

**PENENTUAN KONDISI PARAMETER PEMOTONGAN YANG  
OPTIMAL PADA PROSES MANUFAKTUR *INSOLE*  
DENGAN PENDEKATAN METODE RESPON PERMUKAAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



**YOSEP PURHARYONO**

**13 06 07511**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir berjudul

**Penentuan Kondisi Parameter Pemotongan yang Optimal  
pada Proses Manufaktur *Insole* dengan Pendekatan  
Metode Respon Permukaan**

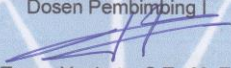
yang disusun oleh

**Yosep Purharyono**

13 06 07511

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 4 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

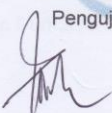
  
A. Tonny Yuniarto, S.T., M. Eng.

Tim Penguji,


Penguji 1,

  
A. Tonny Yuniarto, S.T., M. Eng.

Penguji 2,

  
Dr. A. Teguh Siswanto, M. Sc.

Penguji 3,


  
Kristanto Agung Nugroho, S.T., M.Sc.

Yogyakarta, 4 Januari 2018

Universitas Atma Jaya Yogyakarta,

Fakultas Teknologi Industri,

Dekan,

  
Dr. A. Teguh Siswanto, M. Sc.

## PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yosep Purharyono

NPM : 13 06 07511

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul "Penentuan Kondisi Parameter Pemotongan yang Optimal pada Proses Manufaktur *Insole* dengan Pendekatan Metode Respon Permukaan" merupakan hasil penelitian saya semester genap Tahun Akademik 2017/2018 yang bersifat original dan tidak mengandung *plagiasi* dari karya manapun.

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar – benarnya.

Yogyakarta, 4 Januari 2018

Yang menyatakan,



Yosep Purharyono

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat kasih karunia-Nya, penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penyusunan, pelaksanaan dan selesainya Tugas Akhir ini tidaklah lepas dari bantuan oleh beberapa pihak, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orangtua dan keluarga penulis yang selalu memberikan kritikan, arahan, saran, bimbingan dan dorongan untuk selalu tekun dan bersemangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Drs. A. Teguh Siswanto, M.Sc. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak V. Ariyono, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak Tonny Yuniarto S.T., M.Eng. selaku pembimbing utama dan Kepala Laboratorium Proses Produksi Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah membimbing, memberikan kritik dan saran yang membangun dalam pengerjaan hingga penyelesaian Tugas Akhir serta sebagai penyedia fasilitas.
5. Bapak Paulus Wisnu Anggoro, S.T., M.T. atas kesediaannya untuk menjadi pembimbing informal yang selama ini selalu memberikan arahan, pandangan, informasi, dan saran yang membangun dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Ibu Deny Ratna Yuniartha, S.T., M.T. atas bimbingannya selama perkuliahan.
7. Bapak K. Budi Purwanto selaku laboran di Laboratorium Proses Produksi yang sudah memberikan bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Abed Adhy Anthony, Jati Wibowo, dan Surya Adi Pradipta atas kesediaannya membantu dalam pengambilan data dan pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Arsenio Reinhard, Berto Honoris, Fidelis Aldo, Gede Prana, Gilbert Dear, Ifer Maanary, Reyndra Perkasa, Syah Nianjaya, dan Victor Cendy atas waktu

berharga mereka yang telah terbuang percuma bersama penulis, tetapi tanpa mereka perkuliahan akan sangat membosankan.

10. Alexandra Elbakyan atas penemuannya sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai.

11. Banyak pihak yang berhubungan dan tidak dapat disebutkan semuanya.

Akhir kata penulis mengharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi orang lain dan diharapkan untuk memberikan saran agar laporan ini dapat menjadi lebih baik untuk kedepannya.

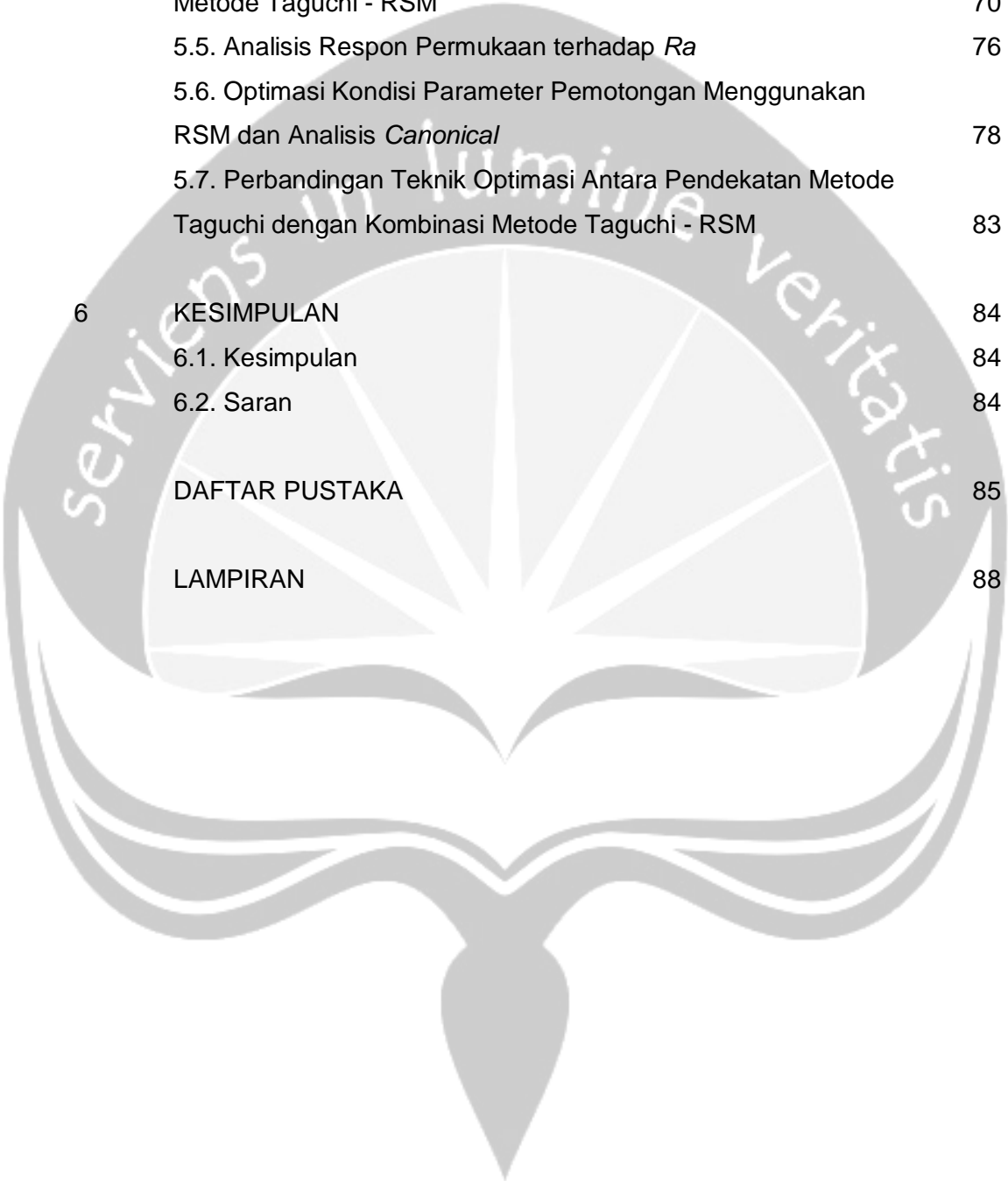
Yogyakarta, Desember 2017

Yosep Purharyono



## DAFTAR ISI

|     |  |      |
|-----|--|------|
| BAB | JUDUL  |      |
|     | HALAMAN JUDUL  | i    |
|     | HALAMAN PENGESAHAN   | ii   |
|     | PERNYATAAN ORIGINALITAS  | iii  |
|     | KATA PENGANTAR   | iv   |
|     | DAFTAR ISI   | vi   |
|     | DAFTAR GAMBAR  | viii |
|     | DAFTAR TABEL   | xi   |
|     | DAFTAR SINGKATAN   | xii  |
|     | INTISARI   | xiii |
| 1   | PENDAHULUAN  | 1    |
|     | 1.1. Latar Belakang  | 1    |
|     | 1.2. Rumusan Masalah   | 2    |
|     | 1.3. Tujuan  | 3    |
|     | 1.4. Batasan Penelitian  | 3    |
| 2   | TINJAUAN PUSTAKA   | 4    |
|     | 2.1. Penelitian Terdahulu  | 4    |
|     | 2.2. Penelitian Sekarang   | 10   |
|     | 2.3. Dasar Teori   | 11   |
| 3   | METODOLOGI PENELITIAN  | 19   |
|     | 3.1. Alat dan Bahan  | 19   |
|     | 3.2. Metodologi Penelitian   | 19   |
| 4   | DATA dan PENGOLAHAN Data   | 23   |
|     | 4.1. Data  | 23   |
|     | 4.2. Pengolahan Data   | 32   |
| 5   | ANALISIS DAN PEMBAHASAN  | 63   |
|     | 5.1. Pengaruh Faktor - faktor Kondisi Parameter Pemotongan terhadap Respon | 63   |



|  |    |
|--|----|
| 5.2. <i>Orthogonal Array Taguchi Design</i>  | 63 |
| 5.3. Optimasi Kondisi Parameter Pemotongan Menggunakan Pendekatan Metode Taguchi                         | 66 |
| 5.4. Pembentukan Model Menggunakan Pendekatan Kombinasi Metode Taguchi - RSM                             | 70 |
| 5.5. Analisis Respon Permukaan terhadap <i>Ra</i>  | 76 |
| 5.6. Optimasi Kondisi Parameter Pemotongan Menggunakan RSM dan Analisis <i>Canonical</i>                 | 78 |
| 5.7. Perbandingan Teknik Optimasi Antara Pendekatan Metode Taguchi dengan Kombinasi Metode Taguchi - RSM | 83 |
| 6 KESIMPULAN   | 84 |
| 6.1. Kesimpulan  | 84 |
| 6.2. Saran   | 84 |
| DAFTAR PUSTAKA   | 85 |
| LAMPIRAN   | 88 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian   | 22 |
| Gambar 4.1. Tampilan <i>Software</i> Minitab 14   | 23 |
| Gambar 4.2. Tampilan <i>Software</i> PowerMill 2016   | 24 |
| Gambar 4.3. Tampilan <i>Software</i> Microsoft Excel 2010   | 25 |
| Gambar 4.4. Tampilan <i>Software</i> Matlab R2016a  | 26 |
| Gambar 4.5. Tampilan <i>Software</i> Microsoft Word 2010  | 26 |
| Gambar 4.6. Mesin CNC Roland Modela MDX – 40R   | 27 |
| Gambar 4.7. MarSurf PS1   | 28 |
| Gambar 4.8. Spesifikasi Komputer yang Dipasang <i>Software</i> PowerMill 2016, Minitab 14, Microsoft Excel 2010, Matlab R2016a, dan Microsoft Word 2015                   | 29 |
| Gambar 4.9. Spesifikasi Kartu Grafis pada Komputer yang Dipasang <i>software</i> PowerMill 2016, Minitab 14, Microsoft Excel 2010, Matlab R2016a, dan Microsoft Word 2010 | 29 |
| Gambar 4.10. EVA <i>foam</i> jenis X  | 30 |
| Gambar 4.11. EVA <i>foam</i> jenis Y  | 30 |
| Gambar 4.12. Kurva <i>Main Effects Plot for Means</i>   | 33 |
| Gambar 4.13. Kurva <i>Main Effects Plot for SN Ratios</i>   | 34 |
| Gambar 4.14. <i>Probability Plot of Residual</i>  | 45 |
| Gambar 4.15. Scatterplot <i>Residual vs Ra</i> Perhitungan  | 46 |
| Gambar 4.16. <i>Residual vs the Order of the Data</i>   | 46 |
| Gambar 4.17. Scatterplot <i>Ra</i> Perhitungan vs <i>Ra</i> Eksperimen  | 47 |
| Gambar 4.18. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Spindle Speed</i> , Jenis Material   | 48 |
| Gambar 4.19. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Step Over</i> , Jenis Material   | 48 |
| Gambar 4.20. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Feed Rate</i> , Jenis Material   | 49 |
| Gambar 4.21. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Toolpath Strategy</i> , Jenis Material   | 49 |
| Gambar 4.22. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Step Over, Spindle Speed</i>   | 50 |
| Gambar 4.23. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot Ra vs Feed Rate, Spindle Speed</i>   | 50 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.24. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i> $R_a$ vs <i>Toolpath Strategy</i> ,<br><i>Spindle Speed</i>               | 51 |
| Gambar 4.25. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i> $R_a$ vs <i>Feed Rate</i> , <i>Step Over</i>                              | 51 |
| Gambar 4.26. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i> $R_a$ vs <i>Toolpath Strategy</i> ,<br><i>Step Over</i>                   | 52 |
| Gambar 4.27. <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i> $R_a$ vs <i>Toolpath Strategy</i> ,<br><i>Feed Rate</i>                   | 52 |
| Gambar 4.28. Optimasi dengan <i>Desirability Function Analysis</i>   | 62 |
| Gambar 5.1. Perintah Pembentukan Taguchi <i>Design</i> pada<br><i>Software Minitab 14</i>  | 64 |
| Gambar 5.2. Perintah Pemilihan Level dan Faktor pada<br><i>Software Minitab 14</i>   | 65 |
| Gambar 5.3. Perintah Pemilihan <i>Orthogonal Array</i> pada <i>Software Minitab 14</i>   | 65 |
| Gambar 5.4. Hasil <i>Orthogonal Array</i> $L_{18} 2 \times 3^4$ pada <i>Software Minitab 14</i>                                    | 66 |
| Gambar 5.5. Hasil Memasukkan <i>Design</i> Ekperimen dan Respon pada<br><i>Software Minitab 14</i>                                 | 67 |
| Gambar 5.6. Perintah Analisis Taguchi <i>Design</i> pada <i>Software Minitab 14</i>  | 67 |
| Gambar 5.7. Perintah Pemilihan Respon pada <i>Software Minitab 14</i>  | 68 |
| Gambar 5.8. Perintah Pemilihan Kategori Optimasi pada <i>Software Minitab 14</i>   | 68 |
| Gambar 5.9. Hasil Analisis Taguchi <i>Design</i> pada <i>Software Minitab 14</i>   | 69 |
| Gambar 5.10. Matriks $X^T X$ pada <i>Spead Sheet Software</i> Microsoft Excel 2010   | 71 |
| Gambar 5.11. Matriks Identitas pada <i>Spead Sheet Software</i><br>Microsoft Excel 2010  | 71 |
| Gambar 5.12. Hasil Transformasi Elemen Satu Baris Satu Menjadi<br>Angka Satu pada <i>Spead Sheet Software</i> Microsoft Excel 2010 | 72 |
| Gambar 5.13. Hasil Transformasi Elemen Satu Baris Satu Menjadi Satu Utama<br>pada <i>Spead Sheet Software</i> Microsoft Excel 2010 | 72 |
| Gambar 5.14. Hasil Transformasi Matriks $X^T X$ Menjadi Matriks Identitas<br>pada <i>Spead Sheet Software</i> Microsoft Excel 2010 | 73 |
| Gambar 5.15. Hasil Invers Matriks $X^T X$ pada <i>Spead Sheet Software</i><br>Microsoft Excel 2010                                 | 73 |
| Gambar 5.16. Hasil Memasukkan Matriks $B$ ke <i>variable</i> pada <i>Software</i><br>Matlab R2016a                                 | 79 |
| Gambar 5.17. Perintah Menghitung Nilai Eigen Matriks $B$ pada <i>Software</i><br>Matlab R2016a                                     | 80 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1. Sifat EVA <i>Foam</i> Jenis X dan Y   | 12 |
| Tabel 4.1. <i>Orthogonal Array</i> $L_{18} 2 \times 3^4$ Taguchi   | 31 |
| Tabel 4.2. Hasil Pengkodean <i>Orthogonal Array</i> $L_{18} 2 \times 3^4$ Taguchi                                | 32 |
| Tabel 4.3. Hasil ANOVA untuk <i>Ra</i>   | 32 |
| Tabel 4.4. Tabel Respon <i>Means and Signal to Noise Ratios</i>  | 34 |
| Tabel 4.5. Hasil Perbandingan <i>Confirmatory Experiment</i> dengan Hasil Perhitungan Menggunakan Metode Taguchi | 36 |
| Tabel 4.6. Variabel Kuadrat dan Interaksi antar Faktor   | 37 |
| Tabel 4.7. Hasil Uji ANOVA untuk Model Regresi Ordo – Dua  | 43 |
| Tabel 4.8. <i>Residual Model</i>   | 44 |
| Tabel 4.9. Hasil Eksplorasi Analisis <i>Canonical</i>  | 54 |
| Tabel 4.10. Hasil Transformasi Analisis <i>Canonical</i>   | 56 |
| Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Nilai <i>R</i> untuk Eksperimen  | 57 |
| Tabel 4.12. Hasil Perhitungan nilai <i>R</i> dan <i>q</i> Hasil Analisis <i>Canonical</i>                        | 59 |
| Tabel 4.13. Penentuan Titik Optimal  | 60 |
| Tabel 4.14. Batas – batas Pemilihan Titik Baru   | 60 |
| Tabel 4.15. Pemilihan Titik Baru   | 61 |
| Tabel 4.16. Hasil Pemilihan Titik Baru   | 61 |
| Tabel 4.17. Perbandingan <i>Confirmatory Experiment</i> dengan Hasil Perhitungan Menggunakan Metode Taguchi-RSM  | 62 |
| Tabel 4.18. Perbandingan Pendekatan Metode Taguchi dan Kombinasi Metode Taguchi-RSM                              | 62 |

## DAFTAR SINGKATAN



|      |   |
|------|---|
| ASME | = <i>American Society of Mechanical Engineers</i> |
| CAM  | = <i>Computer Aided Manufacturing</i>             |
| CI   | = <i>Confidence Interval</i>                      |
| CNC  | = <i>Computer Numerical Control</i>               |
| CS   | = <i>Carbon Steel</i>                             |
| DFA  | = <i>Desirability Function Analysis</i>           |
| DOE  | = <i>Design of Experiments</i>                    |
| DSS  | = <i>Duplex Stainless Steel</i>                   |
| EVA  | = <i>Ethylene Vinyl Acetate</i>                   |
| GA   | = <i>Genetic Algorithm</i>                        |
| ISO  | = <i>Insole Shoe Orthotic</i>                     |
| MQL  | = <i>Minimum Quantity Lubrication</i>             |
| OA   | = <i>Orthogonal Array</i>                         |
| PCD  | = <i>Polycrystalline Diamond</i>                  |
| RSM  | = <i>Response Surface Methodology</i>             |
| S/N  | = <i>Signal to Noise</i>                          |
| VA   | = <i>Vinyl Acetate</i>                            |

## INTISARI

Operasi *milling* CNC adalah operasi yang penting dalam perkembangan industri manufaktur saat ini. Hal ini karena operasi *milling* merupakan operasi pengelupasan benda kerja pada mesin perkakas yang paling sering digunakan di dunia industri. Kualitas suatu produk pada mesin *milling* ditentukan berdasarkan kualitas kekasaran permukaannya ( $Ra$ ). Kekasaran permukaan ini dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kondisi pemotongan dan ketidakteraturan proses permesinan. Agar produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, diperlukan kondisi parameter pemotongan yang optimal sehingga kekasaran permukaan yang dihasilkan bisa serendah mungkin.

Masalah pada saat melakukan optimasi kondisi parameter pemotongan adalah bagaimana mendapatkan cara sehingga respon yang diperoleh optimal. Kondisi parameter pemotongan yang optimal dapat diperoleh menggunakan teknik optimasi. Teknik optimasi adalah sebuah cara untuk mendapatkan hasil terbaik pada keadaan tertentu. Pendekatan metode statistik seperti *Design of Experiment* (DoE), metode Taguchi, atau *Response Surface Methodology* (RSM) adalah metode yang efisien untuk mendapatkan respon yang optimal.

Penelitian ini menerapkan pendekatan kombinasi metode Taguchi - RSM untuk mendapatkan kondisi parameter pemotongan yang optimal. *Design* eksperimen berdasarkan *orthogonal array* Taguchi *design*. Pemodelan dilakukan dengan model regresi ordo - dua. Optimasi model menerapkan analisis RSM.

Pada penelitian ini, didapatkan kondisi parameter pemotongan optimal sebagai berikut: *spindle speed* 12500 rpm; *step over* 0,15 mm; *feed rate* 850 mm/min; dan *toolpath strategy Raster 90* dengan menggunakan jenis material material X. Kondisi optimal tersebut berhasil mendapatkan nilai  $Ra$  sebesar 5,328  $\mu\text{m}$ .

Kata kunci : *milling* CNC, kekasaran permukaan, parameter pemotongan, metode Taguchi, dan *Response Surface Methodology* (RSM).