

SKRIPSI SARJANA TERAPAN
ANALISIS PERBANDINGAN STRATEGI *FINISHING*
***TOOLPATH* TERHADAP TINGKAT KEKASARAN**
PERMUKAAN DAN EFISIENSI WAKTU
PRODUKSI CNC *MILLING* PADA
PEMBUATAN CETAKAN
ALUMINIUM 6061



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Terapan
Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur

OLEH :
A'IZZA JUNDANA ABDULLAH NURSHIDQY
NIM: 1526422040

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR

2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

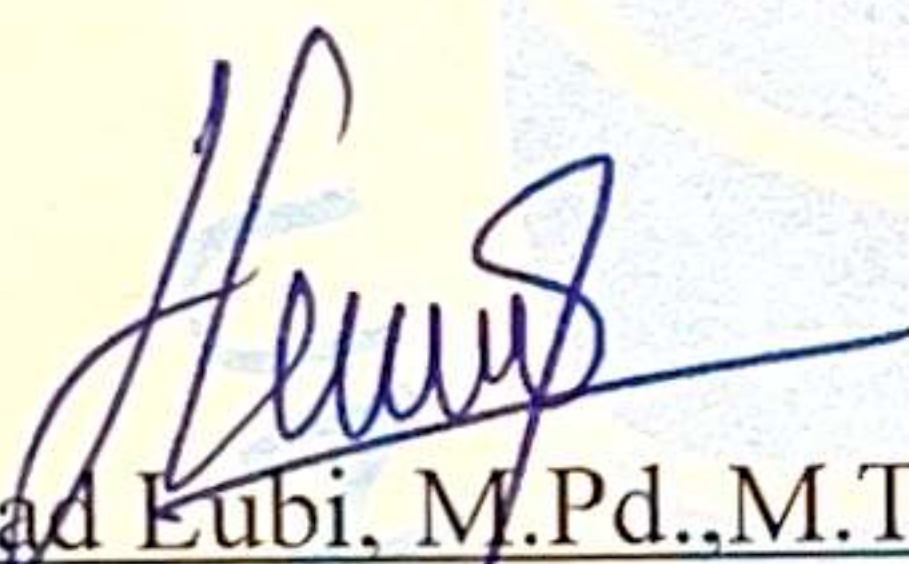
Nama Mahasiswa : A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy
NIM : 1526422040
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Fakultas Teknik.
Judul Penelitian : Analisis Perbandingan Strategi *Finishing Toolpath* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan dan Efisiensi Waktu Produksi CNC *Milling* pada Pembuatan Cetakan Aluminium 6061

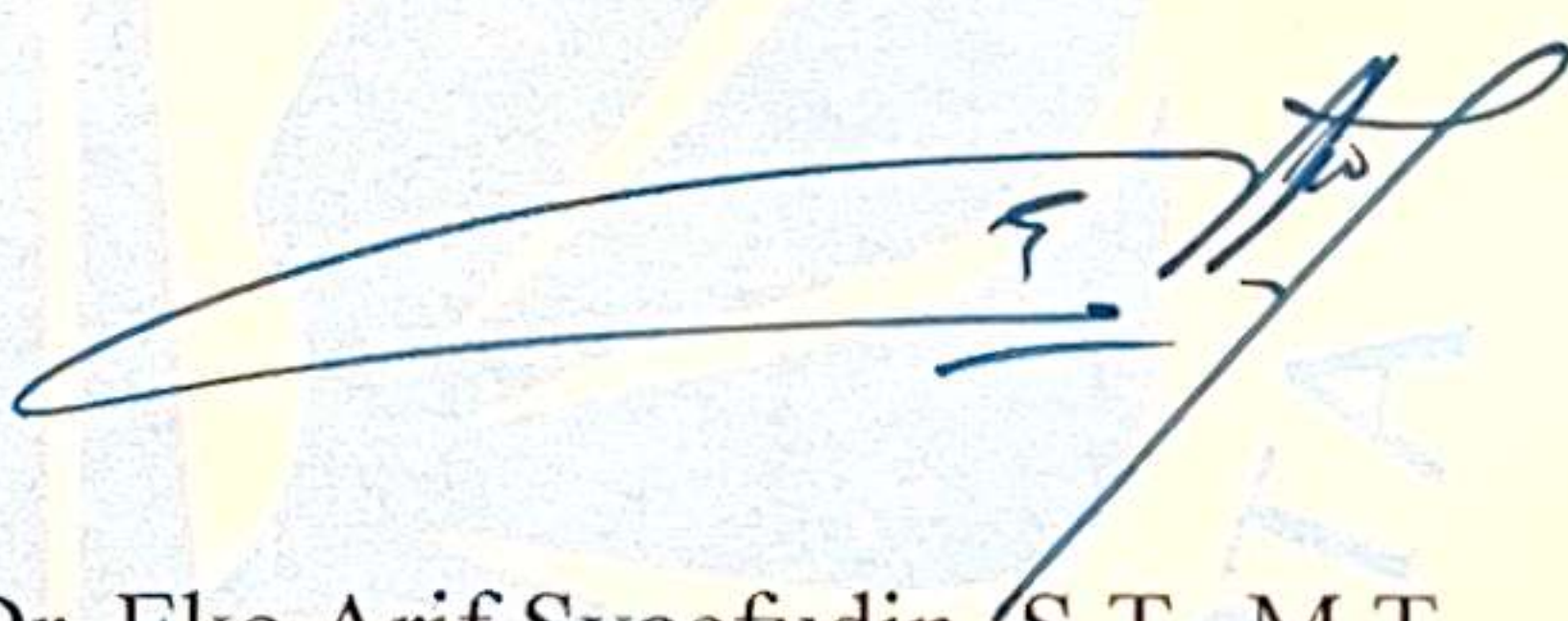
Ini telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diajukan dalam ujian tugas akhir.

Jakarta, 17 Juli 2026

Pembimbing 1

Pembimbing 2

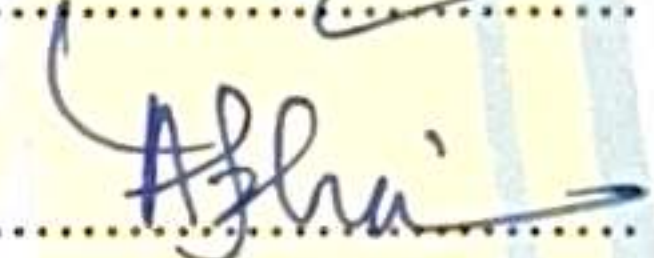
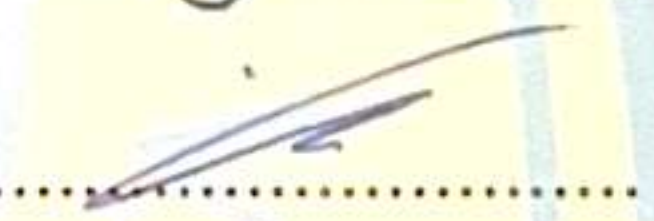

Ahmad Eubi, M.Pd., M.T.
NIDN. 0031018502


Dr. Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T.
NIDN. 0013108305

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy
NIM : 1526422040
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Fakultas Teknik.
Judul Penelitian : Analisis Perbandingan Strategi *Finishing Toolpath* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan dan Efisiensi Waktu Produksi CNC *Milling* pada Pembuatan Cetakan Aluminium 6061

Ini telah dipertahankan di hadapan dewan penguji dan dinyatakan (Lulus/ Tidak Lulus)* Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal.....

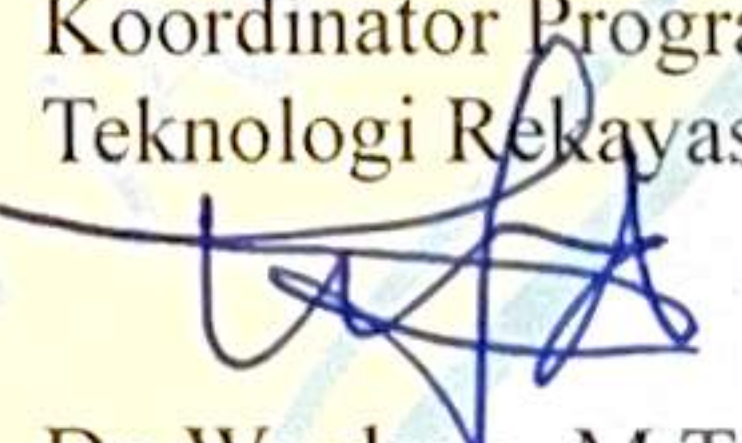
	Nama	Tanda Tangan
Dosen Pembimbing 1	<u>Ahmad Lubi, M.Pd., M.T.</u> NIDN. 0031018502	
Dosen Pembimbing 2	<u>Dr. Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T.</u> NIDN. 0013108305	
Ketua Penguji	<u>Dr. Sugeng Priyanto, M.Sc</u> NIDN. 0015096307	
Sekretaris Penguji	<u>Lukman Arhami, S.Pd., M.T</u> NIDN. 0003017903	
Dosen Ahli	<u>Dr. Ferry Budhi Susetyo, S.T., M.T</u> NIDN. 002008204	

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Manufaktur


Dr. Wardoyo, M.T
NIDN. 0018087904

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy

NIM : 1526422040

Program Studi/Fakultas : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa
Manufaktur/Teknik

Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Strategi *Finishing*
Toolpath Terhadap Tingkat Kekasaran
Permukaan dan Efisiensi Waktu Produksi CNC
Milling Pada Pembuatan Cetakan Aluminium
6061

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta,

Yang menyatakan,



A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy

NIM. 1526422040



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy

NIM : 1526422040

Fakultas/Prodi : Teknologi Rekayasa Manufaktur

Alamat email : anurshidqy@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (... ..)

yang berjudul :

“Analisis Perbandingan Strategi Finishing Toolpath Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Dan Efisiensi Waktu Produksi CNC Milling Pada Pembuatan Cetakan Aluminium 6061”

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 10 Agustus 2026

Penulis

(A'izza Jundana Abdullah N)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran dan kasih sayang Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul Analisis Perbandingan Strategi *Finishing Toolpath* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Dan Efisiensi Waktu Produksi CNC *Milling* Pada Pembuatan Cetakan Aluminium 6061. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca guna memperbaiki dan menyempurnakan ilmu serta kualitas laporan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

1. Bapak Ahmad Lubi, M.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing I (satu) yang selalu memberikan arahan, bimbingan serta dukungan selama pembuatan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II (dua).
3. Bapak Danar Hari Krisyono, S.Pd., yang selalu memberikan keperluan dan pengalaman kepada penulis dalam penelitian ini.
4. Bapak Dr. Wardoyo, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Universitas Negeri Jakarta
5. Orangtua penulis yang tercinta, Bapak Aris Mei Nurrofiq dan Ibu Dessy Noor Achetty, yang senantiasa tulus memberikan motivasi, do'a, kasih sayang, keikhlasan dan kesabaran serta pengorbanan dan perhatian yang tak henti-hentinya mengalir untuk penulis juga memberikan dukungan penulis baik materil dan moril dalam memfasilitasi segala kebutuhan perkuliahan sehingga penulis termotivasi untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya
6. Kepada tim *injection molding*, Arrahman Arya dan Waldrian Joseph, yang telah kebersamai suka, duka, canda, dan tawa. Terima kasih sudah berjuang bersama dalam proses penelitian ini
7. Seluruh teman-teman Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Universitas Negeri Jakarta, terutama angkatan 2022, yang telah memberikan segala macam bentuk dukungan.

8. Seluruh Dosen, Staff, dan Karyawan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Universitas Negeri Jakarta.
9. Saudara kandung penulis, dadiid, apik, kaka, dan dedek terima kasih atas doa dan support kepada penulis

Jakarta, Agustus 2026

A'izza Jundana Abdullah Nurshidqy

NIM. 1526422040



ABSTRAK

Tahap *finishing* pada proses *Computer Numerical Control* (CNC) *milling* merupakan faktor penting yang menentukan kualitas permukaan akhir dan efisiensi waktu produksi, khususnya pada pembuatan cetakan dengan geometri kompleks. Pemilihan strategi *finishing toolpath* yang kurang tepat dapat menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan dan waktu pemesinan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh strategi *finishing toolpath* 3D *scallop* dan *morphed spiral* terhadap kekasaran permukaan dan waktu pemesinan pada material aluminium 6061.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Material yang digunakan berupa aluminium 6061 berukuran $100\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ dengan geometri permukaan datar, miring, cekung, dan cembung. Proses pemesinan dilakukan menggunakan mesin CNC *milling* VMC 500–5A dengan parameter pemotongan yang dijaga konstan, yaitu pahat *ballnose endmill* berdiameter 1 mm, kecepatan putar *spindle* 6.000 rpm, *feed rate* 140 mm/menit, *feed per tooth* 0,012 mm/gigi, *stepover* 0,1 mm, dan sistem pendinginan *flood coolant*. Masing-masing strategi *toolpath* diterapkan pada tiga spesimen. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M* dan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Gwyddion*, sedangkan waktu pemesinan diperoleh dari simulasi *Autodesk Fusion 360* dan data aktual mesin CNC.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi 3D Scallop menghasilkan nilai kekasaran permukaan rata-rata yang lebih rendah, yaitu sebesar $0,469\text{ }\mu\text{m}$, dibandingkan dengan strategi *Morphed Spiral* sebesar $0,588\text{ }\mu\text{m}$. Dari sisi efisiensi waktu, strategi *Morphed Spiral* menunjukkan performa yang lebih baik dengan waktu pemesinan rata-rata 66 menit 4 detik, sedangkan strategi 3D *Scallop* membutuhkan waktu rata-rata 72 menit 41 detik. Dengan demikian, strategi 3D *Scallop* lebih unggul dalam menghasilkan kualitas permukaan, sedangkan strategi *Morphed Spiral* lebih efisien dari segi waktu pemesinan.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi berbasis data dalam pemilihan strategi *finishing toolpath* yang disesuaikan dengan target nilai kekasaran

permukaan (R_a) dan waktu siklus pemesinan pada proses CNC *milling* cetakan aluminium 6061.

Kata kunci: Aluminium 6061, CNC milling, *finishing toolpath*, 3D *Scallop*, *Morphed Spiral*, Kekasaran Permukaan, Waktu Pemesinan.



ABSTRACT

The finishing stage in the Computer Numerical Control (CNC) milling process is a critical factor that determines the quality of the final surface and production time efficiency, particularly in the manufacture of molds with complex geometries. Selecting an inappropriate finishing toolpath strategy can lead to increased surface roughness and machining time. This study aims to analyze and compare the effects of the 3D Scallop and Morphed Spiral finishing toolpath strategies on surface roughness and machining time in 6061 aluminum.

This study employed an experimental method with a descriptive quantitative approach. The material used was 6061 aluminum measuring 100 mm × 50 mm × 15 mm with flat, inclined, concave, and convex surface geometries. The machining process was performed using a VMC 500–5A CNC milling machine with constant cutting parameters: a 1-mm-diameter ball-nose end mill, a spindle speed of 6,000 rpm, a feed rate of 140 mm/minute, feed per tooth of 0.012 mm, a stepover of 0.1 mm, and a flood coolant system. Each toolpath strategy was applied to three specimens. Surface roughness measurements were taken using an Olympus BX51M optical microscope and analyzed using Gwyddion software, while machining times were obtained from Autodesk Fusion 360 simulations and actual CNC machine data.

The results of the study show that the 3D Scallop strategy produced a lower average surface roughness value—0.469 μm —compared to the Morphed Spiral strategy, which yielded 0.588 μm . In terms of time efficiency, the Morphed Spiral strategy performed better with an average machining time of 66 minutes and 4 seconds, while the 3D Scallop strategy required an average of 72 minutes and 41 seconds. Thus, the 3D Scallop strategy is superior in producing surface quality, whereas the Morphed Spiral strategy is more efficient in terms of machining time. The results of this study can serve as a reference for selecting a finishing toolpath strategy based on surface quality requirements and production efficiency in the machining of 6061 aluminum.

Keywords: 6061 aluminum, CNC milling, finishing toolpath, 3D Scallop, Morphed Spiral, surface roughness, machining time.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Fokus Penelitian	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Proses CNC <i>milling</i>	6
2.1.2 Parameter pemotongan dalam CNC <i>milling</i>	6
2.1.3 Kekasaran Permukaan Secara Pengujian Optik Dan Digital	10
2.1.4 Rekomendasi <i>Cutting Speed</i>	11
2.1.5 Material Aluminium 6061 pada Pembuatan Cetakan	12
2.1.6 <i>Computer Aided Manufacturing</i> (CAM) dan Estimasi Waktu.....	13
2.1.7 Karakteristik Strategi <i>Finishing Toolpath</i>	14
2.1.8 Efisiensi Waktu Produksi dalam Proses CNC <i>Milling</i>	15
2.2 Kerangka Pemikiran.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	18
3.2 Bahan dan Materi Penelitian	18

3.3 Metode Penelitian	18
3.4 Rancangan Penelitian	19
3.5 Diagram Alir	21
3.5.1 Studi Literatur	22
3.5.2 Perancangan Model Cetakan	22
3.5.3 Pembuatan Strategi Toolpath CAM	22
3.5.4 Persiapan Alat dan Bahan	28
3.5.5 Proses Machining	28
3.5.6 Teknik Pengambilan Data	31
3.5.7 Analisis Data	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Proses Pemesinan	34
4.1.1 Kondisi Pelaksanaan Pemesinan	34
4.1.2 Dokumentasi hasil pemesinan	34
4.2 Hasil Mikroskop Optik	35
4.2.1 Hasil Mikroskop Morphed Spiral	35
4.2.2 Hasil Mikroskop 3D Scallop	36
4.3 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan (Ra)	38
4.3.1 Kekasaran Permukaan <i>Morphed Spiral</i>	38
4.3.2 Kekasaran Permukaan 3D Scallop	39
4.3.3 Perbandingan Nilai (Ra) Strategi 3D <i>Scallop</i> dan <i>Morphed Spiral</i>	40
4.4 Hasil waktu pemesinan CAM dan Aktual	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rekomendasi Cutting speed	11
Gambar 3.1 Diagram Alir	21
Gambar 3.2 Geometri Model Cetakan	22
Gambar 3.3 Modul Manufacture	23
Gambar 3.4 Setup CAM	23
Gambar 3.5 Operasi Roughing	23
Gambar 3.6 Operasi Semi Finishing.....	24
Gambar 3.7 Operasi Finishing.....	24
Gambar 3.8 (a) Tab Tool dan (b) Tab Geometry.....	25
Gambar 3.9 (a) Tab Height, (b) Tab Passes	25
Gambar 3.10 Tab Linking.....	26
Gambar 3.11 Simulasi Finishing Toolpath	26
Gambar 3.12 Post Process	27
Gambar 3.13 File G-code: (a) Morphed Spiral, (b) 3D Scallop	27
Gambar 3.14 Langkah langkah persiapan dan proses machining	30
Gambar 3.15 Posisi Titik Pengambilan	32
Gambar 4.1 Pelaksanaan Proses Pemesinan.....	34
Gambar 4.2 Hasil proses Pemesinan	34
Gambar 4.3 Titik 1 Morphed Spiral: (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3.....	35
Gambar 4.4 Titik Kedua Morphed Spiral (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3.....	35
Gambar 4.5 Titik Ketiga Morphed Spiral: (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3	36
Gambar 4.6 Titik 1 3D Scallop: (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3	36
Gambar 4.7 Titik 2 3D Scallop: (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3	37
Gambar 4.8 Titik 3 3D Scallop: (a) spesimen 1, (b) spesimen 2, (c) spesimen 3	37
Gambar 4.9 Diagram Batang Nilai Ra.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Aluminium 6061	13
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium 6061	13
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	19
Tabel 3.2 Parameter Pemotongan Finishing	20
Tabel 3.3 Alat yang digunakan	28
Tabel 3.4 Bahan yang digunakan.....	28
Tabel 4.1 Data Kekasaran Morphed Spiral.....	38
Tabel 4.2 Data Kekasaran 3D Scallop	39
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Ra	40
Tabel 4.4 Perbandingan Waktu	42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Kekasaran Morphed Spiral.....	51
Lampiran 2 Data Kekasaran 3D Scallop	53
Lampiran 3 Waktu Simulasi Morphed Spiral dan 3D Scallop	55
Lampiran 4 Data Aktual Pemesinan 3D Scallop	56
Lampiran 5 Data Waktu Aktual Morphed Spiral.....	57
Lampiran 6 Pengukuran Mikroskop Optik.....	58
Lampiran 7 Gambar kerja Cetakan	59
Lampiran 8 Dokumentasi	60

