3221,0	29,46	0,033
D	2	21177	10588,4	96,85	0,010
a	2	77723	38861,4	355,46	0,003



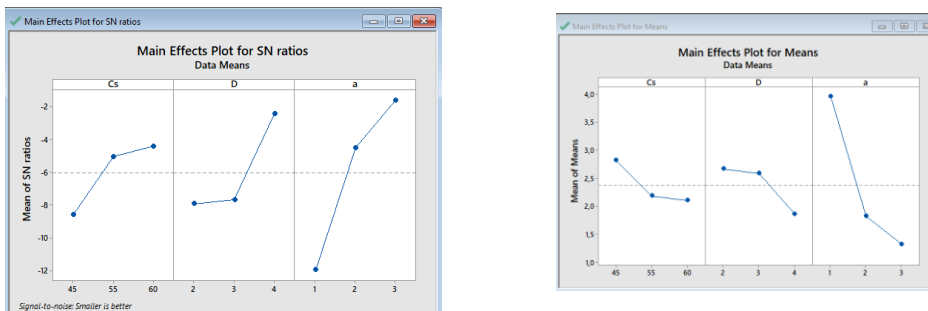
Grafik 4. 19 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing*

## 6. Surface Roughing Pocket Cetakan Atas Row 3

Tabel 4. 88 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,9307	0,4653	4,31	0,188
D	2	1,1707	0,5853	5,43	0,156
a	2	11,8311	5,9155	54,84	0,018



Grafik 4. 20 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing Pocket*

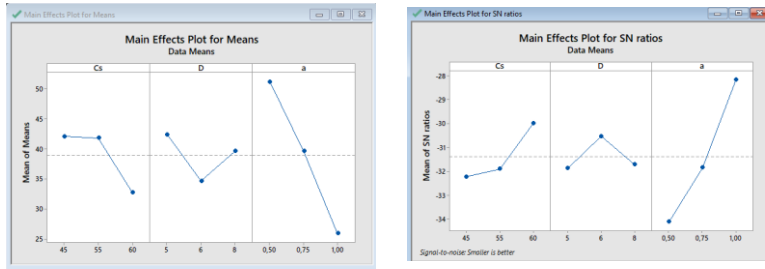
## 7. Finishing Untuk Cetakan Atas Row 3

Tabel 4. 89 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	169,69	84,85	6,36	0,136
D	2	91,27	45,64	3,42	0,226
a	2	959,69	479,85	35,97	0,027

Grafik 4. 21 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Facing*

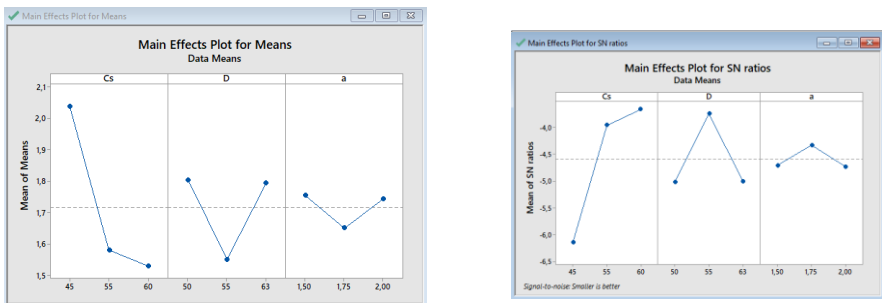


**4.6.4 S/N Rasio Untuk Row 4**  
**9. *Facing* Untuk Cetakan Bawah Row 4**

Tabel 4. 90 Nilai Analysis of Variance Proses *Facing*

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,467756	0,233878	48,28	0,020
D	2	0,123489	0,061744	12,75	0,073
a	2	0,019489	0,009744	2,01	0,332



Grafik 4. 22 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Facing*

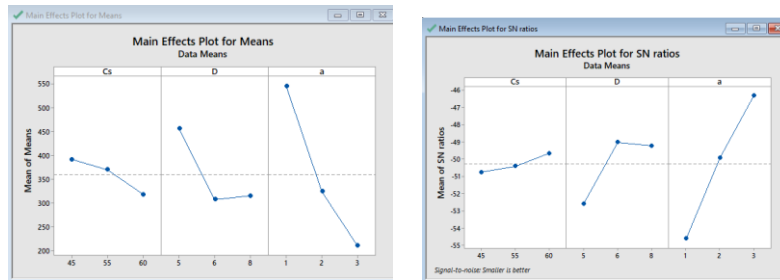
**10. *Roughing* Untuk Cetakan Bawah Row 4**



Tabel 4. 91 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

## Analysis of Variance

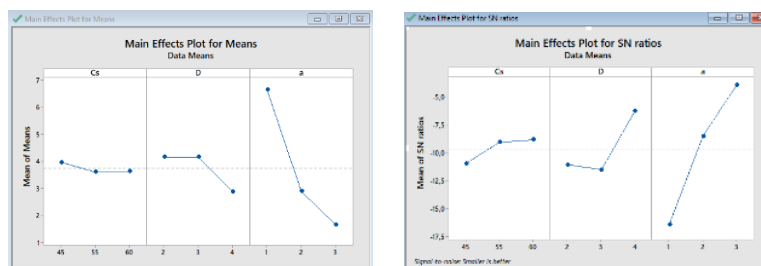
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	8670	4335,2	71,72	0,014
D	2	42594	21297,1	352,33	0,003
a	2	174708	87353,8	1445,13	0,001

Grafik 4. 23 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing***B. Surface Roughing Pocket Untuk Cetakan Bawah Row 4**

Tabel 4. 92 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

## Analysis of Variance

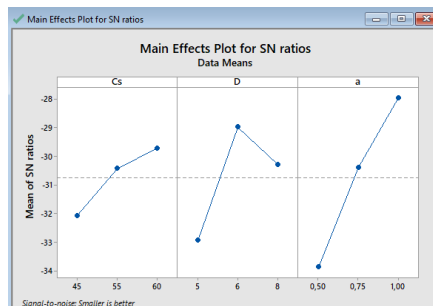
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	293,30	146,65	4,53	0,181
D	2	592,48	296,24	9,16	0,098
a	2	1107,89	553,95	17,13	0,055

Grafik 4. 24 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing* Pocket**C. Finishing Untuk Cetakan Bawah Row 4**

Tabel 4. 93 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	293,30	146,65	4,53	0,181
D	2	592,48	296,24	9,16	0,098
a	2	1107,89	553,95	17,13	0,055



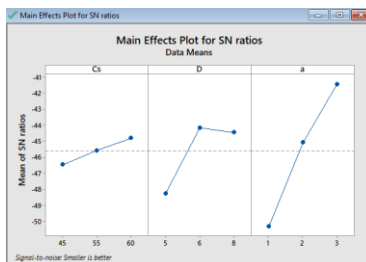
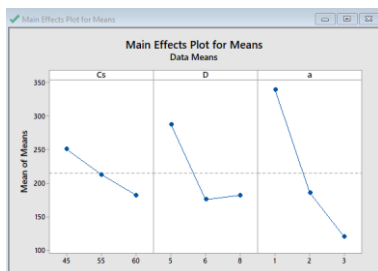
Grafik 4. 25 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Finishing*

**D. Roughing Untuk Cetakan Atas Row 4**

Tabel 4. 94 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	7060	3529,9	6,98	0,125
D	2	23580	11790,2	23,32	0,041
a	2	76111	38055,5	75,27	0,013



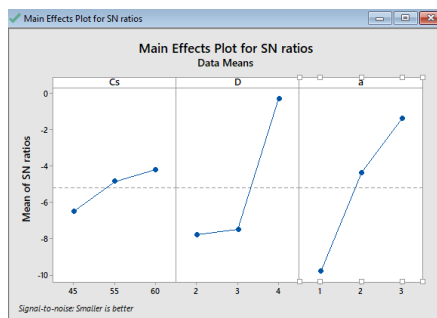
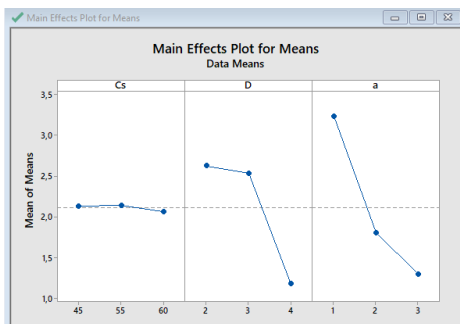
Grafik 4. 26 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing*

**E. Surface Roughing Pocket Cetakan Atas Row 4**

Tabel 4. 95 Nilai Analysis of Variance Proses Roughing Pocket

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	0,0114	0,00570	0,02	0,977
D	2	3,9331	1,96653	7,98	0,111
a	2	6,0299	3,01493	12,23	0,076



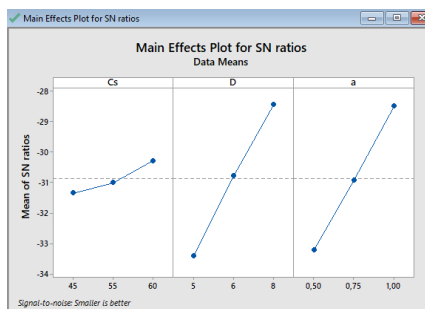
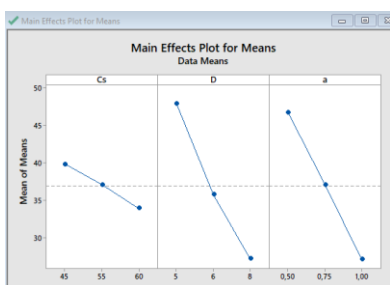
Grafik 4. 27 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Roughing* Pocket

**F. Finishing Untuk Cetakan Atas Row 4**

Tabel 4. 96 Nilai Analysis of Variance Proses Finishing

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cs	2	51,65	25,83	2,20	0,312
D	2	647,35	323,67	27,59	0,035
a	2	572,59	286,30	24,40	0,039



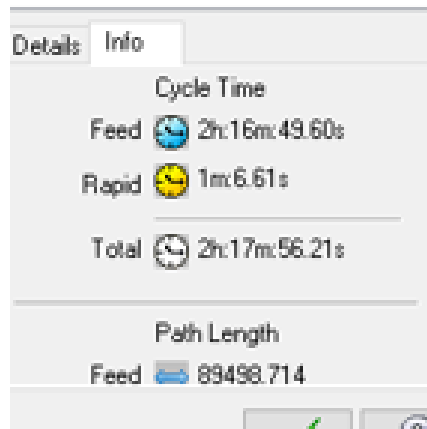
Grafik 4. 28 Nilai Rata-Rata S/N Rasio Proses *Facing*

**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* dari gudang dan proses pemasangan benda di meja mesin. Waktu pemasangan benda kerja diasumsikan 20 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 centre*. Nilai *zero point tool* untuk masing-masing pahat berbeda, jadi masing-masing pahat harus diatur sendiri-sendiri. Penentuan *zero point tool* diasumsikan @5 menit. Pengerjaan dies *turbine blade* ini menggunakan 4 variasi *tool* jadi waktu total *zero point* adalah 20 menit
- c. Waktu Pemotongan ( $t_c$ )  
Waktu pemotongan didapat dari hasil simulasi *MaterCam*. Waktu pemotongan benda kerja dapat dilihat pada gambar 4.19, yaitu sebesar 2 jam: 17 m: 56 detik atau 137,93 menit.



Gambar 4. 19 Cycle Time Simulasi Pengerjaan di MasterCam

**d. Waktu Pergantian Pahat ( $t_t$ )**

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 4 transisi membutuhkan waktu 4 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 4.17 yaitu *cycle time* untuk *rapid* yaitu sebesar 1 menit 6,61 detik d atau 1,1 menit.

**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:

$$\begin{aligned} t_m &= t_a + t_b + t_c + t_t + t_s \text{ menit} \\ &= 20 + 25 + 137,93 + 4 + 1,1 \\ &= 188,03 \text{ menit} \\ &= \mathbf{3 \text{ jam: } 8 \text{ menit: } 1,8 \text{ detik}} \end{aligned}$$

Jadi waktu total proses produksi dies *turbine blade* bagian cetakan atas adalah **3 jam: 8 menit: 1,8 detik**. Waktu tersebut digunakan untuk dasar perhitungan daya dan biaya produksi.

## 4.8 Perhitungan Biaya Total Produksi

### 4.8.1 Biaya Material

Material yang digunakan adalah *cast iron* dengan ukuran 151 mm x 102 mm x 62 mm. Harga per kilogramnya Rp. 35000, - untuk dengan panjang sesuai permintaan. Diketahui massa jenis *cast iron* adalah 6800 kg/m<sup>3</sup> jadi massa dari benda kerja dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

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

Dimana:

$\rho$	=	massa jenis, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{ss}$	=	6800 kg/m <sup>3</sup>
$m$	=	massa, kg
$V$	=	volume, m <sup>3</sup>
$V_{ss}$	=	151 x 102 x 62 mm <sup>3</sup>
	=	955 x 10 <sup>-6</sup>
$m_{ss}$	=	$\rho_{ss} \times V_{ss}$
	=	6800 x 955 x 10 <sup>-6</sup>
	=	6,87 kg

Biaya material dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Harga material (C}_m) &= \text{harga per kg} \times \text{massa} \\ &= 35000 \times 6,87 \text{ kg} \\ &= \text{Rp.240641, -} \end{aligned}$$

#### 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 4.39.

Tabel 4.26 Harga Mesin dan Peralatan

Mesin dan Peralatan	Harga
<i>Face Mill</i> $\varnothing 55$	Rp. 1.200.000
<i>Flat End mill</i> $\varnothing 6$	Rp. 240.000
<i>Flat End mill</i> $\varnothing 4$	Rp. 190.000
-	
<i>Mesin CNC 5-axis VMC-1060L3</i>	Rp.576.160.000
<b>Total</b>	Rp.577.886.000

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

$I_{pti}$  = Bunga-pajak-asuransi

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

$$\begin{aligned} C_f &= 577.886.000 \left\{ \frac{1}{20} + \frac{20+1}{2 \cdot 20} 0,2 \right\} \\ &= \text{Rp. 89.572.330, - per tahun} \end{aligned}$$

### 4.8.3 Biaya Permesinan

Biaya permesinan berkaitan dengan daya yang dihasilkan pada proses pengerjaan benda. Daya total yang digunakan selama proses *milling* adalah jumlah daya yang diperlukan oleh pahat pemotong dan daya yang hilang ke mesin. Laju penghasilan beram (*Material Removed Rate*) untuk *milling* dihitung dengan rumus berikut:

$$MRR = Ap \cdot Ae \cdot F \dots\dots\dots (4.6)$$

Dimana:

MRR = Material removed rate, mm<sup>3</sup>/menit

Ap = *Depth of cut*, mm

Ae = *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 0.5-0.8 dari diameter *cutter* sesuai dengan nilai *radial depth of cut*. Perhitungan daya yang dibutuhkan pada proses pemotongan adalah sebagai berikut:

$$HP_c = MRR \cdot UHP \dots\dots\dots (4.7)$$

Dimana:

HP<sub>c</sub> = Daya spindel, hp

UHP = Unit Horse Power, hp/ in<sup>3</sup>/menit

Nilai MRR dapat dihitung mengacu pada tabel 4.8. Input nilai *depth of cut*, *width of cut* dan *Feed Rate* untuk tiap-tiap jenis pahat. Nilai UHP untuk pahat *Endmill* dapat dilihat pada gambar 4.17.

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. 20 Nilai Unit Horsepower Untuk Berbagai Material

(Sumber: <https://www.machiningresources.com>)

Contoh perhitungan  $HP_c$  untuk pahat *Face Mill*  $\varnothing 55$  dengan dalam pemakanan 1,5 mm didapat:

$$V_f = 417 \text{ mm/menit} \qquad \text{UHP} = 1 \text{ hp/ in}^3/\text{menit}$$

$$A_p = 1,5 \text{ mm} \qquad A_e = 44 \text{ mm}$$

$$\text{Eff} = 60\%$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } MRR &= A_p \cdot A_e \cdot F \\ &= 1,5 \cdot 44 \cdot 417 \\ &= 1,6791 \text{ in}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HP_c &= MRR \cdot \text{UHP} \\ &= 1,6791 \cdot 1 \\ &= 1,2521 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HP_m &= HP_c / \text{eff} \\ &= 1,2521 / 0.6 \\ &= 2,086 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan data untuk setiap jenis pahat sebagai berikut:



Tabel 4. 97 Data Hasil Perhitungan HPc HPm dan kWh

Jenis Pahat	MRR (in <sup>3</sup> /min)	HPc (kW)	HPm (kW)	Cycle Time (hour)	kWh
Face Mill Ø 55	1,6791	1,2521	2,086	2,68	3,36
Flat End mill Ø 6 (Roughing cetakan bawah)	0,10	0,08	0,13	115,18	8,81
Flat Endmill Ø3 (Roughing pocket drag )	0,291	0,218	0,363	2,68	0,584
Flat End mil Ø 6 (Finishing Bottom)	0,189	0,141	0,236	16,7	2,36
-					
<b>TOTAL</b>					15,114

Harga daya untuk mesin CNC 11kVA adalah Rp. 1352,-. Per kWh. Maka besarnya biaya per menit yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya/menit} &= (\text{Kwh} \times \text{harga}) / 60 \dots\dots\dots (4.8) \\
 &= 15,114 \times 1352 / 60 \\
 &= \text{Rp. } 360,56/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung besarnya biaya daya pertahun maka perlu dilakukan perhitungan tantang kerja efektif (J). Dalam 1 minggu ada 5 hari kerja aktif dengan 16 jam (dua shift) tiap harinya dan ada 50 minggu per tahunnya, sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$J = M \times H \times Ja \times 60 \dots\dots\dots (4.9)$$

Dimana:

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi } J &= 50 \times 5 \times 16 \times 60 \\
 &= 240000 \text{ menit/tahun}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C_{\text{daya}} &= \text{Biaya/menit} \times J \dots\dots\dots (4.10) \\ &= 360,56 \times 240000 \\ &= \text{Rp. } 86.534.400, - / \text{ tahun} \end{aligned}$$

Biaya pengoperasian CNC dilakukan oleh 2 orang operator dengan upah minimum regional (UMR) sebesar Rp 3.871.052, - perbulannya. Jadi untuk biaya operator pertahun adalah:

$$\begin{aligned} C_{\text{operator}} &= 2 \times \text{UMR} \times 12 \\ &= 2 \times 3.871.052 \times 12 \\ &= \text{Rp. } 92.905.248 \sim \text{Rp. } 92.905.250,-/\text{tahun} \end{aligned}$$

#### 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:

$$\begin{aligned} C_m &= (C_f + C_{\text{daya}} + C_{\text{operator}})/J \dots\dots\dots (4.11) \\ &= (89.572.330 + 86.534.400 + 92.905.250)/240000 \\ &= \text{Rp. } 1120,88/ \text{ menit} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C_o &= C_m \times t_m \dots\dots\dots (4.12) \\ &= 1120,88 \times 188,03 \\ &= \text{Rp. } 210.744, - \sim \text{Rp. } 210.800 \end{aligned}$$

#### 4.8.5 Biaya Produksi

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

$$\begin{aligned} C_u &= C_m + C_o \\ &= 240.641 + \mathbf{210.800} \\ &= \text{Rp. } 451.441,- \sim \text{Rp. } 451.500,- \end{aligned}$$

Jadi biaya total produksi dies *turbine blade* cetakan atas adalah sebesar **Rp. 451.500,-**

Tabel 4.97 Hasil Perhitungan Biaya Produksi Dies Turbine Blade

	PART	PROCESS	Parameter Waktu Permesinan Terendah			Parameter Daya Permesinan Terendah			biaya produksi	
			D	Cs	a	D	Cs	a	t rendah	P rendah
ROW 1	cetakan atas	facing	55	60	1,5	55	60	1,5	Rp801.961	Rp971.442
		roughing	6	55	3	6	55	3		
		pocket	4	60	1,5	2	60	1,5		
		finishing	6	55	1	6	45	0,75		
	cetakan bawah	facing	55	60	1,5	55	60	1,5		
		roughing	6	55	3	6	45	2		
		pocket	3	60	1	3	60	1		
		finishing	6	55	1	6	45	0,75		
ROW 2	cetakan atas	facing	55	60	1,5	55	60	1,5	Rp962.583	Rp1.339.392
		roughing	6	55	3	6	45	2		
		pocket	4	60	3	4	55	2		
		finishing	6	55	1	5	45	0,75		
	cetakan bawah	facing	55	60	1,5	55	60	1,5		
		roughing	6	55	3	6	45	2		
		pocket	4	60	3	4	55	2		
		finishing	6	55	1	6	45	0,75		
ROW 3	cetakan atas	facing	55	60	1,5	55	60	1,5	Rp1.112.823	Rp1.299.123
		roughing	6	55	3	8	45	3		
		pocket	4	60	3	4	55	2		
		finishing	5	60	1	6	45	0,75		
	cetakan bawah	facing	55	60	1,5	55	60	1,5		
		roughing	5	55	2	5	55	2		
		pocket	4	60	3	4	45	1		
		finishing	6	55	1	6	60	0,5		
ROW 4	cetakan atas	facing	55	60	1,5	55	60	1,5	Rp920.417	Rp996.199
		roughing	6	55	3	6	55	3		
		pocket	4	60	3	4	45	1		
		finishing	8	45	1	8	45	1		
	cetakan bawah	facing	55	60	1,5	55	60	1,5		
		roughing	6	55	3	6	45	2		
		pocket	4	60	3	4	55	2		
		finishing	6	55	1	6	45	0,75		
TOTAL BIAYA PRODUKSI									Rp3.797.784	Rp4.606.156

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan pada hasil simulasi pengerjaan *dies turbine blade* pada MasterCam dengan beberapa variasi alur lintasan pahat dan perhitungan waktu total serta biaya produksinya, maka diperoleh kesimpulan yang menjawab tujuan masalah dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

#### **5.1. Kesimpulan**

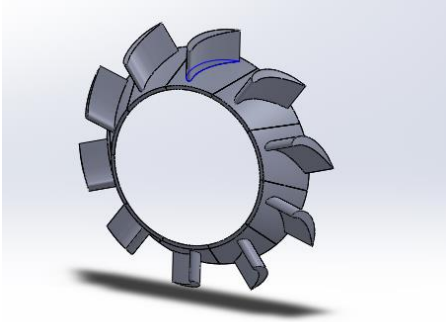
1. Dari proses simulasi permesinan yang dilakukan, untuk dapat menghasilkan dies turbine blade two stage 40 derajat pada OTEC, digunakan toolpath facing, roughing, surface rough pocket dan surface finish contour dengan variasi cutting speed, diameter pahat dan kedalaman pemotongan
2. Dari hasil proses simulasi permesinan yang dilakukan, untuk dapat menghasilkan dies turbine blade two stage 40 derajat pada OTEC memerlukan waktu 303.08 menit untuk row 1, 300.98 menit untuk row 2, 510.55 menit untuk row 3 dan 367,6 menit untuk row 4.
3. Dari hasil proses simulasi permesinan yang dilakukan, untuk dapat menghasilkan dies turbine blade two stage 40 derajat pada OTEC dihabiskan biaya sebesar Rp. 802.000 untuk row 1, Rp. 962.600 untuk row 2, Rp. 1.112.850 untuk row 3 dan Rp. 920.450 untuk row 4 .
4. Dari hasil permesinan dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling signifikan terhadap waktu pada proses permesinan dies turbin blade adalah yang pertama kedalaman potong kemudian diameter pahat dan kecepatan potong pada proses roughing, pocketing dan finishing. Sedangkan hal yang paling terbukti paling signifikan terhadap waktu pada proses yang dihadapi adalah kecepatan potong, kemudian disusul dengan diameter pahat dan kedalaman potong.

#### **5.2. Saran**

1. Untuk validasi waktu proses simulasi seharusnya dapat dilakukan pada pengerjaan di mesin CNC sesungguhnya, supaya dapat dilihat waktu riilnya.

### LAMPIRAN

ROW 1



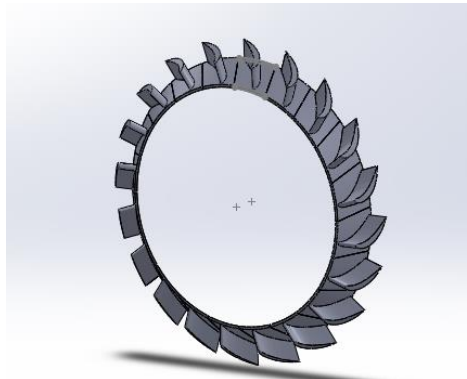
ROW 3



ROW 2



ROW 4



Beranda > Produk Lainnya > Face mill D 50mm pl...



#### Face mill D 50mm plus arbor r8

★★★★★ 1 Ulasan

100% Transaksi Sukses Dari 1 Transaksi

Bagikan

**Rp 1.200.000**

Waktu Proses: 30 Hari

Jumlah

Catatan untuk Penjual (Opsional)

1

Contoh: Warna Putih, Ukuran XL, Edisi ke-2

0/144 karakter

Cicilan bunga 0% mulai dari Rp 50.000 [Bandingkan Cicilan](#)

Dilihat 88

Ter kirim 1

Kondisi Baru

Min. Beli 1

Asuransi Opsional

Beranda > Produk Lainnya > carbide endmill end ...



### carbide endmill end mill 6mm 6 bukan nachi 4 flute hrc 65 na-coating

★★★★★ 2 Ulasan

100% Transaksi Sukses Dari 4 Transaksi

Bagikan

**Rp 240.000**

Jumlah

Catatan untuk Penjual (Opsional)

1

Contoh: Warna Putih, Ukuran XL, Edisi ke-2

0/144 karakter

Cicilan bunga 0% mulai dari Rp 10.000 [Bandingkan Cicilan](#)

Dilihat 95 Terkirim 4 Kondisi Baru Min. Beli 1 Asuransi Opsional



### endmill 4mm bor end mill 4 mm carbide hrc 70 4f superior dari nachi

★★★★★ 1 Ulasan

100% Transaksi Sukses Dari 3 Transaksi

Bagikan

**Rp 190.000**

Jumlah

Catatan untuk Penjual (Opsional)

1

Contoh: Warna Putih, Ukuran XL, Edisi ke-2

0/144 karakter

Cicilan bunga 0% mulai dari Rp 7.917 [Bandingkan Cicilan](#)

Dilihat 101 Terkirim 5 Kondisi Baru Min. Beli 1 Asuransi Opsional



Produk

Masuk Bergabung Gratis

Kategori | Slap Kirim Pameran Dagang Layanan Keanggotaan Bantuan

Beranda > Semua Industri > Mesin > Alat Alat Mesin Peralatan > Inti Mesin & Suku Cadang > Pusat Mesin (135064587) [Bertanggungan untuk Perdagangan Peringat](#)



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

FOB Referensi Harga: [Dapatkan Harga Terbaru](#)

**US\$39.000,00 - US\$48.000,00** / Set | 1 Set/set (Min. Order)

[Hubungi Supplier](#)

meninggalkan Pesan

Pembayaran: [VISA](#) [TT](#) [Online Bank Payment](#) [Pay Later](#) More

Pengiriman: Layanan Pengiriman Laut Alibaba.com dari Tiongkok ke AS [Dapatkan kuota pengiriman](#)

Lihat gambar lebih besar

## DAFTAR PUSTAKA

- Bagus Prsetyo, A. (2015). *Aplikasi Metode Taguchi Pada Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat Hss Pada Proses Bubut Material St 37*. Kediri: Universitas Nusantara Persatuan Guru Republik Indonesia
- Candra, Susila. (2009). *Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology*. Surabaya: Universitas Surabaya
- Daniel. (2009). *Optimasi Parameter Pemesinan Proses Cnc Frais Terhadap Hasil Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Wijanarka, B. (2013). *Cadcam untuk Mesin Bubut dan Frais Menggunakan MasterCam 9 dan X3*. Yogyakarta.
- Gaspersz, V. 1991. *Metode Perancangan Percobaan CV. ARMICO*. Bandung
- Hamdani, Ficky. (2014). *Optimasi Pemesinan Pada Mesin Bubut Tipe M-300 Horrison Dengan Metode Optimasi Algoritma Genetika*. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Harizzal Ikhlah. (2017). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System*. Pekanbaru: Universitas Riau
- 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
- Maglo18. 2015. *Custom Power Meter*. <https://forum.mysensors.org/topic/1464/sct-013-030-current-monitor-sensor/>
- Montgomery, D, C. 1991. *Design and Analysis of Experiments*, 3rd Edition. Jhon Wiley and Sons, Inc. Singapore.
- Nurhasan. 2011. *Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kualitas Geometrik Hasil Pembubutan Poros dengan Pendekatan Taguchi*. Skripsi S-1, tidak diterbitkan, F. Teknik Universitas Andalas. Padang.
- Oberg, Erik; Jones, Franklin D.; Horton, Holbrook L.; Ryffel, Henry H. 2004. *Machinery's Handbook (27th Edition) & Guide to Machinery's Handbook*. Industrial Press 978-0-8311-2711-4; 978-0-8311-2799-2 (Guide)



Roy, R K. 1990. A Primer on the Taguchi Method. Van Nostrand Reinhold. New York.

Roy, R K. 2001. Design of Experiments Using the Taguchi Approach. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York.

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

Steel, R.G.D and J.H. Torrie. 1989. Prinsip dan Prosedur Statistika. Edisi Ke-dua. PT.Gramedia. Jakarta.

Walpole, R E. 1995. Pengantar Statistika, Gramedia. Jakarta.

Y. Harsh, Valera, dan S. N. Bhavsar,” Experimental investigation of surface roughness and power consumption in turning operation of EN 31 alloy steel,” *Procedia Technology*, vol. 14, pp. 528-534, 2014.

## BIODATA PENULIS



**Dhymas Endrayana Waskitojati** merupakan nama yang diberikan Bapak Sri Waluyo dan Ibu Hartini kepada penulis. Dilahirkan di Sukoharjo pada 20 Maret 1995 sebagai anak nomer dua dari tiga bersaudara. Penulis dibesarkan di lingkungan Plumbon, Kecamatan Mojolaban, Kota Sukoharjo, Jawa Tengah. Penulis memulai studi di Sekolah Dasar Negeri Plumbon 1 selama enam tahun dan lulus pada tahun 2007. Melanjutkan jenjang berikutnya di SMP Negeri 3 Surakarta (2007-2010) dan SMA Negeri 1 Kota Surakarta mengambil jurusan IPA. Lulus SMA pada 2013 dan melanjutkan kembali jenjang perguruan tinggi Diploma 3 di Universitas Gadjah Mada mengambil jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sekolah Vokasi. Kemudian lulus dari diploma melanjutkan studi Strata 1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengambil jurusan

Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Dalam perkuliahan penulis mengabil penelitian untuk Tugas Akhir pada bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD). Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademis maupun non-akademis. Untuk kegiatan non-akademis penulis aktif diluar kampus sebagai peserta maupun panitia. Selain itu penulis juga aktif di kegiatan akademis dengan menjadi Grader atau Asisten Dosen untuk membimbing Praktikum mahasiswa Sistem Perkapalan. Penulis menjadi Grader untuk mata kuliah Ilmu bahan bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD) dalam praktikum Mesin bubut dan Sekrap periode Genap 2019/2020.