

**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI MULTI-OBJEKTIF  
PROSES *MULTI-PASS TURNING* PADA MESIN CNC UNTUK  
MENDUKUNG *SUSTAINABLE MANUFACTURING***

**Skripsi**



**PHENGKY PANGESTU  
I0316070**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2020**

**LEMBAR PENGESAHAN****PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI MULTI-OBJEKTIF  
PROSES *MULTI-PASS TURNING* PADA MESIN CNC UNTUK  
MENDUKUNG *SUSTAINABLE MANUFACTURING*****SKRIPSI**

oleh :

**Phengky Pangestu****10316070**

Telah disidangkan di Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dan diterima guna memenuhi persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Teknik.

Pada Hari **Senin**Tanggal **27 Juli 2020**

Tim Penguji :

1. Prof. Dr. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T. (.....) )  
NIP. 19711104 199903 1 001
2. Dr. Eko Pujiyanto, S.Si., M.T. (.....) )  
NIP. 19700612 199702 1 001
3. Dr. Eko Liquiddanu, S.T., M.T. (.....) )  
NIP. 19710128 199802 1 001
4. I Wayan Suletra, S.T., M.T. (.....) )  
NIP. 19750308 200012 1 001

**Mengesahkan, 05 AUG 2020****Kepala Program Studi Sarjana Teknik Industri  
Fakultas Teknik UNS****Dr. Eko Liquiddanu, S.T., M.T.**  
NIP. 19710128 199802 1 001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengembangan Model Optimasi Multi-objektif Proses *Multi-pass Turning* pada Mesin CNC untuk Mendukung *Sustainable Manufacturing*”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan skripsi ini, yaitu:

1. Tuhan yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Tony dan Ibu Bong Njuk Moi yang selalu memberikan kasih sayang serta dukungan moral dan material sehingga penulisan dapat menyelesaikan penelitian ini. Tidak lupa, adik-adik tersayang, Penny Pangestu dan Prettysia Pangestu yang selalu memberikan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Cucuk Nur Rosyidi, S.T., M.T selaku Pembimbing I atas segala bimbingan, arahan, dan waktu dalam penyelesaian laporan skripsi.
4. Bapak Dr. Eko Pujiyanto, S.Si., M.T. selaku Pembimbing II atas segala bimbingan, arahan, dan waktu dalam penyelesaian skripsi serta bersedia merekomendasikan penulis untuk melanjutkan studi S2 di Taiwan.
5. Bapak Dr. Eko Liquiddanu, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Sarjana Teknik Industri Universitas Sebelas Maret, Pembimbing Akademik, dan Penguji I yang telah memberikan motivasi dan dukungan.
6. Bapak I Wayan Suletra, S.T., M.T. selaku Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran positif terhadap penelitian ini.
7. Bapak Prof. Dr. Wahyudi Sutopo, S.T., M.Si. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret yang bersedia merekomendasikan penulis untuk melanjutkan studi S2 di Taiwan.
8. Ibu Fakhрина Fahma, S.T.P, M.T. selaku Kepala Laboratorium Sistem Kualitas yang telah memberikan motivasi kepada penulis.

9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Industri Universitas Sebelas Maret atas semua ilmu dan motivasi selama penulis mengikuti proses perkuliahan.
10. Seluruh staf dan karyawan Program Studi Teknik Industri dan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret atas segala bantuan administrasi dan urusan lainnya.
11. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2016 (PIERO), atas waktu dan kebersamaan yang kita lalui bersama, semoga kita bisa dipertemukan lagi dengan kondisi lebih baik.
12. Teman-teman asisten Laboratorium Sistem Kualitas (LSK) 2016: Bening, Zizi, Rizca, Ade, dan Ekty atas dukungannya. Tidak lupa, asisten LSK 2015 dan 2017 yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
13. Sahabat-sahabat LOBERUS: Meidi, Hana, Ilham, Findya, Martha, Oksi, Diah, dan Nur, terima kasih atas motivasi dan canda tawa sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Semoga kelak kita dapat berkumpul kembali dengan kesuksesan masing-masing.
14. Sahabat-sahabat CUMBRI: Bram, William, Afan, Dicky, Luthfi, dan Mas Fattah, terima kasih atas motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Semoga kelak kita dapat berkumpul kembali.
15. Teman-teman pengisi waktu luang: Radite, Udin, dan Daffa, terima kasih atas waktu, canda tawa, dan dukungannya yang membuat masa perkuliahan ini lebih berkesan. Semoga kebaikan kalian dapat kubalas lebih.
16. Kakak tingkat Teknik Industri angkatan 2015, Mas Leon dan Mas Habib yang sudah memotivasi penulis agar segera menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih juga atas kesempatannya untuk berkolaborasi dengan kalian.
17. Keluarga KKN UNS Sabah (Malaysia) periode Januari – Februari 2020, atas dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis. Sukses untuk kalian semua keluargaku.
18. Mbak Dhimas, Mbak Nana dan Mas Imam (UPKKN UNS) yang telah membantu proses administrasi sidang.
19. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, atas bantuan, doa, semangat, dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 27 Juli 2020

Penulis





## ABSTRAK

**Phengky Pangestu, I0316070. PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI MULTI-OBJEKTIF PROSES MULTI-PASS TURNING PADA MESIN CNC UNTUK Mendukung Sustainable Manufacturing. Skripsi. Surakarta: Program Studi Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Juli 2020.**

Akhir-akhir ini, *sustainable manufacturing* telah berkembang secara luas akibat masalah lingkungan yang terjadi. Dalam proses manufaktur, *Computer Numerical Control (CNC) turning* menjadi salah satu mesin yang paling penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model proses *multi-pass turning* untuk mencari parameter proses pemesinan yang optimal. Parameter proses pemesinan yang digunakan dalam model ini meliputi kecepatan rotasi *spindle*, kecepatan pemakanan, kedalaman pemakanan, dan jumlah *roughing pass*. Model optimasi ini mempertimbangkan berbagai kriteria pada metrik utama *sustainable manufacturing*, yaitu konsumsi energi, emisi karbon, waktu pemesinan, dan biaya produksi. Proses pencarian solusi optimal menggunakan OptQuest pada perangkat lunak Crystal Ball. Contoh numerik diberikan untuk menunjukkan penerapan model yang dikembangkan termasuk analisis sensitivitas untuk setiap parameter proses pemesinan. Model ini dapat digunakan oleh industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi proses manufaktur dan menghasilkan produk yang mendukung *sustainable manufacturing*.

**Kata Kunci :** *multi-pass turning, computer numerical control, optimasi multi-objektif, sustainable manufacturing.*

xvi + 101 halaman; 26 gambar; 15 tabel

Daftar Pustaka: 56 (1978-2020)

## ABSTRACT

**Phengky Pangestu, I0316070. MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODELING OF MULTI-PASS TURNING OPERATION IN CNC MACHINES FOR SUSTAINABLE MANUFACTURING. Thesis. Surakarta: Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, July 2020.**

*Sustainable manufacturing has grown widely due to recent environmental issues. In manufacturing processes, Computer Numerical Control (CNC) turning is one of the most important machines. This paper aims to develop a multi-objective multi-pass turning operation model to find the optimal cutting parameters. The cutting parameter used in this model consists of spindle rotation speed, feed rate, depth of cut and number of roughing passes. The optimization considers several criteria in the key metrics of sustainable manufacturing, i.e. energy consumption, carbon emission, production time and production cost. The process of finding an optimal solution using Optquest of Crystal Ball software. Numerical example is given to show the application of the developed model including sensitivity analysis for each cutting parameter. The model can be used by manufacturing industries to improve their manufacturing process efficiency and produce products that support sustainable manufacturing.*

**Keyword :** multi-pass turning, computer numerical control, multi-objective optimization, sustainable manufacturing.

*xvi + 101 pages; 26 figures; 15 tables*

*Reference: 56 (1978-2020)*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b>	.....	vi
<b>ABSTRACT</b>	.....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b>	.....	viii
<b>DAFTAR ISI</b>	.....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	.....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	.....	xv
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>		
1.1	Latar Belakang .....	I-1
1.2	Rumusan Masalah .....	I-6
1.3	Tujuan Penelitian .....	I-6
1.4	Manfaat Penelitian .....	I-7
1.5	Batasan Masalah .....	I-7
1.6	Asumsi Penelitian .....	I-7
1.7	Sistematika Penulisan .....	I-7
<b>BAB II      LANDASAN TEORI</b>		
2.1	<i>Sustainable Manufacturing</i> .....	II-1
2.2	Proses Pemesinan <i>Turning</i> .....	II-4
2.3	Optimasi Multi-objektif .....	II-11
2.3.1	Fungsi Transformasi .....	II-12
2.3.2	Metode <i>Weighted Sum</i> .....	II-13
2.3.3	Optimalitas Pareto .....	II-13
2.4	<i>Influence Diagram</i> .....	II-14
2.5	Model Acuan Penelitian.....	II-15
2.5.1	Optimasi Parameter Multi-objektif Pemesinan CNC untuk Manufaktur Rendah Karbon (Yi, dkk., 2015) .....	II-15
2.5.2	Efisiensi Energi Operasi <i>Multi-pass Turning</i> menggunakan <i>Multi-objective Backtracking Search</i> <i>Algorithm</i> (Lu, dkk., 2016) .....	II-21



2.5.3	Optimasi Parameter Pemotongan untuk Meningkatkan Efisiensi Energi dalam Proses Pemesinan (Hu, dkk., 2019) .....	II-28
2.5.4	Optimasi Parameter Pemotongan dengan Mempertimbangkan Kondisi Penggunaan Alat Potong dalam Lingkungan Manufaktur Rendah Karbon (Tian, dkk., 2019) .....	II-33
2.6	Posisi Penelitian .....	II-39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Tahap Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	III-1
3.1.1	Studi Pustaka .....	III-2
3.1.2	Perumusan Masalah .....	III-2
3.1.3	Penetapan Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	III-2
3.1.4	Penentuan Batasan Masalah dan Asumsi .....	III-3
3.2	Tahap Pengembangan Model .....	III-4
3.2.1	Deskripsi Sistem .....	III-4
3.2.2	Komponen Model .....	III-4
3.2.3	Formulasi Model .....	III-4
3.2.4	Validasi .....	III-5
3.2.5	Contoh Numerik .....	III-5
3.3	Tahap Analisis Model, Kesimpulan, dan Saran .....	III-6
3.3.1	Analisis Sensitivitas .....	III-6
3.3.2	Kesimpulan dan Saran .....	III-6
<b>BAB IV PENGEMBANGAN MODEL</b>		
4.1	Deskripsi Sistem .....	IV-1
4.2	Komponen Model .....	IV-3
4.3	Formulasi Model .....	IV-8
4.3.1	Fungsi Tujuan .....	IV-8
4.3.2	Fungsi Kendala .....	IV-20
4.4	Validasi Model .....	IV-24
4.5	Contoh Numerik .....	IV-31
4.5.1	Parameter Model .....	IV-31

	4.5.2 Pencarian Solusi Optimal .....	IV-35
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS SENSITIVITAS</b>	
	5.1 Skenario Perubahan Parameter Proses Pemesinan CNC <i>Turning</i> .....	V-1
	5.2 Pengaruh Perubahan Kecepatan Rotasi <i>Spindle</i> dan Kecepatan Pemakanan .....	V-2
	5.3 Pengaruh Perubahan Kedalaman Pemakanan .....	V-4
	5.4 Perbandingan Perubahan Parameter Proses Pemesinan CNC <i>Turning</i> Terhadap Fungsi Tujuan .....	V-6
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
	6.1 Kesimpulan .....	VI-1
	6.2 Saran .....	VI-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

