

Optimalisasi Parameter Mesin *CNC Milling 3 Axis* terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan *Response Surface Methodology*

Muhammad Aziz^{1*}, Rahayu Saraswati²

Universitas W.R. Supratman

Corresponding Author: Muhammad Aziz azizforever928@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: CNC, Milling 3 Axis, Parameter

Received : 25 Agustus

Revised : 05 September

Accepted: 11 September

©2022 Aziz, Saraswati: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Dalam menentukan variabel pada proses permesinan merupakan hal yang tepat untuk mencapai respon yang optimum dengan waktu yang efektif. Optimalisasi parameter CNC *milling 3 axis* dilakukan dengan tujuan memperoleh waktu proses produksi. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan hubungan dari parameter proses permesinan CNC *milling* terhadap waktu proses produksi. Parameter proses permesinan yang divariasikan adalah *cutting speed* dan *depth of cut*. Rancangan percobaan dilakukan dengan metode respon *surfacedengan* desain eksperimen *central composite design (CCD)*. Percobaan dilakukan sebanyak 13 eksperimen dengan 2 variabel yaitu *cutting speed* dan *depth of cut* untuk mendapatkan data yang kemudian diolah menggunakan *software minitab*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa *cutting speed* dan *depth of cut* memberikan pengaruh terhadap waktu proses produksi produk bracket pada pemrograman CNC *milling 3 axis*. Untuk menghasilkan waktu serta kualitas yang optimum dengan variasi *cutting speed* 252.1427mm/menit, dengan setingan *depth of cut* 0.9357mm, serta waktu tercepat 2.5792² menit.

PENDAHULUAN

Penggunaan mesin CNC semakin banyak dijumpai dalam industri manufaktur, salah satunya CNC *milling*. Proses permesinan pada CNC *milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi proses permesinan adalah *cutting speed* (putaran motor dan diameter alat potong) dan *depth of cut* (kedalaman pemakanan). Pemilihan parameter pemotongan yang tepat akan menghasilkan kualitas produk yang baik serta proses yang ekonomis dan produktif, sehingga kuantitas produk yang dihasilkan optimal. Oleh karena itu, perlu diperhatikan untuk mendapatkan waktu yang optimal. CV. XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang manufacture. Metode yang digunakan dalam pembuatan bracket telah memanfaatkan teknologi CAD & CAM mulai dari proses desain sampai pada proses permesinan menggunakan mesin CNC *milling*. Proses produksi *bracket* di CV. XYZ dituntut untuk selalu memenuhi permintaan *customer* dengan biaya yang murah dan waktu produksi yang minimum. Proses *manufacturing* yang selama ini berjalan sudah baik, tetapi untuk meningkatkan pelayanan maka perlu dilakukan peningkatan efisiensi waktu. Langkah tersebut difokuskan pada optimasi parameter permesinan proses *machining* karena waktu yang dihasilkan pada proses *machining* terlalu lama dan memungkinkan untuk dilakukan efisiensi.

Permasalahan pada *machining bracket* menghasilkan total waktu proses *machining* menggunakan program CNC dengan *cutting speed* 200 m/menit dan *depth of cut* 2 mm adalah 7 menit 20 detik. Sedangkan pada *Bracket Cost Planning* (BCP), waktu yang dibutuhkan untuk proses *machining* menggunakan program CNC adalah 5 menit 30 detik. Dari data di atas dapat diketahui bahwa proses *machining* terjadi kelebihan waktu proses 2 menit 10 detik. Untuk mendapat hasil yang maksimum dan dapat memberikan gambaran kuantitatif yaitu metode *respon surface*. Metode *respon surface* adalah sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisa permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan bertujuan untuk mengoptimalkan respon.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut perlu adanya penelitian menggunakan metode *respon surface* yang nantinya dapat melakukan variasi parameter permesinan untuk menghasilkan waktu proses yang optimal pada pemrograman CNC *milling* 3 axis. Dengan penerapan metode *respon surface* nantinya dapat dihasilkan kombinasi faktor optimal untuk proses *machining* menggunakan mesin CNC *milling* 3 axis

TINJAUAN PUSTAKA

1. Mesin CNC Milling 3 Axis

Menurut Siswoko (2019) Mesin Frais CNC (*Computer Numerical Control*) adalah sebuah perangkat mesin perkakas jenis *frais/milling* yang dikendalikan dengan sistem komputer dengan gerak otomatis yang dikontrol atau diprogram dengan bahasa *numeric*. Mesin *milling* CNC sering digambarkan sebagai urutan pergerakan dari sumbu-sumbu. Mesin *milling 3-axis* mampu menggerakkan alat potong kedalam tiga arah secara relatif ke benda kerja (Abram Tangkemanda, 2008).

2. Proses Freis (Milling)

Dalam mesin *milling* pada umumnya terdapat tiga pergerakan meja *horizontal*, menyilang dan *vertical*. Prinsip Kerja mesin *milling* yaitu tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindel* mesin *milling*. *Spindel* mesin *milling* adalah bagian dari sistem utama mesin *milling* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan.

3. Parameter Permesinan

Parameter proses permesinan *milling* adalah, dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menentukan perhitungan perhitungan dalam proses pemotongan/penyayatan permesinan *milling* diantaranya, kecepatan potong (V_c), kecepatan putaran mesin (rpm), kecepatan pemakanan (V_f) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*).

4. Kecepatan potong (Cutting speed - C_s)

Kecepatan potong (C_s) adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang/waktu (meter/menit atau *feet*/menit).

$$C_s = \pi \cdot d \cdot n ; \text{Meter/menit} \quad (4.1)$$

Dengan

d = diameter benda kerja (mm)

n = putaran mesin/benda kerja (putaran/menit - Rpm)

π = nilai konstanta = 3,14

Tabel 1. Kecepatan Potong Sesuai Bahan

Bahan	Pahat Bubut HSS		Pahat Bubut Karbida	
	m/min	Ft/min	M/min	Ft/min
Baja lunak (<i>Mild Steel</i>)	18 - 21	60 - 70	30 - 250	100 - 800
Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>)	14 - 17	45 - 55	45 - 150	150 - 500
Perunggu	21 - 24	70 - 80	90 - 200	300 - 700
Tembaga	45 - 90	150 - 300	150 - 450	500 - 1500
Kuningan	30 - 120	100 - 400	120 - 300	400 - 1000
Aluminium	90 - 150	300 - 500	90 - 180	a.- 600

Sumber : (Kristianto H, 2015)

5. Kedalaman Pemakanan (Depth Of Cut)

Tebal pemakanan dapat dipilih berdasarkan bahan benda kerja, pisau yang digunakan, mesin, sistem pencekaman, dan kecepatan potong.

$a = L_o - L_i$ (mm)

Keterangan:

a = kedalaman pemakanan (mm)

L_o = ukuran atau panjang awal (mm)

L_i = ukuran atau panjang akhir (mm)

6. *Response Surface Methodology (RMS)*

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sebuah kumpulan matematik dan teknik statistik yang digunakan untuk modeling dan analisa masalah dimana sebuah respon terpengaruh oleh beberapa variabel dengan tujuan untuk mengoptimisasi sebuah respon (Montgomery, 2001 : 427). RSM merupakan metode optimisasi, yaitu mengatur nilai variabel bebas atau faktor agar diperoleh nilai respon optimum, yaitu tertinggi atau terendah (Myers et. al, 2009). Hubungan antara respon y dan variabel bebas x adalah :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon$$

Dengan :

Y = variabel respon

X_i = variabel bebas/ faktor ($i = 1, 2, 3, \dots, k$)

ε = error

Respon surface berorde satu membutuhkan unit percobaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan *response surface* berorde dua yaitu 2 percobaan yang menyatakan banyaknya faktor perlakuan. Pada *respon surface* berorde dua, rancangan percobaan dilakukan dengan menggunakan *central composite design (CCD)* dan *Box - behken design (BBD)*. Dimana keduanya memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan 2^k faktorial.

Rancangan Percobaan Orde Pertama

Pada percobaan orde pertama, menemukan hubungan antara respon y dan faktor x melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan first-order model (model orde I):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i$$

7. Rancangan Percobaan Orde Dua

Model orde kedua adalah persamaan polinomial yang memiliki bentuk kuadrat biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik. Bentuk umum dari model orde kedua adalah sebagai berikut (Draper et. al, 1992)

Central composite design (CCD) yaitu suatu rancangan percobaan dengan faktor yang terdiri dari dua level yang diperbesar titik-titik lebih lanjut yang memberikan pengaruh kuadratik. Biasanya CCD terdiri dari (Montgomery, 2001 : 456) faktorial $2k$ atau faktorial fraksional resolusi V dengan banyaknya percobaan.

8. Prediksi Titik Stasioner (*Stationery Point*)

Titik stasioner adalah sebuah titik level faktor dan respon dalam kondisi optimum. Titik stasioner dapat berupa maksimum, minimum, atau pelana (*saddle point*). Titik stasioner dapat ditentukan dari model orde kedua yang telah sesuai (tidak ada *lack of fit*). Dengan cara mendiferensialkan persamaan dan diperoleh titik stasioner (x_s, y_s).

9. Uji Ketidaksesuaian Model (*Uji lack of Fit*)

Apabila *lack of fit* tidak bermakna, maka model tepat. Apabila *lack of fit* bermakna, maka model tidak tepat sehingga perlu dikembangkan menjadi model dengan orde yang lebih tinggi, yaitu orde ke-2. *Uji lack of fit* didasarkan pada analisis varian dengan hipotesis sebagai berikut (Mason, dkk, 2003) :

H_0 : model regresi cocok (tidak ada *lack of fit*)

H_1 : model regresi tidak cocok (ada *lack of fit*)

METODOLOGI

1. Jenis dan Variabel Riset/Penelitian

Jenis data penelitian menggunakan data sekunder yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Data katalog permesinan milling
Data katalog berisikan tabel data variabel *cutting speed* untuk beberapa jenis bahan yang digunakan pada CV. XYZ.
2. Data standar parameter CAD/CAM
Data standar berisikan data variabel *cutting speed* dan *depth of cut* yang digunakan oleh programmer untuk mendesain parameter permesinan CNC Milling pada CV. XYZ.

2. Tahapan Riset/Penelitian

Tahap riset/penelitian difokuskan pada pemahaman kondisi permasalahan yang ada pada waktu proses machining CNC Milling dengan melakukan observasi secara langsung di Departement Tooling CV. XYZ.

3. Sumber Data/Informan

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Departemen Tooling CV. XYZ dan studi pustaka yang bersumber dari buku, jurnal dan skripsi tentang optimasi parameter permesinan untuk memperoleh teori-teori yang dapat mendukung penelitian yang dilakukan.

4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode observasi atau pengamatan. Pengamatan akan dilakukan pada departemen produksi di CV. XYZ, bertujuan untuk pengumpulan data yang berkaitan dengan optimasi parameter permesinan.

5. Analisa dan Pengolahan Data

Metode yang digunakan pada tahap ini yaitu metode respon surface (RSM) dan pengolahan menggunakan software minitab untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi waktu proses produksi. Pada tahap ini juga digunakan untuk mengetahui waktu optimum yang digunakan dalam proses produksi.

HASIL PENELITIAN

1. Data Standar Parameter CAD/CAM

Data sekunder lain yang digunakan pada penelitian ini berupa data hasil eksperimen. Variabel dalam proses permesinan ini menggunakan 2 variabel bebas yaitu *cutting speed* dengan notasi X_1 yang merupakan kecepatan potong dalam proses permesinan dan *depth of cut* dengan notasi X_2 yang merupakan kedalaman pemotongan dalam proses permesinan. Bahan yang digunakan pada CV. XYZ merupakan alumunium, besi S45C, dan besi ST60.

Tabel 2. Data Standart Parameter

No.	Bahan	Cutting Speed (m/menit)	Depth of Cut (mm)
1	Alumunium	350	1
2	Besi S45C	170	0,5
3	Besi ST60	150	0,5

2. Pemilihan Level Parameter CAM

level parameter permesinan harus disesuaikan karakteristik bahan dan alat potong. Bahan dalam pengujian (*raw material*) menggunakan alumunium di CV. XYZ. Dalam penelitian ini menggunakan 2 variabel bebas yaitu cutting speed dan depth of cut. Sedangkan untuk level parameter menggunakan 3 variasi level, dimana baris merupakan variabel bebas yang dapat diubah dalam eksperimen dan kolom merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen.

Tabel 3. Data Level Parameter

No.	Parameter	Cutting Speed (m/menit)	Depth of Cut (mm)
1	Low	150	0,5
2	Medium	250	1
3	High	400	1,5

3. Optimasi Proses Produksi dengan Metode Respon Surface

Dalam penelitian ini menggunakan desain eksperimen *metode respon surfacedengan* CCD (*Central Composite Design*). Berdasarkan rancangan *central composite design* (CCD) yang disusun menggunakan rancangan orde pertama ditambah empat *axial point*, maka didapatkan *test run* yang dilakukan yaitu sebanyak 13 eksperimen berdasarkan ketersediaan material diperusahaan dengan variabel terikat yaitu waktu proses dimana waktu proses menjadi waktu aktual dalam proses kerja pada mesin *CNC milling*. Sedangkan 2 variabel bebas yang digunakan yaitu *cutting speed* dan *depth of cut*. Setiap variabel memiliki 3 level parameter yaitu *low*, *medium*, dan *high*. Setiap desain dilakukan pengambilan data lama produksi/unit untuk mengukur waktu produksi setiap unit barang pada setiap eksperimen. Setelah seluruh nilai variabel respon terpenuhi, selanjutnya data tersebut diolah menggunakan *software minitab*.

Tabel 4. Desain Eksperimen

Eksperimen	Code Cutting Speed	Code Depth of Cut	Cutting Speed (m/menit)	Depth of Cut (mm)	Lama Produksi / Unit
1	0	-1,41421	250	0,29289	10,15
2	0	0	250	1	3,9
3	0	0	250	1	3,7
4	-1	-1	100	0,5	15,11
5	0	0	250	1	5
6	0	0	250	1	4,2
7	-1,41421	0	37,86796564	1	25,27
8	-1	1	100	1,5	53,6
9	0	1,414214	250	1,70711	18,51
10	0	0	250	1	4,6
11	1	-1	400	0,5	35,57
12	1,414214	0	462,1320344	1	16,5
13	1	1	400	1,5	13,17

Hasil optimasi menggunakan *central composite design* yaitu parameter yang tepat untuk menghasilkan waktu proses optimal dengan menentukan *cutting speed* dan *depth of cut*.

Analysis of Variance for y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	38.4013	38.4013	7.6803	22.70	0.000
Linear	2	1.4571	1.9459	0.9730	2.88	0.123
Code CS	1	0.7286	1.8764	1.8764	5.55	0.051
Code Doc	1	0.7286	0.5684	0.5684	1.68	0.236
Square	2	24.6942	24.6942	12.3471	36.50	0.000
Code CS*Code CS	1	15.6931	18.6533	18.6533	55.14	0.000
Code Doc*Code Doc	1	9.0011	9.0011	9.0011	26.61	0.001
Interaction	1	12.2500	12.2500	12.2500	36.21	0.001
Code CS*Code Doc	1	12.2500	12.2500	12.2500	36.21	0.001
Residual Error	7	2.3679	2.3679	0.3383		
Lack-of-Fit	3	1.1679	1.1679	0.3893	1.30	0.390
Pure Error	4	1.2000	1.2000	0.3000		
Total	12	40.7692				

Gambar 1. Hasil Pengolahan Minitab

Setelah dilakukan olah *minitab*, maka didapatkan rumus regresi berdasarkan gambar 4.1 yaitu:

$$Y = 5,76469 - 0,01507 x \text{Cutting Speed} - 2,66311 x \text{DoC} + 0,00007 x \text{Cutting Speed}^2 + 4,55 x \text{DoC}^2 - 0,02333 x \text{Cutting Speed} x \text{Doc}$$

Berdasarkan rumus regresi tersebut maka selanjutnya dilakukan uji kecocokan model regresi apakah model yang dilakukan sudah sesuai atau tidak. Uji model dilakukan dengan ada atau tidaknya *lack of fit* dalam model. Daerah penolakan yaitu tolak H_0 apabila $P > \alpha$ dengan derajat signifikann $\alpha = 0,05$ yang berarti ketidaksesuaian antara model yang diduga dengan model sebenarnya.

Hipotesis yang digunakan dalam uji *lack of fit* adalah :

H_0 : tidak terdapat *lack of fit* (model sesuai)

H_1 : terdapat *lack of fit* (model tidak sesuai)

Tabel 5. Pengujian *Lack of Fit*

Sumber Variasi	Df	SS	MS	P
Regresi	5	38.4013	7.6803	0.0000
Residual	7	2.3679	0.3383	
<i>Lack of Fit</i>	3	1.1679	0.3893	0.390
<i>Pure Error</i>	4	1.2000	0.3000	
Total	12	40.7692		

$$\alpha = 0,05$$

Berdasarkan Tabel 4.5, diperoleh P value sebesar 0.390 yang berarti $0.390 > 0,05$, maka keputusannya tolak H_0 yang artinya tidak terdapat *lack of fit* (model telah sesuai) sehingga model memenuhi. Model yang dibuat telah sesuai dengan data dan model regresi sehingga dapat digunakan untuk menentukan titik optimum.

Estimated Regression Coefficients for Lama Produksi Masuk Minitab

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.76469	1.45928	3.950	0.006
Cutting Speed	-0.01507	0.00640	-2.355	0.051
Doc	-2.66311	2.05447	-1.296	0.236
Cutting Speed*Cutting Speed	0.00007	0.00001	7.426	0.000
Doc*Doc	4.55000	0.88206	5.158	0.001
Cutting Speed*Doc	-0.02333	0.00388	-6.018	0.001

S = 0.581610 PRESS = 10.1800
R-Sq = 94.19% R-Sq(pred) = 75.03% R-Sq(adj) = 90.04%

Gambar 2. Hasil Pengolahan Minitab

Setelah dilakukan uji *lack of fit*, kemudian dilakukan uji koefisien parameter secara individual untuk menguji regresi Y_i pada parameter variabel bebas X_i tertentu, bila parameter X_i dianggap konstan.

Hipotesis yang digunakan dalam uji individual yaitu :

$H_0: \beta_i = 0$; faktor tidak berpengaruh terhadap respon

$H_1: \beta_i \neq 0$; faktor berpengaruh terhadap respon

$i = 1,2$

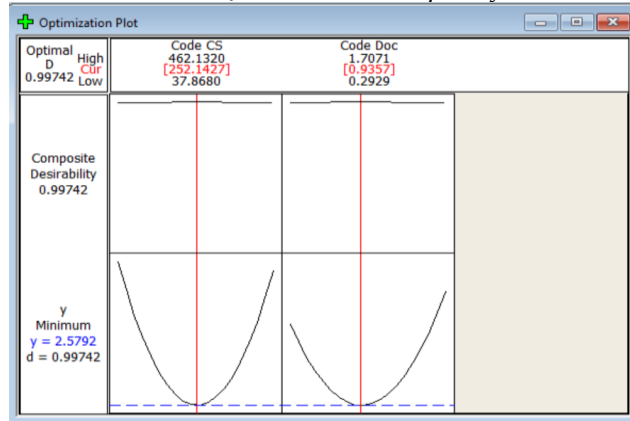
Tabel 6. Pengujian Uji Individu

Variabel	Coef	SE Coef	T	P	Kesimpulan
X_1	-0.01507	0.00640	-2.355	0.051	Tidak signifikan
X_2	-2.66311	2.05447	-1.296	0.236	Tidak signifikan
X_1^2	0.00007	0.00001	7.426	0.000	Signifikan
X_2^2	4.55000	0.88206	5.158	0.001	Signifikan
X_1X_2	-0.02333	0.00388	-6.018	0.001	Signifikan

$$\alpha = 0,05$$

4. Setting Variabel Optimal

Dalam penelitian ini penentuan kondisi optimal dilakukan menggunakan *software minitab* berdasarkan hasil dari nilai mean level dari masing-masing desain. Sehingga dapat diketahui parameter permesinan yang optimal dengan kondisi *cutting speed* 252.1427mm/menit dan *depth of cut* 0.9357mm



Gambar 3. Hasil Set Optimum

PEMBAHASAN

Riset penelitian ini nunjukkan hasil *level setting* optimum yang diperoleh. Hal ini berarti kombinasi komposisi *level setting* tersebut adalah paling optimal, dimana *desireability* semakin mendekati angka 1 maka solusi semakin optimal. Kondisi optimal dalam penelitian ini dilihat berdasarkan dari lamanya waktu yang ditempuh dalam proses permesinannya. Hasil menunjukkan bahwa model yang di dapatkan sudah dapat diterima dan dapat memberikan respon optimal pada respon yang diinginkan.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada optimasiasi parameter CNC *milling 3 axis* terhadap waktu produksi dengan menggunakan *respon surface methodology*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Cutting speed* berpengaruh terhadap waktu proses produk bracket pada pemrograman CNC *milling 3*.
2. *Depth of cut* berpengaruh terhadap waktu proses bracket pada pemrograman CNC *milling 3 axis*.
3. Waktu proses permesinan optimal yang dihasilkan dari ekperimen yaitu 2.5792²menit dengan kombinasi optimum *depth of cut* sebesar 0.9357mm dan *cutting speed* 252.1427mm/menit.

PENELITIAN LANJUTAN

Adapun saran yang dapat diberikan bagi peneliti maupun bagi peneliti yang melakukan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan penambahan variabel respon lainnya seperti biaya penelitian.

2. Pada penelitian ini dapat dilakukan pengembangan dengan menggunakan software CAD/CAM yang lain.
3. Pada penelitian ini masih dapat ditambahkan parameter lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Bapak Dr. H. Bachrul Amiq, SH., MH. selaku Rektor Universitas WR. Supratman Surabaya. yang telah menyetujui untuk melakukan Riset Mandiri.
2. Ibu Rini Oktavera, ST., MMT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas WR. Supratman Surabaya. yang telah memberikan ijin untuk melakukan Riset Mandiri.
3. Ibu Dr. Rahayu Saraswati, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bantuan moril, saran serta gagasan-gagasan sampai terselesainya proposal riset mandiri ini.
4. Ibu I.G.A Sri Deviyanti, ST., MT. selaku Ketua Prodi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas WR. Supratman Surabaya.
5. Orang tua dan Keluarga yang senantiasa memberikan dorongan, semangat dan doa hingga terselesaikannya laporan penelitian ini.
6. Teman-teman Teknik Industri khususnya angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penulisan laporan penelitian ini.
7. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis, yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan laporan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Sumbodo, Wirawan. (2008). Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2. Jakarta: Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan. Widarto, dkk. 2008. Teknik Pemesinan Jilid 1. Jak
- Tangkemanda, Abram. (2008). Perancangan Skema Pergerakan Mesin 5-Axis Untuk Menghindari Collision (Doctoral dissertation, Universitas Indonesia).
- Rochim, Taufiq. (1985). Teknologi Proses Pemesinan I, Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, ITB. Bandung.
- Kristanto H. (2015). *Parameter Pemotongan pada Proses Pembubutan*. Diklat Interaksi Online.
- Rahdiyanta, D. (2010). Buku 3 Proses Frais (Milling). Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Abbas, H., et al. (2013). Pengaruh parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan Milling Terhadap Getaran dan Tingkat Kekasaran Permukaan (Surface Roughness). Proceeding SNTTM XII & Lomba Rancang Bangun Mesin Universitas Lampung.
- Yudhyadi, I. G., Rachmanto, T., & Ramadan, A. D. (2016). Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Waktu Proses Pada Pemrograman CNC Milling dengan Berbasis CAD/CAM. *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, 6(1).
- Montgomery, D.C. (2001). Design and Analysis of Experimental. John Wiley & sons, Inc. New York.
- Myers, et al. (2009). Response Surface Methodology : Process and Product Optimization Using Designed Experiments - 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA
- Fitria, N. (2015). Optimalisasi Parameter Regresi Response Surface Methodology Dalam Laba Usaha Pedagang Buah dan Aplikasinya Menggunakan Matlab. Semarang.
- Bradley, N. (2007). The Response Surface Methodology. Master's Thesis Department of Mathematical Sciences Indiana University of South Bend.
- Draper, et al. (1992). Analisis Regresi Terapan. Ed ke-2. Gramedia. Jakarta.

- Octaviani, M. A., Dewi, D. R. S., & Asrini, L. J. (2017). Optimasi Faktor yang Berpengaruh pada Kualitas Lilin di UD. X dengan Metode Response Surface. *Widya Teknik*, 16(1), 29-38.
- Sembiring, R., K. (2003). Analisis Regresi Edisi Kedua. Bandung : ITB.
- Widarto. (2008). Teknik Pemesinan Jilid 1, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Ariyanto, N. (2018). Optimasi Parameter Permesinan Pemrograman Cnc Milling Terhadap Waktu Proses Untuk Meningkatkan Efisiensi Di Pt. Mekar Armada Jaya (Doctoral dissertation, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Magelang).
- Egi Endrian, E. (2021). Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses Cnc Milling Baja Aisi 1045 Menggunakan Metode Respon Surface (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Purharyono, Y. (2018). Penentuan Kondisi Parameter Pemotongan Yang Optimal Pada Proses Manufaktur Insole Dengan Pendekatan Metode Respon Permukaan (Doctoral dissertation, UAJY).