

DISERTASI

**PEMODELAN KEKASARAN PERMUKAAN BENDA
KERJA DAN TEMPERATUR PADA PEMBUBUTAN
PANAS AISI 4340 DENGAN METODE RESPON
PERMUKAAN DAN JARINGAN SARAF TIRUAN**



ISMAIL THAMRIN

NIM. 03043621520003

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

DISERTASI
PEMODELAN KEKASARAN PERMUKAAN BENDA
KERJA DAN TEMPERATUR PADA PEMBUBUTAN
PANAS AISI 4340 DENGAN METODE RESPON
PERMUKAAN DAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Doktor pada
Program Doktor Ilmu Teknik

ISMAIL THAMRIN

NIM. 03043621520003



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020

HALAMAN PENGESAHAN

PEMODELAN KEKASARAN PERMUKAAN DAN TEMPERATUR PADA *HOT TURNING* AISI 4340 DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* DAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*

DISERTASI

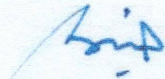
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Doktor
pada Program Doktor ilmu Teknik

oleh

ISMAIL THAMRIN
03043621520003

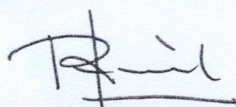
Palembang Desember 2020

Promotor



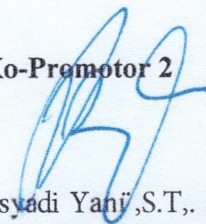
Dip!. Ing. Ir. Afnrifan Saladin Mohruni, Ph.D.
NIP 196409111999031002

Ko-Promotor 1



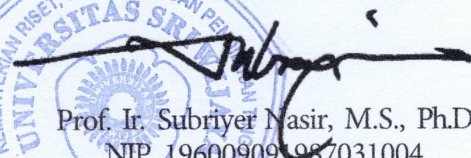
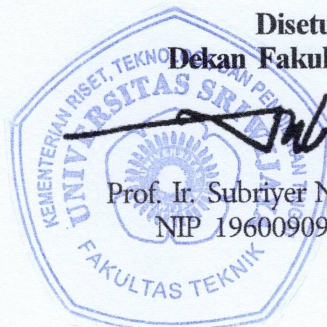
Prof. Dr. Rimlan Sipahutar, M.Sc.
NIP 195606041986021001

Ko-Promotor 2



Irsyadi Yanji, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP 197112251997021001

Disetujui,
Dekan Fakultas Teknik


Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.
NIP 196009091987031004

HALAMAN PERSETUJUAN

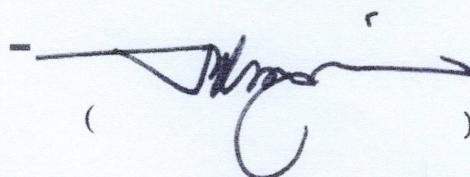
Karya tulis ilmiah berupa Disertasi ini dengan judul "Pemodelan Kekasaran Permukaan dan Temperatur Pada *Hot Turning* AISI 4340 dengan *Response Surface Methodology* dan *Artificial Neural Network*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 Juni 2020.

Palembang, Agustus 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi

Ketua:

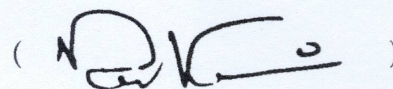
1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.
NIP 196009091987031004



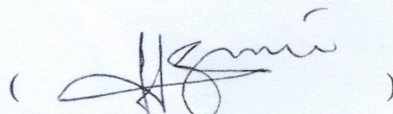
()

Anggota:

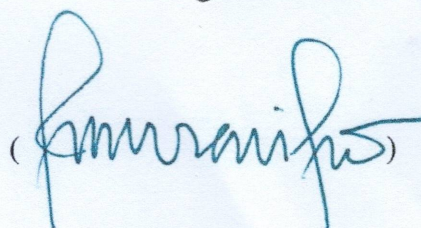
2. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP 195903211987031001
3. Gusry Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197108171998021003
4. Amir Arifin, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197909272003121004



()

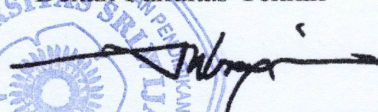


()




()

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

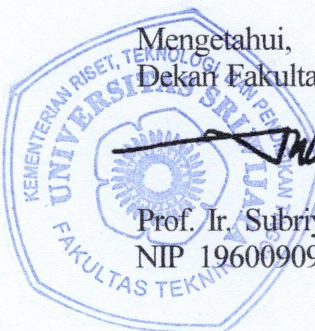


Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.
NIP 196009091987031004

Ketua Program Studi Doktor Ilmu Teknik,



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP 195903211987031001



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yg bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ismail Thamrin

NIM : 03043621520003

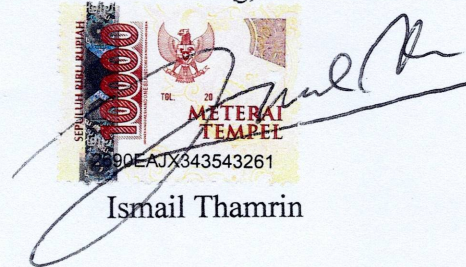
Judul : Pemodelan Kekasaran Permukaan Benda Kerja dan Temperatur Pada
Pembubutan Panas AISI 4340 Dengan Metode Respon Permukaan
Dan Jaringan Saraf Tiruan

Menyatakan bahwa Laporan Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing/Promotor dan Ko Promotor* dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Laporan Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 22 November 2021


Ismail Thamrin

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT. Karena berkat rahmat dan rahim-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Sholawat serta salam semoga tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat dan pengikutnya sampai akhir zaman.

Disertasi ini mengkaji mengenai pemodelan matematika pada proses *hot turning* AISI 4340 dengan menggunakan RSM dan ANN. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model matematika dari kinerja pemesinan AISI 4340 pada *dependent variable* (kekasaran permukaan R_a dan temperatur mata pahat). Prediksi dan optimisasi pemodelan ditentukan dengan menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Metode CCD (*Central Composite Design*) digunakan untuk menentukan variasi nilai *independent variable* (kecepatan potong V_c , laju pemakanan f_z , kedalaman potong a dan temperatur benda kerja, T_w). Pemesinan menggunakan pahat cementsed karbida.

Gerak makan sangat mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja. Gerak makan dan kedalaman potong yang rendah menyebabkan kekasaran permukaan yang rendah, namun kecepatan potong yang tinggi juga bisa mengakibatkan kekasaran permukaan yang rendah.

Semoga disertasi ini dapat memberikan tambahan ilmu pengetahuan pada bidang Teknik, khususnya bidang Teknik Mesin.

Wassalamualaikum Wr Wb.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas rahmat dan rahim-Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi ini dengan judul “Surface Roughness and Temperature Modelling on Hot Turning of AISI 4340 Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks”. Disertasi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk dapat memperoleh gelar Doktor Ilmu Teknik di Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang.

Penulis menyadari selama proses penyelesaian disertasi ini, tak hentinya penulis mendapatkan doa, bantuan, bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis terutama tim promotor Dipl. Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohrni Ph.D selaku Promotor, Prof. Dr. Riman Sipahutar, M.Sc., dan Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Co Promotor yang telah memberikan bimbingan, dorongan, waktu, pikiran dan membangkitkan motivasi penulis untuk segera merampungkan disertasi ini, serta membagi pengetahuan dan memperluas wawasan penulis sehingga dapat menyelesaikan disertasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghormatan penulis sampaikan kepada tim penguji, yaitu Gusri Akhyar Ibrahim ST, MT, Ph.D., selaku dosen penguji tamu dari Universitas Lampung, Amir Arifin, S.T., M.T., Ph.D, Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Nukman, yang sudah banyak memberikan dukungan dan ilmu yang sangat berharga bagi penulis demi kebaikan penulisan disertasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada Rektor Universitas Sriwijaya, Prof. Dr. Ir. Anis Saggaf, MSCE., Wakil Rektor I, Prof. Dr. Ir. Zainuddin Nawawi, Dekan Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D., dan Prof. Dr. Ir. Nukman sebagai Koordinator Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan izin dan bantuan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan di Program Doktor Ilmu Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kepala Balai Latihan Kerja (BLK) Provinsi Sumatera Selatan yang telah memberikan izin untuk melakukan eksperimen di Divisi Bubut, dan pak Omang selaku penanggung jawab divisi bubut, yang telah banyak membantu.

Pada kesempatan ini juga secara tulus ikhlas, penulis memanjatkan doa kepada Ayahanda Alm. H. Lipurnaim dan Ibunda Almh Hj. Siti Darwati, serta kedua mertua, Ayahanda Alm H. Azhar Adeham, dan Ibunda Almh. Hj. Latifah Hanim yang semasa hidupnya selalu memberikan nasehat kepada penulis untuk tidak mudah menyerah, terus berjuang dan berdoa. Semoga Almarhum dan Almarhumah diberi ampunan atas segala dosanya dan ditempatkan di sisi-Allah SWT, Aamiin Ya Rabbal Alamin. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Isteri tercinta Dr. Neneng Miskiyah, S.E., M.Si. yang selalu mencurahkan kasih sayang, dorongan, kesabaran, waktu dan doa, yang menjadikan energi dan inspirasi bagi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada saudara-saudaraku tercinta yang telah memberikan dorongan dan doa.

Rasa terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ir. Firmansyah Burlian, MT, Dr. M. Yanis, Arie Budiman, MT, Ardila Dharmalasari, Fati Almahdini, Ahmad Kardi, Samuel Sidebang, Guntur, Sahilul dan Irwanto yang telah banyak membantu penulis.

Untuk penyempurnaan disertasi ini, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan, dari berbagai pihak.

Palembang, 30 Juni 2020

Ismail Thamrin

RINGKASAN

PEMODELAN KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA DAN TEMPERATUR PADA PEMBUBUTAN PANAS AISI 4340 DENGAN METODE RESPON PERMUKAAN DAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi, Juni 2020

Ismail Thamrin; Promotor Amrifan Saladin Mohruni
Ko-Promotor Riman Sipahutar dan Irsyadi Yani

Surface Roughness and Temperature Modelling on Hot Turning of AISI 4340 Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network

XVI + 187 Halaman, 28 Tabel, 63 Gambar, 2 Lampiran

Proses bubut AISI 4340 sangat penting dalam industri penerbangan. Material AISI 4340 banyak digunakan sebagai komponen pesawat terbang. Material ini biasanya digunakan untuk menahan beban dampak dan kekuatan yang tinggi. Paduan ini termasuk ke dalam kelompok baja dengan kekuatan yang sangat tinggi (*ultrahigh strength steel*). Baja jenis ini mempunyai ketangguhan dan kekuatan yang tinggi, memiliki banyak keunggulan. Kemampuan pemesinan yang terukur dan presisi merupakan tantangan. Studi ini menjadi penting karena struktur yang rumit dari AISI 4340 dan pengaruh parameter pemesinan dan temperatur gesekan menyebabkan sulitnya mendapatkan *surface quality* yang diinginkan.

Kebutuhan akan *surface quality* yang baik, akan lebih bijak jika menerapkan proses pemesinan yang ramah lingkungan (*green machining*). Pada proses pemesinan bubut ini menggunakan metode *hot turning* pada benda kerja. Metode ini dipilih karena mudah dalam pengoperasiannya dan tidak menggunakan cairan pendingin, sehingga ramah terhadap lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja pemesinan AISI 4340 pada *dependent variable* (kekasaran permukaan R_a dan temperatur mata pahat). Prediksi dan optimisasi pemodelan ditentukan dengan menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Metode CCD (*Central Composite Design*) digunakan untuk menentukan variasi nilai *independent variable* (kecepatan potong V_c , laju pemakanan f_z , kedalaman potong a dan temperatur benda kerja, T_w) dengan jumlah 30 data pengujian. Pemesinan menggunakan pahat cemented karbida.

Hasil persamaan matematika terbaik berdasarkan RSM untuk prediksi kekasaran permukaan menggunakan pahat coated adalah model kuadratik. Prediksi akurasi terbaik secara ANN menggunakan *Back Propagation* adalah algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) Struktur jaringan untuk mendapatkan nilai MSE terendah untuk kekasaran permukaan adalah 4-16-1.

Kekasaran permukaan paling besar dipengaruhi oleh laju makan sebesar 22% diikuti oleh kedalaman potong sebesar 5%. Kecepatan potong dan temperatur benda kerja sebesar 3%. Oleh karena itu, mengurangi laju pemakanan dapat menghasilkan kekasaran permukaan benda kerja yang jauh lebih baik.

Kekasaran permukaan paling dipengaruhi oleh faktor gerak makan. Gerak makan dan kedalaman potong yang rendah menyebabkan kekasaran permukaan yang rendah, namun kecepatan potong yang tinggi juga dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang rendah. Gaya potong paling dipengaruhi oleh kedalaman potong. Pengurangan kedalaman potong dan gerak makan menyebabkan berkurangnya gaya potong, sedangkan pengaruh kecepatan potong sangat kecil.

Gerak makan berbanding terbalik terhadap *fluks kalor*, semakin besar gerak makan maka semakin kecil nilai *fluks kalor*. Jadi nilai optimum yang dihasilkan pada penelitian ini adalah nilai *fluks kalor* terendah untuk setiap kecepatan potong dan kedalaman potong konstan, ada pada gerak makan 0.14mm/put. Kecepatan potong juga berbanding terbalik terhadap *fluks kalor*, maka nilai optimum pada penelitian ini untuk tiap gerak makan dan kedalaman potong konstan ada pada kecepatan potong 150 m/min. Kedalaman potong berbanding lurus terhadap *fluks kalor*. Semakin besar nilai kedalaman potong, maka akan semakin besar pula nilai *fluks kalor*. *Fluks kalor* paling rendah untuk setiap kecepatan potong dan gerak makan konstan, ada pada kedalaman potong 0.5mm.

Kata Kunci : AISI 4340, Flame Torch, RSM, ANN, Heat Conduction

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
RINGKASAN	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
NOMENKLATUR	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Gambaran Umum	1
1.2 Latar Belakang Masalah	1
1.3 Perumusan Masalah	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Kerangka Pemikiran Konseptual	6
BAB 2 STUDI KEPUSTAKAAN	
2.1 Proses Pemesinan	9
2.1.1 Pemesinan Bubut	9
2.2 Hot Machining	10
2.2.1 Teknik Pemanasan	12
2.3 AISI 4340	14
2.4 Pahat Karbida	14
2.5 Kekasaran Permukaan	15

2.6	Temperatur Pemotongan	16
2.6.1	Pengukuran Temperatur	19
2.6.1.1	Embedded Termokopel	19
2.6.2	Perbedaan Metode Eksperimental, Numerikal, dan Analitik	20
2.7	Response Surface Methodology.....	20
2.8	Artificial Neural Network.....	21
2.9	Heat Transfer.....	24
2.9.1	Konduksi Panas	24
2.9.2	Heat Generation.....	26
2.9.3	Metode Persamaan Beda Hingga dan Metode Keseimbangan energi.....	26
2.9.4	Fluks kalor.....	29
2.10	Perpindahan Kalor pada Pemesinan Bubut	30
2.11	Distribusi Kalor pada Proses Pemesinan Bubut	31
2.12	State of The Art	32
2.13	Research Gap	34

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	37
3.2	Persiapan Benda Kerja.....	38
3.3	Persiapan Pahat	39
3.4	Persiapan Mesin Bubut.....	39
3.5	Teknik Pemanasan Local Heating (Flame Torch).....	40
3.6	Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	40
3.7	Pengukuran Temperatur	41
3.8	Design of Experiment.....	42
3.9	Pemodelan dengan Respon Surface Methodology.....	44
3.10	Pemodelan dengan Artificial Neural Network	45
3.11	Prosedur Penelitian Fluks kalor.....	47
3.11.1	Proses Pengukuran Temperatur	47
3.11.2	Proses Pengukuran Temperatur Nodes Menggunakan Metode Keseimbangan energi.....	47

3.11.3	Perhitungan Fluks kalor.....	48
--------	------------------------------	----

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Kekasaran Permukaan	50
4.1.1	Penggunaan Model RSM untuk Menganalisis Kekasaran Permukaan	51
4.1.1.1	Pemodelan Linear Kekasaran Permukaan ...	51
4.1.1.2	Pemodelan Kuadratik Kekasaran Permukaan	53
4.1.1.3	Prediksi Kekasaran Permukaan pada Pemodelan Linear dan Kuadratik	54
4.1.1.4	Pemeriksaan Model	56
4.1.2	Analisa Kekasaran Permukaan Menggunakan Pemodelan ANN	59
4.1.3	Perbandingan Akurasi Prediksi Kekasaran Permukaan Berdasarkan Metode RSM	64
4.2	Temperatur Pahat	65
4.2.1	Analisa Temperatur Mata Pahat Dengan Pemodelan RSM	66
4.2.1.1	Pemodelan Linear Temperatur Mata Pahat ..	66
4.2.1.2	Pemodelan Kuadratik Temperatur Mata Pahat	67
4.2.1.3	Pemodelan Kuatrik Temperatur Mata Pahat	69
4.2.1.4	Prediksi Temperatur Mata Pahat pada Pemodelan Linear dan Kuadratik	71
4.2.2	Analisa Temperatur Mata Pahat Menggunakan Pemodelan ANN	72
4.2.3	Perbandingan Metode RSM dan ANN untuk Memprediksi Akurasi Temperatur Mata Pahat.....	79
4.2.4	Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Temperatur	80
4.2.4.1	Efek Kedalaman Potong Terhadap Temperatur Mata Pahat	80
4.2.4.2	Efek Laju Pemakanan Terhadap Temperatur Mata Pahat	82

4.2.4.3	Efek Kecepatan Potong Terhadap Temperatur Mata Pahat	84
4.3	Panas yang Dibangkitkan dan Fluks kalor	85
4.3.1	Perhitungan Nilai Konduktivitas Termal Mata Pahat Pada Tiap Pengujian	85
4.3.2	Perhitungan Panas yang Dibangkitkan	86
4.3.3	Perhitungan Temperatur Pahat Menggunakan Metode Beda Hingga	88
4.3.4	Perhitungan Laju Perpindahan Kalor Konduksi	90
4.3.5	Perhitungan Fluks kalor.....	91
4.3.6	Pengaruh Parameter Pemesinan Terhadap Panas yang Dibangkitkan	93
4.3.6.1	Efek Gerak Makan Terhadap Panas yang Dibangkitkan	93
4.3.6.2	Efek Kedalaman Potong Terhadap Panas yang Dibangkitkan	95
4.3.6.3	Efek Kecepatan Potong Terhadap Panas yang Dibangkitkan	97
4.3.7	Efek Parameter Pemesinan Terhadap Fluks kalor	99
4.3.7.1	Efek Gerak Makan Terhadap Fluks kalor ...	99
4.3.7.2	Efek Kedalaman Potong Terhadap Fluks Kalor	101
4.3.7.3	Efek Kecepatan Potong Terhadap Fluks Kalor	102
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	105
5.2	Saran	106
 DAFTAR PUSTAKA		
		107
 LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.1	Kerangka Pemikiran Konseptual	8
Gambar 2.1	Klasifikasi Proses Pembuangan Material	9
Gambar 2.2	Pemesinan Bubut	10
Gambar 2.3	Efek Temperatur Terhadap Kekerasan	11
Gambar 2.4	Efek Temperatur vs Tegangan Tarik.....	11
Gambar 2.5	Teknik Pemanasan Gas Burner	13
Gambar 2.6	Perkembangan Material Pahat	15
Gambar 2.7	Penyimpangan Permukaan Nominal.....	16
Gambar 2.8	Distribusi Temperatur pada Benda Kerja dan Geram	17
Gambar 2.9	Pembentukan Chip/Geram Dalam Proses Pembubutan Orthogonal.....	18
Gambar 2.10	Contoh Jaringan Syaraf Tiruan	22
Gambar 2.11	Prinsip Matematik Jaringan Syaraf Tiruan	23
Gambar 2.12	Konduksi Ketebalan Dinding Bidang Δx dan Luas Bidang A	25
Gambar 2.13	Nodes dan Elemen Volume pada Konduksi 1 Dimensi.....	26
Gambar 2.14	Skema Boundary Node Kiri pada Dinding	28
Gambar 2.15	Gambaran dari Fluks kalor.....	30
Gambar 2.16	Distribusi Temperatur dan Kalor pada Proses Bubut	31
Gambar 2.17	Panas yang Dibangkitkan dan Panas yang Dibuang pada Proses Bubut	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2	Mesin Bubut	40
Gambar 3.3	Alat Pengukur Kekasaran Permukaan	41
Gambar 3.4	Metode Analisis dalam Respon Surface Methodology	45
Gambar 3.5	Jenis Fungsi Aktivasi	46
Gambar 3.6	Daerah Fluks kalor	48
Gambar 4.1	Gambar 4.1 Grafik Nilai Eksperimental, Prediksi Linear, dan Prediksi Quadratic Kekasaran Permukaan.....	56
Gambar 4.2	Metode Analisis dalam Response Surface Methodology ..	57
Gambar 4.3	Residual vs Prediksi	57

Gambar 4.4	Perturbation Plot	59
Gambar 4.5	Skema Jaringan Syaraf	60
Gambar 4.6	Diagram Alir ANN untuk Kekasaran Permukaan.....	61
Gambar 4.7	Performansi Jaringan Kekasaran Permukaan dengan Jumlah Hidden Layer $1 \leq n \leq 20$	62
Gambar 4.8	Grafik Nilai Eksperimental, Prediksi Linear dan Prediksi Quartic Temperatur Mata Pahat.....	65
Gambar 4.9	Perbandingan Eksperimen dan Perkiraan Kekasaran Permukaan Menggunakan Metode RSM dan ANN	72
Gambar 4.10	Diagram Alir ANN untuk Perkiraan Temperatur Mata Pahat	73
Gambar 4.11	Kinerja Jaringan Terhadap Temperatur Mata Pahat Pada Hidden Layer	74
Gambar 4.12	Rasio Data Eksperimental dan Perkiraan oleh ANN	75
Gambar 4.13	Rasio Data Validasi Eksperimental dan Perkiraan oleh ANN	77
Gambar 4.14	Grafik Regresi Data Validasi	77
Gambar 4.15	Grafik Regresi Data Eksperimental	78
Gambar 4.16	Rasio Hasil Eksperimental dan Perkiraan Temperatur dengan Metode RSM dan ANN	80
Gambar 4.17	Grafik Rasio Kedalaman Potong (a) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 100°C	81
Gambar 4.18	Grafik Rasio Kedalaman Potong (a) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 200°C.....	81
Gambar 4.19	Grafik Rasio Kedalaman Potong (a) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 150°C.....	82
Gambar 4.20	Grafik Rasio Laju Pemakanan (f) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 100°C	82
Gambar 4.21	Grafik Rasio Laju Pemakanan (f) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 200°C	83
Gambar 4.22	Grafik Rasio Kecepatan Potong (V_c) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 100°C	84
Gambar 4.23	Grafik Rasio Kecepatan Potong (V_c) vs Temperatur Mata Pahat pada Temperatur Pemanasan 200°C	84

Gambar 4.24	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Gerak Makan Pada Temperatur Pemanasan 100°C.....	94
Gambar 4.25	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Gerak Makan Pada Temperatur Pemanasan 150°C.....	94
Gambar 4.26	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Gerak Makan Pada Temperatur Pemanasan 200°C.....	95
Gambar 4.27	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 100°C.....	95
Gambar 4.28	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 150°C.....	96
Gambar 4.29	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 200°C.....	97
Gambar 4.30	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kecepatan Potong (<i>V_c</i>) pada Temperatur Pemanasan 100°C.....	97
Gambar 4.31	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kecepatan Potong (<i>V_c</i>) pada Temperatur Pemanasan 150°C.....	98
Gambar 4.32	Grafik Rasio Panas yang Dibangkitkan vs Kecepatan Potong (<i>V_c</i>) pada Temperatur Pemanasan 200°C.....	98
Gambar 4.33	Grafik Rasio Fluks kalor vs Gerak Makan (<i>f</i>) pada Temperatur Pemanasan 100°C	99
Gambar 4.34	Grafik Rasio Fluks kalor vs Gerak Makan (<i>f</i>) pada Temperatur Pemanasan 150°C	100
Gambar 4.35	Grafik Rasio Fluks kalor vs Gerak Makan (<i>f</i>) pada Temperatur Pemanasan 200°C	100
Gambar 4.36	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 100°C	101
Gambar 4.37	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 150°C	101
Gambar 4.38	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kedalaman Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 200°C.....	102
Gambar 4.39	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kecepatan Potong (<i>a</i>) pada Temperatur Pemanasan 100°C	103

Gambar 4.40	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kecepatan Potong (a) pada Temperatur Pemanasan 150°C	103
Gambar 4.41	Grafik Rasio Fluks kalor vs Kecepatan Potong (a) pada Temperatur Pemanasan 200°C	103

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Metode Eksperimental & Pemodelan Dalam Pengukuran Distribusi pada Proses Pemesinan	20
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja AISI 4340	38
Tabel 3.2	Sifat Mekanik Baja AISI 4340	38
Tabel 3.3	Sifat Thermal Baja AISI 4340	38
Tabel 3.4	Sifat Termal Pahat Karbida	39
Tabel 3.5	Konduktivitas Termal Karbida Insert	39
Tabel 3.6	Spesifikasi Mesin Bubut	39
Tabel 3.7	Spesifikasi Alat Uji Kekasaran	41
Tabel 3.8	Variabel Bebas Pada Eksperimen	42
Tabel 3.9	Desain Eksperimen Penelitian	42
Tabel 3.10	Coded Design Eksperimen Penelitian	43
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekasaran Permukaan.....	50
Tabel 4.2	ANOVA Model Linear dari Kekasaran Permukaan AISI 4340	51
Tabel 4.3	ANOVA Model Kuadratik Kekasaran Permukaan AISI 4340	53
Tabel 4.4	Nilai Prediksi Pemodelan Linear dan Kuadratik Kekasaran Permukaan Menggunakan RSM	55
Tabel 4.5	Perkiraan Nilai Kekasaran Permukaan Dengan Metode ANN	62
Tabel 4.6	Data Hasil Temperatur Mata Pahat.....	65
Tabel 4.7	Pemodelan Linear ANOVA untuk Temperatur Mata Pahat AISI 4340	67
Tabel 4.8	Pemodelan Kuadratik ANOVA untuk Temperatur Mata Pahat AISI 4340	68
Tabel 4.9	Pemodelan Kuartik ANOVA untuk Temperatur Mata Pahat AISI 4340.....	69
Tabel 4.10	Nilai Perkiraan Berdasarkan Pemodelan Linear dan Kuartik Temperatur Mata Pahat dengan Menggunakan RSM.....	71
Tabel 4.11	Data Eksperimental dan Perkiraan Temperatur Pahat dengan	

	Menggunakan Metode ANN	74
Tabel 4.12	Uji Validasi Temperatur Mata Pahat Dengan ANN	76
Tabel 4.13	Data Hasil Perhitungan Konduktivitas Termal Mata Pahat...	85
Tabel 4.14	Data Perhitungan Panas yang Dibangkitkan	86
Tabel 4.15	Perhitungan Temperatur Menggunakan Metode Keseimbangan Energi	88
Tabel 4.16	Data Hasil Perhitungan Laju Perpindahan Kalor Konduksi...	90
Tabel 4.17	Data Hasil Perhitungan Fluks kalor.....	91

NOMENKLATUR

Simbol	Parameter	Satuan
α	Kedalaman potong	mm
A	Luas permukaan bidang	m ²
F	Laju pemakanan	mm/rev
\dot{g}	Panas yang dibangkitkan	W/m ³
k	Konduktivitas termal	W/m. ⁰ C
L	Panjang perpindahan panas pada dinding	m
q	Fluks kalor	W/m ²
Q	Laju perpindahan panas	W
Ra	Kekasaran permukaan	μ m
T	Temperatur	⁰ C
V _c	Kecepatan potong	m/min
x	Panjang bidang	m
x _{1,x2}	Variabel bebas	
X	Model matriks	
y	vektor	
Simbol Yunani		
α	Sudut kelonggaran	derajat
β	Sudut gesek	derajat
γ	Sudut potong	derajat
ϕ	Sudut geser	derajat
ε	Statistik error	
ξ	Variabel normal	
β_1	Konstanta regresi	
Subskrip		
Q _{ch}	Panas dibawa kearah geram	W
Q _{ce}	Panas dibawa kearah mata pahat	W
Q _{ps}	Panas dibawa kearah benda kerja	W
T _{pz}	Temperatur pada zona primer	⁰ C
T _{ce}	Temperatur pada zona sekunder	⁰ C

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Gambaran Umum

Studi ini mengevaluasi performansi dari AISI 4340 dengan menggunakan metode *hot turning*. AISI 4340 termasuk kedalam baja karbon medium keatas, yang termasuk dalam material dengan kekuatan tinggi dengan paduan yang rendah. Material ini digunakan untuk membuat komponen roda gigi pada roda pesawat terbang (*landing gear component*), poros engkol (*crankshafts*) dan batang penghubung (*connecting rods*), karena memiliki sifat yang baik dalam ketahanan impak. Benda kerja yang akan dibubut, dipanasi terlebih dahulu dengan menggunakan *flame torch*. Hubungan antara variabel bebas dan variabel tak bebas ditentukan dari model matematika yang dikembangkan dengan menggunakan *Respon Surface Methodology* (RSM) dan *Artificial Neural Networks* (ANN).

1.2 Latar Belakang Masalah

Proses pemesinan bubut adalah proses pembentukan benda kerja atau material menjadi bentuk silinder. Proses ini merupakan suatu proses pemakanan, atau penyayatan benda kerja yang dipasang pada mesin bubut. Sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja tersebut, dan selanjutnya disentuhkan pada mata pahat yang digerakkan secara translasi dengan sumbu putar dari benda kerja tersebut (Dewangga et al., 2017). Secara umum, pemesinan bubut biasa dilakukan dengan dua proses, yaitu pembubutan kering (*dry cutting*) dan pembubutan dengan menggunakan cairan pemotong (*cutting fluid*). Karena ramah terhadap lingkungan, proses *dry cutting* menjadi semakin sering digunakan pada industri manufaktur.

Proses manufaktur yang berkelanjutan (*sustainable manufacture*) telah memperkenalkan berbagai kondisi pemesinan untuk menyelesaikan masalah

Metal Working Fluids (MWF) yaitu *dry machining*, *near dry machining* yang dikenal juga dengan istilah *Minimum Quantity Lubrication* (MQL) dan pemesinan kriogenik (Rahim et al., 2016).

Manfaat dari proses bubut tanpa bantuan cairan pendingin (*dry machining*) mencakup tidak ada polusi pada atmosfer atau air. Dan aman bagi lingkungan dan kesehatan. Lebih lanjut, proses bubut *dry machining* menguntungkan dalam hal pengurangan biaya pembubutan (Sreejith and Ngoi, 2000).

Metode *hot machining* merupakan salah satu metode pemesinan yang tidak menggunakan bantuan cairan pendingin. Adapun proses metode hot machining yaitu dengan cara memanaskan permukaan benda kerja sebelum atau selama proses pemesinan dilakukan.

Perlakuan panas pada permukaan benda kerja secara langsung, sebelum maupun sepanjang proses pemesinan bubut adalah cara yang dilakukan dalam hal meningkatkan kemampuan proses bubut pada material berkekuatan tinggi. Umumnya permukaan benda kerja akan dipanaskan sampai batas temperatur yang ditentukan, tetapi masih dibawah temperatur rekristalisasinya. Dimana pada temperatur ini kekuatan geser benda kerja akan mengalami penurunan, dan benda kerja akan lebih mudah dibubut. Keausan pada mata pahat dan gaya potong akan mengalami penurunan (Kumar Parida dan Maity, 2014; Amin dan Ginta, 2014).

Proses *hot machining* menjadi pilihan yang tepat digunakan dalam melakukan proses pemesinan bubut logam untuk material benda kerja yang sukar untuk dipotong yaitu material superalloy, keramik (ceramics), dan paduan titanium (titanium alloys). Karena rendahnya konduktivitas termal bahan, dan tingginya sifat mekanik. Akibatnya, gaya potong dan temperatur pemotongan yang meningkat selama proses pemesinan bubut dapat mengurangi umur mata pahat (Sofuoğlu et al., 2018).

Sepanjang proses pemesinan bubut, temperatur antarmuka antara mata pahat maupun benda kerja akan meningkat. Temperatur pemotongan sangat berpengaruh terhadap laju keausan pahat namun juga keutuhan permukaan benda kerja yaitu kekerasan benda kerja, kekasaran permukaan benda kerja dan tegangan sisa. Temperatur pada saat pemotongan merupakan suatu faktor yang signifikan dalam proses pemotongan (Elmaraghy et al, 2014).

Sepanjang proses pemesinan bubut, temperatur antarmuka mata pahat maupun benda kerja akan mengalami peningkatan drastis. Temperatur pemotongan tidak cuma akan mempengaruhi laju keausan pahat namun juga keutuhan permukaan benda kerja yaitu kekerasan benda kerja, kekasaran permukaan benda kerja dan tegangan sisa. Temperatur pada saat pemotongan merupakan suatu faktor yang signifikan dalam mengamati sistem proses pemotongan (Elmaraghy et al., 2014). Menurut Ratnasingam et al., 2010 bahwa temperatur pemotongan merupakan faktor signifikan yang dapat mengontrol sistem keausan pahat saat proses pemesinan bubut, karena sifat dari material alat pahat seperti kekerasan dan kekuatan akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan temperatur pemotongan. Peningkatan temperatur pemotongan pada tepi mata pahat bergantung pada faktor-faktor antara lain kecepatan potong (*cutting speed, Vc*), laju makan (*feed rate, f*), kedalaman potong (*depth of cut, a*), material dari mata pahat maupun benda kerja. Temperatur pemotongan mempunyai dampak lebih menyeluruh pada keausan mata pahat.

Kekasaran permukaan pada benda kerja adalah parameter signifikan dari proses pemesinan selain faktor temperatur dan keausan mata pahat (Ashok et al., 2017, Siddique et al., 2018). Peningkatan panas secara drastis pada benda kerja akan menyebabkan kekasaran permukaan pada benda kerja terlihat jelas secara visual dan hasil pembubutan tidak sebaik yang diharapkan.

Teknik pemodelan digunakan untuk membantu efisiensi operasi pemesinan dalam menghemat waktu serta biaya produksi bagi industri manufaktur. Model yang dipakai dalam proses pemesinan bersifat nonlinier. Model analitis sering disederhanakan dan diasumsi, untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Pemodelan berdasarkan Response Surface Methodology dan Artificial Neural Network menjadi semakin terkenal. Teknik pemodelan ini sudah banyak digunakan oleh para peneliti untuk mengembangkan dan mendapatkan kondisi yang optimum dalam pemesinan bubut. Penggunaan teknik pemodelan berdasarkan Artificial Intelligence dan Response Surface Method dianjurkan untuk penerapan real-time. Pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) dan *Artificial Neural Network* (ANN) telah berhasil dilaksanakan dengan hasil yang memuaskan (Anuja Beatrice et al., 2014).

Penerapan metode *hot machining* digunakan untuk mengamati temperatur pada mata pahat, kekasaran permukaan benda kerja dan dampaknya, meminimalisasi dampak buruk seperti penurunan keausan mata pahat, dan gaya potong sudah dilakukan oleh para peneliti. Penerapan aplikasi metode hot machining lainnya seperti teknik *laser assisted machining*, *plasma arc machining*, *induction assisted* dan *flame assisted machining* dapat menjadi pilihan dalam proses pemesinan bubut *dry cutting*. Oleh sebab itu, agar dapat mengendalikan proses pemesinan dengan lebih baik, sebaiknya prakiraan temperatur pemotongan harus diketahui (Mia and Dhar, 2016a).

Berdasarkan uraian tersebut, maka proses pemesinan bubut sangat sensitif terhadap gesekan yang akan mengakibatkan peningkatan panas secara drastis pada benda kerja maupun mata pahat, akibatnya hasil dari benda kerja tidak sesuai dengan harapan. Maka dari itu, penelitian tentang pemodelan RSM dan ANN untuk memahami dampak dari aplikasi metode hot machining pada hasil kekasaran permukaan benda kerja dan temperatur pada mata pahat pemesinan bubut AISI 4340 perlu dilakukan.

1.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah parameter pemesinan (kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman potong, dan temperatur benda kerja) memiliki kontribusi dalam mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan dan temperatur mata pahat?
2. Bagaimana pemodelan matematika dari kekasaran permukaan benda kerja dan temperatur mata pahat menggunakan RSM dan ANN pada proses pembubutan AISI 4340 dengan metode *hot turning*?
3. Bagaimana prediksi nilai kekasaran permukaan benda kerja dan temperatur mata pahat dengan menggunakan RSM dan ANN?

4. Bagaimana pengaruh metode *hot turning* terhadap *fluks kalor* dan *heat generation* pada mata pahat dengan parameter kecepatan potong, laju pemakanan, kedalaman potong, dan temperatur benda kerja yang berbeda?

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

- a. Material benda kerja adalah AISI 4340.
- b. Mata pahat yang digunakan adalah cemented carbide.
- c. Variabel bebasnya adalah kecepatan potong (V_c) 100–150 m/min, kedalaman potong (a) 0,5–1,5 mm, laju pemakanan (f) 0,035–0,14 mm/rev dan temperatur pemanasan benda kerja (T) 100°C–200°C.
- d. Alat Handysurf Accretech E-35B digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja.
- e. Temperatur mata pahat diukur dengan software Arduino
- f. Proses pemanasan benda kerja menggunakan flame torch (local heating of workpiece)
- g. Pemodelan dengan metode RSM dan ANN
- h. Proses perpindahan panas yang diteliti hanya perpindahan panas konduksi.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini berdasarkan perumusan masalah adalah:

1. Mengetahui besarnya kontribusi parameter pada proses bubut yaitu kecepatan potong, kedalaman potong, laju pemakanan, dan temperatur benda kerja dalam mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan dan temperatur mata pahat.

2. Menentukan dan menganalisis model matematika terbaik dari kekasaran permukaan dan temperatur mata pahat menggunakan RSM dan ANN pada proses pembubutan AISI 4340 dengan metode *hot turning*.
3. Mendapatkan dan menganalisis prediksi terbaik dari kekasaran benda kerja dan temperatur mata pahat berdasarkan RSM dan ANN.
4. Mendapatkan nilai-nilai optimum *heat flux* dan *heat generation* dari parameter pemotongan.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dari penelitian ini adalah (1) mendapatkan persamaan model matematika baru untuk kekasaran permukaan dan temperatur mata pahat pada proses *hot turning* AISI 4340 dengan menggunakan RSM; (2) dapat memprediksi struktur jaringan berdasarkan ANN untuk menghasilkan MSE terkecil pada temperatur mata pahat.

1.7 Kerangka Pemikiran Konseptual

Mesin bubut merupakan satu diantara mesin-mesin produksi yang sering digunakan dalam dunia industri. Teknik hot machining pada proses pemesinan bubut merupakan metode yang dapat digunakan untuk membubut benda kerja.

Dalam penelitian sebelumnya, faktor utama yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman pemakanan (Ashok et al., 2017, Siddique et al., 2018). Berbeda dengan hasil yang ditemukan

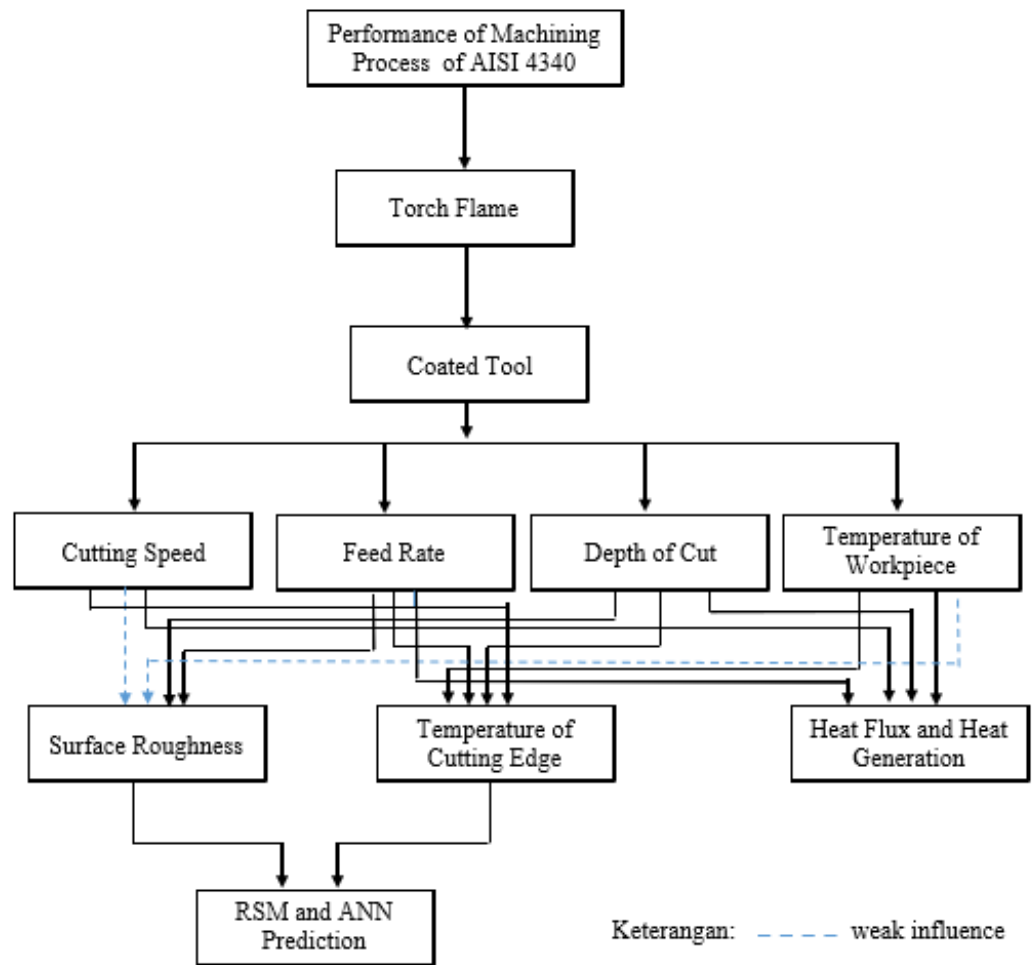
Das et al (2017), laju pemakanan berpengaruh pada kekasaran permukaan, sedangkan kekuatan pemesinan dipengaruhi oleh laju pemakanan dan kedalaman potong, sementara kecepatan potong mempengaruhi keausan mata pahat. Lebih lanjut pemesinan yang ramah lingkungan (*green machine*) dapat mengurangi nilai kekasaran, dibandingkan dengan pemesinan basah. *Dry cutting* adalah peluang terbaik yang dapat direalisasikan pada industri manufaktur dan otomotif (Napid,

2019). Sementara Sahu dan Choudhury (2015); Muhamad (2019); Deepanraj (2020) menguji pengaruh kecepatan potong, laju pemakanan, dan kedalaman potong pada kekasaran permukaan dengan menggunakan metode Taguchi.

Beberapa penelitian melakukan pemanasan dengan menggunakan *laser-assisted* (Hadhri, 2017, Venkatesan et al., 2018), sedangkan Baili et al (2012), Bich et al (2018) menggunakan *induction assisted* yang mampu mempertahankan konstanta temperatur ke dalam benda kerja selama pemesinan bekerja.

Azam et al (2015), Suresh et al (2012), dan Gupta (2014) mengembangkan hubungan antara *Ra* dan parameter pemesinan (laju pemakanan, kecepatan potong, dan kedalaman potong) dengan menggunakan *Response Surface Methodology*. Sementara Ozkan et al (2014); Tamayo et al (2018); Widiantoro (2014) menggunakan *Artificial Neural Network* untuk memprediksi keausan *cutting tool*.

Dalam proses *hot turning* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, ada perbedaan yang ditemukan dalam penggunaan metode penentuan banyaknya variabel, cara pemanasan benda kerja, dan penggunaan RSM dan ANN untuk memprediksi kekasaran permukaan benda kerja. Karena itu dalam penelitian ini, membahas lebih lanjut dengan menambahkan temperatur pemanasan sebagai variabel independen, metode *embedded termokopel* menggunakan Arduino sebagai alat ukur temperatur, dan pemakaian *torch flame* sebagai alat *preheating*. Berikut kerangka konseptual yang dituangkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran Konseptual

DAFTAR PUSTAKA

- Abouridouane, M., Klocke, F., Do, B., 2016. CIRP Annals - Manufacturing Technology Analytical temperature prediction for cutting steel 65, 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.039>
- Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T., Sheikh, M.A., 2006. Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 46, 782–800. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.07.024>
- Amulya, N., Subhashini, P.V.S., Chinmayi, K., Naveen, R. 2016. Parametric Optimization of Heat Generation During Turning Operation. *J. Mech. Eng. Autom.* 6, 117-120. <https://doi.org/10.1177/095440514548496>
- Anuja Beatrice, B., Kirubakaran, E., Ranjit Jeba Thangaiah, P., Leo Dev Wins, K., 2014. Surface roughness prediction using artificial neural network in hard turning of AISI H13 steel with minimal cutting fluid application. *Procedia Eng.* 97, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.243>
- Arrazola, P.J., Aristimuno, P., Soler, D., Childs, T. 2015. Metal Cutting Experiments and Modelling for Improved Determination of Chip/Tool Contact Temperature by Infrared Thermography. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 64, 57-60. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.061>
- Artozoul, J., Lescalier, C., Bomont, O., Dudzinski, D. 2014. Extended Infrared Thermography Applied to Orthogonal Cutting: Mechanical and Thermal Aspects. *Appl. Therm. Eng.* 64, 441-452. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.057>
- Ashok, Kumar Sahoo, and Purna Chandra Misra. 2014. A Response Surface Methodology and Desirability Approach for Predictive Modelling and Optimization of Cutting Temperature in Machining Hardened Steel. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 5 (2014) 407-416

- Asiltürk, I., Neşeli, S., Ince, M.A., 2016. Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 78, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.09.052>
- Azo Materials 2012
- Baili, Maher, et al. 2012. Experimental Investigation of Hot Machining With Introduction to Improve Ti-5553 Machinability. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 62, 67-76
- Balbaa, M., Nasr, M.N.A., Elgamal, H., 2017. A Sensitivity Analysis on the Effect of Laser Power on Residual Stresses When Laser-assisted Machining AISI 4340. *Procedia CIRP* 58, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.182>
- Bandanadjaja, Beny, Cecep Ruskandi, Indra Pramudian. 2016. Perlakuan Panas Material AISI 4340 untuk Menghasilkan Dual Phase Steel Ferrit-Bainit. *STEMAN 2016 (Prosiding)*, C-16 - C-19
- Basavarajappa S. et al. 2014. Analysis of Cutting Force and Surface Roughness in Hard Turning of AISI 4340 Using Multilayer Coated Carbide Tool. *Int. J. Machining and Machinability of Materials*, Vol. 16, No. 2
- Bich, Mac Thi, et al. 2018. Cutting Force Model for Thermal-Assisted Machining of Tool Steel Based on The Taguchi Method. *Metals*, 8, 992, <http://doi:10.3390/met8120992>
- Boothroyd, G., Knight, W.A., 1989. *Fundamentals Of Machining And Machine Tols*, 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Bragaa, Cintia, et al. 2017. Surface Integrity Characterization of Hardened AISI 4340 Steel in Grinding Process with Biodegradable Formulations of Cutting Fluids. *Materials Research*, 20 (2), 496-501, <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0658>
- Cakir, O., Sahin, I., 2016. Heating Techniques In Hot Machining. *Proc. ICAS2016 1st Int. Conf. Adv. Sci.* 1, 238–246.

- Cengel, Y., 2002. Heat Transfer A Practical Approach Second Edition.
- Cherukuri, H., Perez-Bernabeu, J., Selles, J.A., Schmitz, T.L., 2019. A neural network approach for chatter prediction in turning. *Procedia Manuf.* 34, 885–892. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.159>
- Chuangwen, X., Jianming, D., Yuzhen, C., Huaiyuan, L., Zhicheng, S., Jing, X., 2018. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration. *Adv. Mech. Eng.* 10, 1–14. <https://doi.org/10.1177/1687814017750434>
- Das, Sudhansu Ranjan, Asutosh Panda, Debabrata Dhupal. 2017. Experimental Investigation of Surface Roughness, Flank Wear, Chip Morphology and Cost Estimation During Machining of Hardened AISI 4340 Steel With Coated Carbide Insert. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes* 3:9, DOI 10.1186/s40759-017-0025-1
- Das, B., Roy, S., Rai, R.N., Saha, S.C., 2015. Studies on effect of cutting parameters on surface roughness of Al-Cu-TiC MMCs: An artificial neural network approach. *Procedia Comput. Sci.* 45, 745–752. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.145>
- Deepanraj, Balakrishnan, et al. 2020. Investigation and Optimization of Machining Parameters Influence on Surface Roughness in Turning AISI 4340 Steel. *FME Transactions* (2020) 48, 383-390
- Dewangga, S.P.F., Nugraha, I.N.P., Dantes, K.R., 2017. Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Mesin Bubut Terhadap Keausan pada Alat Potong Pahat HSS Tipe Bohler MO 1/2X4. *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha* 7.
- Elmaraghy, H., Deif, A.M., Systems, I.M., Program, S.E., 2014. CIRP Encyclopedia of Production Engineering., <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7>
- Elsadek, Ahmed A, Ahmed M. Gaafer, S.S. Mohamed, A.A. Mohamed. 2020. Prediction and Optimization of Cutting Temperature on Hard Turning of AISI H13 Hot Work Steel. *SN Applied Sciences* 2:540.

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2303-5>

Groover, M.P., 2012. *Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and System Fifth Edition.*

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Gupta, Umesh and Amit Kohli. 2014. Experimental Investigation of Surface Roughness in Dry Turning of AISI 4340 Alloy Steel Using PVD-and CVD-Coated Carbide Inserts. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)*, Vol. 4, Issue 1 Agustus 2014, 94-103

Haddaq, B., Atlati, S., Nouari, M. Zenasni, M. 2015. Analysis of The Heat Transfer at The Tool-Workpiece Interface in Machining: Determination of Heat Generation and Heat Transfer Coefficients. *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung* 51, 1355-1370. <https://doi.org/10.1007/s00231-015-1499-1>

Hadri, Mahdi, Abderazzak El Quafi, and Nouredine Barka. 2017. Prediction of The Hardness Profile of An AISI 4340 Steel Cylinder Heat-Treated by Laser-3D and Artificial Neural Networks Modelling and Experimental Validation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 31 (2), 615-623. <http://doi.10.1007/s12206-017-0114-4>

Hanief, M., Wani, M.F., Charoo, M.S., 2017. Modeling and prediction of cutting forces during the turning of red brass (C23000) using ANN and regression analysis. *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* 20, 1220–1226. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.10.019>

Jegatheswaran, R., T, P.M., G, R., 2010. Tool Temperature and Cutting Forces during the Machining of Particleboard Solid Wood. *Appl. Sci.* 10, 2881–2886.

Jiang, F., Zhang, T., Yan L. 2016. Estimation of Temperature-Dependent Heat Transfer Coefficients in Near-Dry-Cutting. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 86, 1207-1218. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8293-6>

Kalpakjian, S. and S.R.S., 2009. *Manufacturing Engineering and Technology.* Prentice Hall

Kant, G., Sangwan, K.S., 2015. Predictive modelling for energy consumption in

- machining using artificial neural network. *Procedia CIRP* 37, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.081>
- Kara, F., Aslantaş, K., Çiçek, A., 2016. Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network. *Appl. Soft Comput. J.* 38, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.034>
- Kesriklioglu, S., Pfefferkorn, F.E., 2018. Real Time Temperature Measurement With Embedded Thin-Film Termokopels in Milling. *Procedia CIRP* 77, 618-621. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.193>
- Kreith, F., 2011. *Principles of Heat Transfer Seventh Edition*. USA: Publisher Global Engineering
- Krupp Quality Steels Germany
- Kryzhanivskyy, V., Bushlya, V., Gutnichenko, O., Petrusha, I.A., Stahl, J.E. 2015. Modelling and Experimental Investigation of Cutting Temperature When Rough Turning Hardened Tool Steel With PCBN Tools. *Procedia CIRP* 31, 489-495. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.079>
- Kumar Parida, A., Maity, K., 2019. Modeling of machining parameters affecting flank wear and surface roughness in hot turning of Monel-400 using response surface methodology (RSM). *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 137. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.070>
- Kumar, S., Singh, B., 2018. Prediction of tool chatter in turning using RSM and ANN. *Mater. Today Proc.* 5, 23806–23815. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.172>
- Kus, Adil, et al. 2015. Article Termokopel and Infrared Sensor-Based Measurement of Temperature Distribution in Metal Cutting. *Sensors* 2015, 15, 1274-1291, doi:10.3390/s150101274
- Li, K.M., Wang, C., Chu, W.Y. 2013. An Improved Remote Sensing Technique for Estimating Tool-Chip Interface Temperatures In Turning. *J. Mater. Process. Technol.* 213, 1772-1781. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.04.014>

- Liang, L., Quan, Y., Ke, Z., 2011. Investigation of tool-chip interface temperature in dry turning assisted by heat pipe cooling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 54, 35–43. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2926-6>
- Mia, M., Dhar, N.R., 2016a. Response surface and neural network based predictive models of cutting temperature in hard turning. *J. Adv. Res.* 7, 1035–1044. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.05.004>
- Mia, M., Dhar, N.R., 2016b. Prediction of surface roughness in hard turning under high pressure coolant using Artificial Neural Network. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 92, 464–474. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.06.048>
- Mia A Mozammel, Nikhil R Dhar. 2016. Response Surface and Neural Network Based Predictive Models of Cutting Temperature in Hard Turning. *Journal of Advanced Research* (2016) 7, 1035-1044. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2016.05.004>
- Modh, N.R., Mistry, G.D., Rathod, K.B., 2012. An experimental investigation to optimize the process parameters of AISI 52100 steel in hot machining. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 1, 483–489.
- Möhring, H.C., Kushner, V., Storchak, M., Stehle, T., 2018. Temperature calculation in cutting zones. *CIRP Ann.* 67, 61–64. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.03.009>
- Montgomery, D.C., 2000. Design and Analysis of Experiments, 5th ed.
- Motorcu, Ali Riza, et al. 2016. Analysis of The Cutting Temperature and Surface Roughness During the Orthogonal Machining of AISI 4140 Alloy Steel Via The Taguchi Method. *MTAECH* 9, 50 (3), 343-351
- Muhamad, Shalina Sheik, Jaharah A. Ghani, Che Hasan Che Haron, Hafizal Yazid. 2019. Investigation of Cutting Forces in End Milling of AISI 4340 Under Dry and Cryogenic Conditions. *Jurnal Tribologi* 23 (2019) 125-136
- Muhammad, R., Ahmed, N., Ullah, H., Roy, A., Silberschmidt, V. V. 2018. Hybrid Machining Process: Experimental and Numerical Analysis of Hot Ultrasonically Assisted Turning. *Int. J. Adv. Manuf. Techno.* 97, 2173-2192.

<https://doi.org/10.1007/s00170-018-2087-6>

- Myers, R.H., Montgomery, D.C., Anderson Cook, C.M., 2009. Response Surface Methodology 3rd Edition.
- Mzad, H. 2015. A Simple Mathematical Procedure to Estimate Fluks kalor in Machining Using Measured Surface Temperature With Infrared Laser. *Case Stud. Therm. Eng.* 6, 128-135. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2015.09.001>
- Napid, Suhardi. 2019. Analisis Kekasaran Permukaan Termesin Dari Bahan Baja AISI 4340 Setelah Dibubut pada Pemesinan Hijau. *SEMNASTEK UISU 2019 (Prosiding)*, 104-109
- Ning, J. 2019. Predictive Modelling of Machining Temperature with Force-Temperature Correlation Using Cutting Mechanics and Constitutive Relation.
- Nurul Amin, A.K.M., Ginta, T.L., 2014. Heat-Assisted Machining, Comprehensive Materials Processing. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.01118-3>
- Ozkan, Murat Tolga, Hasan Basri Ulas, Musa Bilgin. 2014. Experimental Design and Artificial Neural Network Model for Turning the 50CrV4 (SAE 6150) Alloy Using Coated Carbide. *Materials and Technology* 48 (2014) 2, 227-236
- Panda, A., Das, S.R., Dhupal, D., 2017. Surface Roughness Analysis for Economical Feasibility Study of Coated Ceramic Tool in Hard Turning Operation. *Process Integr. Optim. Sustain.* 1, 237–249. <https://doi.org/10.1007/s41660-017-0019-9>
- Parida, A.K., Maity, K., 2018. Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation. *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* 21, 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.03.018>
- Parida, A.K., Maity, K., 2017. Effect of nose radius on forces, and process parameters in hot machining of Inconel 718 using finite element analysis. *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* 20, 687–693. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.10.006>

- Patel, Mitesh M., and Sandip B. Patel. 2016. A Review On Optimization of Hot Machining Process. *Global Research and Development Journal for Engineering (GRDJE)*, Vol. 1, Issue 4, March 2016
- Patel, K.A., and SB. Patel. 2014. Performance Evaluation and Parametric Optimization of Hot Machining Process on EN-8 Material. *International Journal for Technological Research in Engineering*, Vol. 1, Issue 10, June 2014
- Pathan, Khan Layeequzama, Bhisvane, S., 2018. Experimental Analysis and Investigation of Machining Parameters in Finish Hard Turning of AIAI 4340 Steel. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.039>
- Pragnesh. R. Patel, Prof. V. A. Patel. 2012. Effect of Machining Parameters on Surface Roughness and Power Consumption for 6063 Al Alloy TiC Composites (MMCs). *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* Vol. 2, Issue 4, July-August 2012, pp. 295-300
- Putz, M., Schmidt, G., Semmler, U., Dix, M., Braunig, M., Brockmann, M., Gierlings, S. 2015. Fluks kalor in Cutting: Importance, Simulation and Validation. *Procedia CIRP* 31, 334-339. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.088>
- Rahim, E.A., Rahim, A.A., Ibrahim, M.R., Mohid, Z., 2016. Experimental Investigation of Supercritical Carbon Dioxide (SCCO₂) Performance as a Sustainable Cooling Technique. *Procedia CIRP* 40, 637-641. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.147>
- Ramirez, et al. 2018. The Temperature Monitoring in The Machining Tool Workpiece Interface Using Thermography. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2060-4>
- Ranganathan, S., T. Senthil Velan, and G. Sriram. 2010. Evaluation of Machining Parameter of Hot Turning of Stainless Steel (Type 316) by Applying ANN and RSM. *Material and Manufacturing Processes*, 25, 1131-1141.

- Raof, N.A., Ghani, J.A., Haron, C.H.C. 2019. Machining-Induced Grain Refinement of AISI 4340 Alloy Steel Under Dry and Cryogenic Conditions. *J. Mater. Res. Technol.* 8, 4347-4353. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.045>
- Reza, A., 2018. Studi Temperatur Pemotongan pada Pahat Karbida CVD Berlapis (Al₂O₃ / TiCN) pada Pembubutan Keras Baja AISI 4340 Secara Eksperimental dan Numerikal.
- Rochim, T., 2007a. *Klasifikasi, Proses, Gaya & Daya Pemesinan*, 1st ed. ITB, Bandung.
- Rochim, T., 2007b. *Klasifikasi Proses, Gaya dan Daya Pemesinan*, 1st ed. ITB, Bandung.
- Rochim, T., 1993. *Proses Pemesinan*. Erlangga, Jakarta.
- Rusdji, Halim, et al. 2016. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340. *Jurnal Power Plant*, Vol. 4, No. 2, 92-103.
- Saez-de-Buruaga, M. Soler, D., Aristimuno, P.X., Esnaola, J.A., Arrazola, P.J. 2018. Determining Tool/Chip Temperatures From Thermography Measurements in Metal Cutting. *Appl. Therm. Eng.* 145, 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.051>
- Sahoo, A.K., Rout, A.K., Das, D.K. 2015. Response Surface and Artificial Neural Network Prediction Model and Optimization for Surface Roughness in Machining. *International Journal of Industrial Engineering Computations* 6 (2): 229-240. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2014.11.001>
- Sahu, S and B.B Choudhury. 2015. Optimization of Surface Roughness Using Taguchi Methodology and Prediction of Tool Wear in Hard Turning Tools. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 2, No. 4-5, 2615-2623.
- Sangwan, K.S., Saxena, S., Kant, G., 2015. Optimization of machining parameters to minimize surface roughness using integrated ANN-GA approach. *Procedia*

CIRP 29, 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.002>

Sehgal, A.K., Meenu. 2014. Application of Artificial Neural Network in Surface Roughness Prediction Considering Mean Square Error as Performance Measure. *International Journal of Computational Engineering and Management* 16 (Issue 3): 72-76

Shaw, M.C., 2005. Metal Cutting Principles Second Edition.

Siddique, R.A., Dilwar, F., Karim, R., 2018. Experimental investigation of the effect of cutting parameters on cutting temperature using Rsm and ANN in turning AISI 1040. *Glob. Sci. journal* 6, 47–60.

Sofuoglu, M.A., et al. 2018. Numerical Investigation of Hot Ultrasonic Assisted Turning of Aviation Alloys. *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.* 40. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1037-4>

Sonare, O.G., 2017. Experimental Investigation and Optimization of Oxy-Acetylene Assisted Machining Parameters for Nickel Based Alloy Inconel 718.

Sreejith, P.S., Ngoi, B.K.A., 2000. Dry machining: Machining of the future. *J. Mater. Process. Technol.* 101, 287–291. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00445-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00445-3)

Stephenson, D., Agapiou, J., 2016. Metal Cutting Theory and Practice Third Edition.

Sulaiman, S., Roshan, A., and Ariffin, M.K.A., 2013. Finite Element Modelling of the effect of tool rake angle on tool temperature and cutting force during high speed machining of AISI 4340 steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 50. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/50/1/012040>

Suresh R, S. Basavarajappa B, V.N. Gaitonde C, G.L. Samuel. 2012. Machinability Investigation on Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Insert. *Int Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 33 (2012), 75-86, <http://doi:10.1016/j.ijrmhm.2012.02.019>.

- Tamayo, Morales, et al. 2018. Comparison of Two Methods for Predicting Surface Roughness in Turning Stainless Steel AISI 316L. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingenieria*, Vol. 26, No. 1, 2018, 97-105
- Ukar, E., Taberero, I., Martínez, S., Lamikiz, A., Fernández, A., 2020. Laser - assisted Machining Operations.
- Wdiantoro, Heri, Ahmad Atif Fikri, Muslim Mahardika. 2014. Monitoring Keasuan Pahat Menggunakan Artificial Neural Networks Pada Proses Turning. *Prosiding Industrial Engineering National Conference (IENACO) 2014*, 248-256
- Venkatesan, K., 2018. Optimization of Surface Roughness and Power Consumption in laser-assisted machining of Inconel 718 by Taguchi based Response Surface Methodology. *Mater. Today Proc.* 5, 11326–11335. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.099>
- Wang, X., Feng, C.X., 2002. Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 20, 348–356. <https://doi.org/10.1007/s001700200162>
- Xavierarockiaraj, S., Kuppan, P., 2018. Influence of Process Parameters on Surface Temperature during Laser Assisted Preheating of SKD 11 Steel based on Response Surface Methodology. *Mater. Today Proc.* 5, 13451–13458. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.339>
- Yanis, M, et al. 2019. Application of RSM and ANN in Predicting Surface Roughness for Side Milling Process Under Environmentally Friendly Cutting Fluid. *Journal of Physics: Conf. Series* 1198 (2019)042016. doi: 10.1088/1742-6596/1198/4/042016

