OPTIMASI SURFACE ROUGHNESS PADA OPERASI END MILLING

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri



oleh :

Nama : **Muhammad Agung Sumarno**
No. Mahasiswa : **03 522 005**

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGJAKARTA
2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Optimasi Surface Roughness Pada Operasi End Milling

TUGAS AKHIR

oleh:

Nama : **Muhammad Agung Sumarno**

No. Mahasiswa : **03 522 005**

Jogjakarta, Januari 2007

Pembimbing

Ir. R. Chairul Saleh, M.Sc, Ph.D

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

OPTIMASI SURFACE ROUGHNESS PADA OPERASI END MILLING

TUGAS AKHIR

oleh :

Nama : Muhammad Agung Sumarno
No. Mahasiswa : 03 522 005

Telah dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 31 Januari 2007

Tim Penguji

Ir.R. Chairul Saleh, M.Sc, Ph.D
Ketua

Ir. Sunaryo, MP
Anggota I

Agus Mansyur, ST, M.Eng.Sc
Anggota II

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. R. Chairul Saleh, M.Sc, Ph.D

HALAMAN PERSEMBAHAN



Kupersembahkan karya ini untuk Ayah dan Bundaku tercinta,
Kakak dan Adikku tersayang
Sahabat – sahabatku yang telah hadir dalam perjalanan hidupku
Serta Ayu Cindo yang telah menjadi inspirasi dan motivasiku.
Terima kasih untukmu atas pengertian dan perhatian yang telah
engkau berikan sampai saat ini.

MOTTO

" Dan bersama kesukaran pasti ada kemudahan. Karena itu bila selesai suatu tugas, mulailah tugas yang lain dengan sungguh – sungguh. Hanya kepada Tuhanmu hendaknya kau berharap "

(QS. Asy-Syarh : 6 – 8)

" Sungguh, Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sampai mereka sendiri mengubah dirinya "

(QS. Ar Ra'd : 11)

" Orang mukmin yang kuat lebih baik dan lebih dicintai Allah daripada orang mukmin yang lemah "

(H.R Muslim)

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah SWT dengan rahmat dan rahim-Nya yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga sampai saat ini masih pada kondisi iman dan Islam. Dan dengan rahmat-nya pula penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Sholawat dan salam kita haturkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW beserta para sahabat dan generasi penerus yang senantiasa mengikuti risalahnya sampai akhir zaman.

Tugas Akhir ini wajib ditempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Strata 1.

Kelancaran dalam mempersiapkan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis haturkan kepada :

1. Ayah Bunda serta kakak dan adik yang telah memberikan kasih sayang dan perhatiannya.
2. Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. R. Chairul Saleh, M.Sc, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia,

sekaligus Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

4. Teman - teman asisten di Laboratorium Sistem Manufaktur, khususnya Mas Bondan terimakasih atas diskusi dan masukan tentang CNC.
5. Semua pihak yang telah memberikan masukan, dorongan dan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal atas jasa – jasanya yang diberikan kepada penulis. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pembaca umumnya dan bagi penulis khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Januari 2007

Penulis

Abstraksi

Kualitas produk yang berhubungan dengan metal cutting ditentukan oleh keakuratan dan surface roughness. Nilai surface roughness ini dipengaruhi oleh variabel permesinan, sehingga untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan pengaturan variabel permesinan yang tepat. Operasi end milling CNC adalah proses metal cutting yang paling fundamental dalam industri manufaktur. Dengan metode DOE Taguchi, dapat digunakan untuk memprediksi nilai surface roughness yang optimal dengan cepat dan biaya yang rendah. Dari penghitungan diperoleh nilai *surface roughness optimal* adalah $2,9094 \times 10^{-1}$ μm dengan faktor level yang optimum untuk *depth cut (A2)= 1.25 mm, spindle speed (B3) = 3000 rpm, feed rate (C1) = 125 mmpm, tool diameter(D3) = 10 mm* dan terjadi peningkatan performa sebesar 12,24% dibanding dengan pengaturan sebelumnya.

FAK. TEKNOLOGI INDUSTRI
PERPUSTAKAAN
UII YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ii

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iii

PERSEMBAHAN iv

MOTTO v

KATA PENGANTAR vi

ABSTRAKSI viii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR GRAFIK xv

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II LANDASAN TEORI 6

2.1 Pendahuluan 6

2.2 Mesin CNC 7

2.3 Integrasi CAD-CAM-CNC 10

2.4 Proses Milling 11

2.5 Surface Roughness 13

2.5.1 Definisi Surface Roughness 13

2.5.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Surface Roughness ... 16

2.5.3 Parameter Surface Roughness 20

2.6 Design of Experiments (DOE) Taguchi 21

2.6.1 The Loss Function 22

2.6.2 Orthogonal Array dan Linier Graph 23

2.6.3 Robustness 25

2.7 Quality Engineering 27

2.7.1 On-Line Quality Engineering 28

2.7.2 Of-Line Quality Engineering 28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 30

3.1 Alur Penelitian 30

3.2 Studi Pustaka 31

3.3 Penentuan Obyek Penelitian 31

3.4 Identifikasi dan Peumusan Masalah 31

3.5 Pengumpulan Data 32

3.6 Pengolahan dan Analisa Data 32

3.7 Hasil Penelitian 36

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 37

4.1 Pengumpulan Data 37

4.1.1 Eksperimen 37

4.2 Pengolahan Data 39

4.2.1 Menentukan Karakteristik Kualitas 39

4.2.2 Menentukan Faktor Terkontrol, Noise Faktor dan Level ... 39

4.2.3 Menentukan Orthogonal Array 40

4.2.4 Conducting the Experiments 41

4.2.5 Menganalisa Hasil dan Menentukan Optimum Cutting 44

4.2.6 Memprediksi Surface Roughness Optimum 51

4.2.7 Konfirm Eksperimen 51

4.2.8 Menghitung Loss per Piece 53

BAB V PEMBAHASAN 54

5.1 Analisa Penentuan Faktor Terkontrol. Noise Faktor dan Level .. 54

5.2 Analisa Orthogonal Array 55

5.3 Analisa Nilai Surface Roughness 56

5.4 Analisa ANOVA 56

5.5 Analisa Average Effect Response Mean dan S/N Ratio 57

5.6 Analisa Konfirm Eksperimen 59

5.7 Analisa Loss per Piece 60

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 61

6.1 Kesimpulan 61

6.2 Saran 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 18 array orthogonal standar **24**

Tabel 4.1 Variabel Faktor-Level **40**

Tabel 4.2 Orthogonal Array $L_9(3^4)$ **41**

Tabel 4.3 Nilai Surface Roughness Hasil eksperimen **41**

Tabel 4.4 Raw Data Hasil Eksperimen 1 ..... **42**

Tabel 4.5 Hasil dari eksperimen $L_9(3^4)$ **44**

Tabel 4.6 ANOVA **46**

Tabel 4.7 Average Effect Response Untuk S/N Ratio **49**

Tabel 4.8 Average Effect Response Mean **49**

Table 4.9 Faktor, level and effects **50**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Milling (1)Pemakanan dari atas, (2)Pemakanan dari sisi tepi 11

Gambar 2.2 Operasi end-milling 12

Gambar 2.3 Operasi plain milling dan milling cutter 12

Gambar 2.4 Operasi side-and-face milling dan cutter 13

Gambar 2.5 Roughness dan wavines profiles 13

Gambar 2.6 Feed rate 16

Gambar 2.7 Depth cut 17

Gambar 2.8 Spindle speed 18

Gambar 2.9 Faktor Yang Mempengaruhi Karaketeristik Kualitas 26

Gambar 2.10 Diagram Quality engineering 28

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 30

Gambar 4.1 Model benda kerja dan proses end-mill 39

Gambar 4.2 Pengukuran Surface Roughness Menggunakan Dial Indicator 39

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Fungsi Quadratic Loss Nominal the best **22**

Grafik 2.2 Fungsi Quadratic Loss Smaller the best **22**

Grafik 2.3 Fungsi Quadratic Loss Larger the best **23**

Grafik 4.1 Main effect plot for mean **50**

Grafik 4.2 Main effect plot for S/N ratio **50**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan orientasi persaingan yang menempatkan keinginan konsumen sebagai kunci pokok dalam persaingan, menyebabkan perubahan paradigma dalam dunia manufaktur. Paradigma tersebut adalah untuk memproduksi sesuai dengan pesanan (*make to order*) konsumen dan dalam jumlah sedikit atau perusahaan hanya memproduksi dalam batch size yang kecil dan berbeda-beda. Ukuran batch size yang kecil tidak sesuai dengan teknik dalam produksi masal seperti penggunaan mesin yang khusus untuk produk tertentu (rigid automation) atau transfer line. Oleh karena itu kebutuhan akan flexible automation terus berkembang yaitu dengan pemakaian Numerical Control (NC) yang semakin luas dengan teknologi yang semakin canggih.

Numerical Control adalah metode automation dengan beberapa fungsi dari permesinan yang menggunakan kontrol abjad, nomor dan simbol. Program untuk menjalankan mesin NC terdiri dari perintah tentang metode dari manufakturing, seperti tool apa yang digunakan, berapa kecepatan, kedalaman pemakanan dan pergerakan tool dari titik satu ke titik yang lainnya. Semua fungsi dari tool mesin NC tersebut dikontrol dengan elektronik, hidrolik dan pneumatik. Penggunaan komputer yang semakin meluas berpengaruh terhadap perkembangan NC, yaitu dengan penggunaan komputer dalam mesin NC atau disebut Computer Numerical

Control (CNC) yang memudahkan untuk mengintegrasikannya dengan aktivitas CAD dan CAM.

Meningkatnya keinginan konsumen akan kualitas produk yang berhubungan dengan *metal cutting* (keakuratan dan surface roughness produk yang lebih baik). Surface roughness digunakan secara luas dalam dunia industri untuk menunjukan tingkat kerataan dari hasil operasi permesinan (Chang, et.al., 1998). Oleh karena itu perlu dilakukan kontrol terus-menerus untuk meningkatkan kontrol kualitas dari proses tersebut. Dari beberapa jenis proses *metal cutting*, proses *end-milling* adalah proses yang paling fundamental dalam industri manufaktur (Lou & Chen, 1999).

Pengaturan parameter (variabel) sebelum proses merupakan hal penting yang perlu dilakukan untuk mencapai hasil surface roughness yang lebih baik. Lin (1994) berpendapat bahwa pendekatan dengan coba-coba dapat dilakukan untuk mencapai kondisi permesinan yang optimal terutama dalam prosesnya. Akan tetapi hal itu akan menghabiskan banyak waktu untuk mengidentifikasi proses cutting yang optimum.

Telah banyak penelitian untuk meningkatkan kualitas produk dan proses dengan biaya dan waktu yang minimum. Pendekatan sistematik DOE Taguchi adalah pendekatan untuk mengoptimalisasi throughput untuk berbagai proses dalam manufaktur (Fidan, et.al., 1998). Pendekatan ini telah terbukti mampu untuk memilih parameter dari proses manufakturing yang dapat menghasilkan kualitas produk yang lebih baik dengan biaya dan waktu yang minimum.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang penulisan tugas akhir ini maka dapat diidentifikasikan serta diformulasikan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana memprediksi nilai surface roughness yang optimum pada operasi *end milling* mesin CNC dengan metode DOE Taguchi?
2. Bagaimana pengaruh setiap faktor permesinan terhadap hasil *surface roughness*?
3. Bagaimana peningkatan performa dibandingkan dengan pengaturan sebelumnya?

1.3 Batasan Masalah

Supaya penelitian ini lebih terarah dan terfokus maka dilakukan pembatasan terhadap ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

1. Mesin CNC yang digunakan dalam penelitian adalah FANUC MODEL MC07-PF milik Laboratorium Sistem Manufaktur.
2. Material yang digunakan adalah alumunium 2024 dengan pemakanan menggunakan *High Speeds Steel (HSS)*.
3. Faktor yang digunakan adalah variabel permesinan ditambah dengan tool diameter.
4. Software yang digunakan untuk memecahkan masalah adalah AutoCad 2004, MasterCam Mill 9 dan Minitab.
5. Metode yang digunakan adalah DOE Taguchi.

6. Faktor biaya tidak diperhitungkan, tetapi dihitung peningkatan performa dibanding pengaturan sebelumnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memprediksi surface roughness yang optimum pada operasi *end milling* mesin CNC berdasarkan range variabel permesinan yang spesifik dan untuk mengetahui pengaruh setiap faktor tersebut terhadap surface roughness. Sehingga dapat diperoleh peningkatan performa jika dibandingkan dengan pengaturan sebelumnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan akan dapat memberikan manfaat :

1. Pengembangan khasanah ilmu pengetahuan khusunya tentang mesin CNC dan rekayasa kualitas.
2. Memudahkan dalam proses evaluasi kualitas surface roughness.

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk mempermudah penulisan tugas akhir ini maka sistematika penulisan dilanjutkan sebagai berikut :

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini merupakan penjelasan terperinci mengenai teori – teori yang digunakan sebagai landasan dalam pemecahan masalah.

BAB III : MEODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan penjelasan tentang bahan atau materi penelitian, alat dan tata cara penelitian, variabel data, data yang akan diteliti dan langkah – langkah analisa yang dipakai serta flow chart penelitian.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini menjelaskan mengenai pengumpulan data berdasarkan penelitian dan pengolahan data berdasarkan hasil perhitungan.

BAB V : PEMBAHASAN

Berisikan pembahasan yang diperoleh dari hasil pengolahan data yang dilakukan.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab terakhir yang berisikan kesimpulan yang diperoleh dari pemecahan masalah maupun dari hasil pengumpulan data serta diajukan beberapa saran untuk bahan peninjauan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pendahuluan

Meningkatnya keinginan konsumen akan kualitas produk yang berhubungan dengan metal cutting (keakuratan dan surface roughness produk yang lebih baik) mendorong industri untuk terus-menerus meningkatkan kontrol kualitas dari proses tersebut. Dari beberapa jenis proses metal cutting, proses end-milling adalah proses yang paling fundamental dalam industri manufaktur (Lou & Chen, 1999). Operasi end-milling adalah operasi yang paling banyak dilakukan dalam mesin milling. Dan milling adalah satu-satunya metode operasi permesinan yang sangat adapatabel dan ekonomis sehingga banyak digunakan secara luas dalam produksi (Parashar dan Mittal, 2003).

Hasil dari operasi permesinan mesin CNC dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: variable permesinan, geometri tool, material benda kerja dan tool, kualitas mesin dan jenis mesin, lubricant dan vibrasi. Dari beberapa faktor tersebut variable permesinanlah yang paling dapat memungkinkan untuk dioptimalkan (untuk pemakai) yaitu dengan pengaturan nilai dari faktor tersebut sehingga dapat dicapai hasil yang optimal atau yang ditargetkan.

Untuk memenangkan persaingan perusahaan dituntut agar dapat berkompetisi secara efektif, yaitu dengan selalu meningkatkan kualitas dari produk mereka dengan biaya yang rendah. Perusahaan juga dituntut untuk

melempar produk ke pasar secara lebih cepat. Oleh karena itu efisiensi dan efektifitas dari kegiatan penelitian dan pengembangan menjadi tahap yang penting.

Metode Taguchi adalah system "cost driven" pada *quality engineering* yang menekankan pada efektivitas pelaksanaan strategi engineering daripada teori statistik. Metode ini membuat perusahaan mampu dengan cepat dan akurat memperoleh informasi teknikal untuk merancang dan memproduksi dengan biaya rendah, meningkatkan daya tahan produk dan proses yang lebih baik. Aplikasi yang lebih lanjut membuat engineer mampu untuk mengembangkan teknologi yang fleksibel untuk merancang dan memproduksi kelompok produk yang berkualitas tinggi, mengurangi waktu dan biaya penelitian.

2.2 Mesin CNC

Mesin CNC adalah hasil dari pengembangan mesin NC pengaruh dari penggunaan komputer yang semakin meluas, yaitu dengan diaplikasikannya komputer dalam mesin NC sehingga disebut Computer Numerical Control (CNC). Hal ini memudahkan untuk mengintegrasikannya dengan aktivitas CAD dan CAM.

Ada beberapa kelebihan mesin CNC dibandingkan mesin NC biasa (Rao; 2004):

a. Memori penyimpanan kode program
b. Editing kode program
c. Simulasi kode program menggunakan tool path
d. Downloading dan uploading kode program

e. Adanya software tambahan yang dapat digunakan untuk diagnosa kerusakan dan perawatan.

f. Menggunakan standar sistem operasi komputer seperti Windows 95 yang memudahkan untuk menghubungkannya dengan sistem manufaktur yang lain.

Akan tetapi istilah NC dan CNC sekarang adalah sama yaitu mengacu pada mesin NC yang menggunakan kontrol komputer karena kontrol NC yang model lama sudah ditinggalkan.

Mesin CNC dikembangkan agar dapat melakukan operasi utama dalam manufaktur seperti operasi milling, turning, drilling yaitu untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk. Termasuk diantaranya adalah menitikberatkan terhadap waktu tidak produktif seperti waktu set up, pemindahan benda kerja, waktu penggantian tool dan lead time.

Fleksibelitas dan keakuratan dari mesin CNC dikarenakan penggunaan kontrol numerik yang merupakan representasi dari koordinat geometrik dari model. Sehingga mesin CNC ini cocok untuk diaplikasikan dalam industri, sebagai berikut:

a. Untuk membuat produk yang mempunyai karakteristik kontur yang komplek, dimana hal ini tidak bisa dikerjakan dengan mesin yang konvensional.

b. Untuk produksi dengan jumlah lot kecil, seperti pembuatan prototyping, tool manufacturing dan lain-lain.

c. Untuk pekerjaan yang membutuhkan tingkat keakuratan dan pengerjaan ulang yang sangat tinggi.

d. Untuk part yang mempunyai tingkat frekuensi perubahan desain yang cepat dan membutuhkan metode manufaktur yang mahal.

e. Untuk mengurangi biaya inspeksi yang berpengaruh terhadap total biaya manufaktur.

Mesin CNC dapat dibagi dalam beberapa jenis berdasarkan :

1. Jenis mesin CNC berdasarkan cara kerja (operasinya):
   a. Turning (mesin bubut CNC)
   b. Milling (mesin frais CNC)
   c. Jig Boring
   d. Wire Cut, dan lain – lain
2. Jenis mesin CNC berdasarkan jumlah pergerakan axisnya
   a. CNC 2 axis
   b. CNC 3 Axis
   c. CNC 4 Axis
   d. CNC 5 Axis
3. Jenis mesin CNC berdasarkan pemakaiannya :
   a. Mesin CNC training unit
   b. Mesin CNC producting unit

2.3 Integrasi CAD – CAM – CNC

Aktifitas dari pembuatan sebuah produk diawali dengan mulai mengimplementasikan ide dalam sebuah desain. CAD (*Computer Aided Design*) adalah suatu konsep pendesainan dengan komputer sebagai alat bantunya (Rao; 2004). Hasil dari CAD adalah pengembangan dari sebuah model geometrik produk dalam bentuk tiga dimensi. Software CAD ini antara lain: AutoCad, Autodesk Inventor, Pro-Engineering, Catia dan lain-lain.

Hasil dari CAD tersebut kemudian ditransfer ke CAM (*Computer Aided Manufacturing*). CAM adalah software komputer yang umumnya digunakan untuk menghasilkan kode program CNC (Rao; 2004). Di CAM ini dapat disimulasikan proses permesinan dengan seting parameter seperti tool yang digunakan, kecepatan spindle, arah pemakanan dan setting lainnya sebelum diterapkan dalam mesin CNC. Ada beberapa software yang sudah menggabungkan antara sistem CAD dan CAM. Contoh software CAM antara lain : MasterCam, Solid Edge, Pro Engineering dan lain – lain.

Setelah dilakukan pensimulasian dan hasilnya sesuai yang direncanakan kemudian digenerate untuk menghasilkan kode pemrograman NC atau sering disebut kode G. Contoh kode program:

N10 G01 X200 Y100

N20 Y150

N30 X300 Z-10

N40 G00 Z100

Untuk mengkomunikasikan antara software CAM (komputer) dengan mesin CNC menggunakan main kontroler dan kabel data. *Main kontroler* yang banyak digunakan yaitu Fanuc, Bendix, General Electric, Cicinnati Milicron dan Giddings and Lewis. Sedangkan kabel data yang digunakan adalah kabel data RS-232-C.

2.4 Proses Milling

Milling adalah satu-satunya metode operasi permesinan yang sangat adapatabel dan ekonomis sehingga banyak digunakan secara luas dalam produksi. (Parashar dan Mittal, 2003). Proses milling adalah proses permesinan untuk menghasilkan kontur surface yang datar. Pemakanan benda kerja dilakukan dengan cara benda kerja diletakan dalam keadaan tetap diam (dijepit) sedangkan tool cutting memakan dengan cara berputar bergerak secara linier.



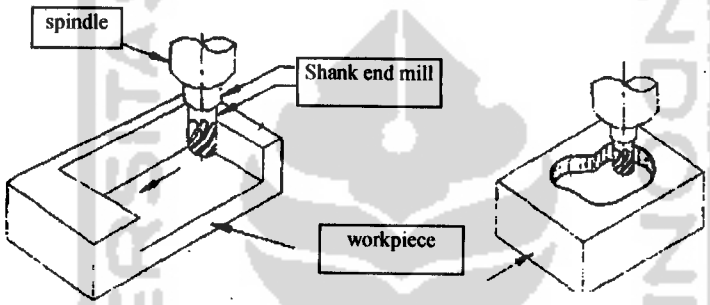
(1) **(2)**

Gambar 2.1 Milling (1)Pemakanan dari atas, (2)Pemakanan dari sisi tepi

Operasi milling dapat dibedakan menjadi:

1. End-Milling

Operasi end-milling adalah operasi yang paling banyak dilakukan dalam mesin milling (Parashar dan Mittal, 2003). Proses ini disebut end-milling karena pemakanan benda kerja menggunakan ujung dan tepi sisi (cutter) mata pahat. Proses ini dapat digunakan untuk membuang material dari bagian sisi benda kerja dan untuk membuat compicated profile. Dengan proses ini, permukaan dalam dan luar benda kerja dapat dilakukan operasi permesinan.

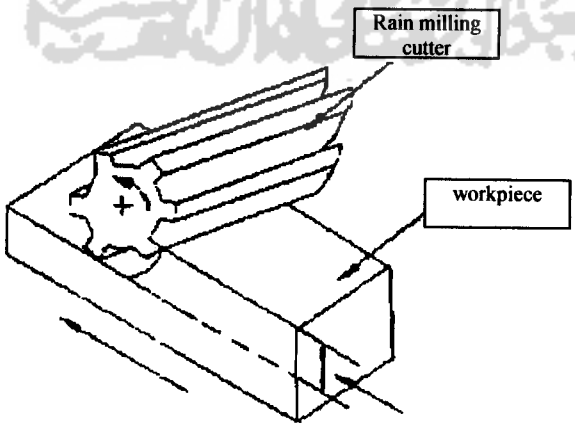


(1) milling vertical face (2) milling a profile

Gambar 2.2 Operasi end-milling

2. Plain-Milling (Slab-Milling)

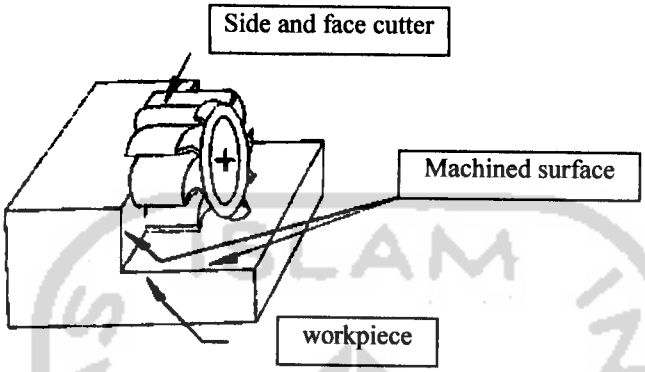
Operasi ini membuang material dari permukaan atas benda kerja.



Gambar 2.3 Operasi plain milling dan milling cutter

3. Side-dan-Face Milling

Side-dan-Face Milling digunakan untuk membuang material dari sisi dan muka benda kerja. Side-dan-Face Milling hampir sama dengan plain milling.

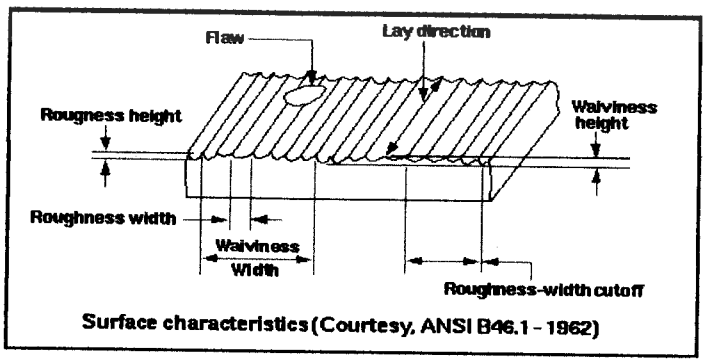


Gambar 2.4 Operasi side-and-face milling dan cutter

2.5 Surface Roughness

2.5.1 Definisi Surface Roughness

Surface roughness digunakan secara luas dalam dunia industri untuk menunjukan tingkat kerataan dari hasil operasi permesinan (Chang, et.al ,1998). Untuk memahami konsep surface roughness dapat dijelaskan dengan istilah sebagai berikut (ASME, 1988):



Gambar 2.5 Roughness dan wavines profiles

PERPUSTAKAAN

1. **Surface Texture**

   Surface tekstur adalah pola dari sebuah permukaan yang berdeviasi dari nominal surface. Bentuk deviasinya dapat berupa pengulangan atau random, yang dihasilkan dari roughness, waviness, lay, dan flaws

2. **Real Surface**

   Bentuk asli dari surface sebuah objek adalah kulit peripheral yang memisahkan objek tersebut dari medium di sekelilingnya. Surface ini struktur deviasinya bervariasi dan diklasifikasikan menjadi form errors, waviness, dan surface roughness

3. **Roughness**

   Roughness terdiri dari "*finer irregularity*" dari surface texture, termasuk irregularities yang dihasilkan dari *inherent action* proses produksi.

4. **Roughness Width**

   Roughness width adalah jarak parallel nominal surface dari puncak ke puncak atau jurang ke jurang yang menjadi pola dominant.

5. **Roughness Width Cutoff**

   Roughness width cutoff dimasukkan dalam pengukuran tinggi rata-rata roughness. Roughnes width cutoff diukur dalam inchi. List standard table dari roughness width cutoff adalah 0.003, 0.10, 0.030, 0.100, 0.300, 1.000 inchi. Jika nilainya tidak dispesifikasi/ tidak disebutkan, maka bisa diasumsikan menjadi 0.030

6. **Waviness**

   Waviness mencakup seluruh irregularities yang space/jaraknya lebih besar dari panjang sample roughness, dan lebih kecil dari panjang sample waviness

7. **Waviness Height**

   Waviness height adalah jarak dari puncak ke jurang.

8. **Waviness Width**

   Waviness width adalah space/jarak dari puncak ke puncak atau jurang ke jurang yang menjadi pola dominant.

9. **Lay**

   Lay adalah direction/arah dari pola permukaan/surface yang dominant, ditentukan oleh proses produksi.

10. **Flaws**

    Flaws meliputi unintentional, unexpected, dan unwanted interruption pada topografi bagian dari permukaan.

11. **Roughness Sampling Length**

    Roughness sampling length adalah rata-rata panjang sample roughness yang ditentukan. Panjang ini ditentukan untuk membedakan antara surface roughness dengan surface waviness.

2.5.2 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Surface Roughness

Adapun faktor yang mempengaruhi nilai surface roughness adalah :

1. Variabel permesinan

a. Cutting speed

Cutting speed adalah kecepatan linier antara mata pahat terhadap benda kerja. Persamaan umumnya adalah:

$$v = \frac{\pi DN}{1000} m/\min$$

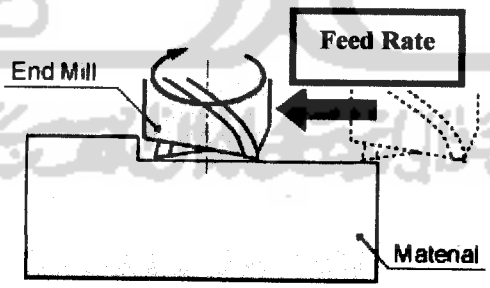
Dimana;

D = diameter tool (mm)

N = kecepatan putar tool (rpm)

b. Feed rate

Feed adalah pergerakan relative secara lateral antara mata pahat dengan benda kerja.



Gambar 2.6 Feed rate

Nilai feed rate ini tergantung:

- Keinginan akan hasil surface.

- Karakteristik dari material yang akan dihilangkan, chip flow tergantung dari jenis material dan feed rate. Ukuran ideal dari chip adalah kecil.
- Kekuatan spindle (untuk menghindari terhentinya perputaran spindle yang dapat menyebabkan patahnya mata pahat atau benda kerja).
- Kemampuan untuk menahan getaran.
- Kekuatan dari benda kerja (pemakanan berkecepatan tinggi dapat merusakkan benda kerja yang tipis).

Persamaan umum feed rate:

$$F_1 = \frac{f}{zN} mm/tooth$$

Dimana:

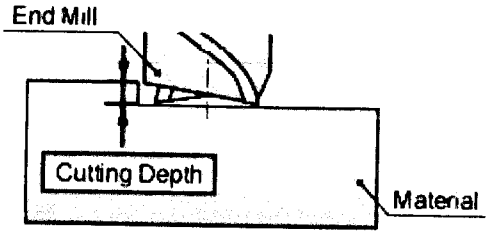
f = feed rate (mm/min)

z = jumlah gigi cutter

N = rpm

c. Dept of Cut/Cutting Depth

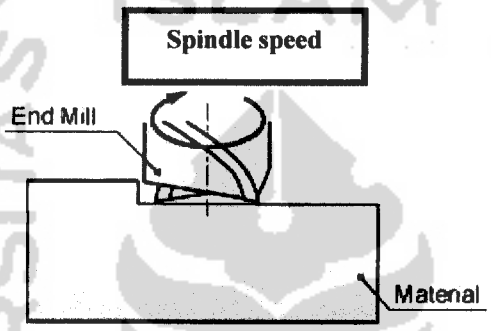
Depth of cut adalah kedalaman dari benda kerja yang akan dihilangkan. Untuk mendapatkan hasil surface roughness yang baik maka depth cutnya harus kecil.



Gambar 2.7 Depth cut

d. Spindle Speed

Spindle speed adalah perputaran per minute (RPM) dari spindle dan dihitung berdasarkan nilai cutting speed yang direkomendasikan atas material benda kerja. Nilai maksimum dari spindle speed ini tergantung juga dengan mesin yang digunakan. Penerapannya juga memperhatikan nilai dari feed rate.



Gambar 2.8 Spindle speed

Persamaan umum spindle speed:

$$RPM = \frac{cuttingspeed}{keliling} = \frac{cuttingspeed}{\pi X diameter}$$

- RPM : kecepatan putar dari tool atau benda kerja
- Speed adalah nilai cutting speed yang direkomendasikan untuk material benda kerja.
- Diameter : diameter tool

2. Geometri tool (mata pahat)

Bentuk dan geometri mata pahat berpengaruh terhadap kualitas dari surface roughness. Beberapa geometri mata pahat yang mempengaruhi hasil surface, antara lain: Nose radius, Rake angle, Side cutting edge angle dan Cutting edge

3. **Material benda kerja dan tool (mata pahat)**

   a. Material benda kerja dapat berupa kayu, besi, alumunium dan sebagainya. Setiap material ini mempunyai karakteristik berbeda baik kekerasan, profilenya dll. Sehingga setiap material benda kerja mempunyai perlakuan yang berbeda untuk mendapat hasil surface roughness yang baik.

   b. Sedangkan material mata pahat (tool) secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu ***carbide, high speed steel (HSS) dan ceramics***. *Carbide* biasanya digunakan dalam cutting material benda kerja seperti: besi karbon dan stainless steel. *Carbide* ini mempunyai kelebihan dalam konduktivitas suhu dan mempunyai struktur yang sangat baik. Contoh carbide antara lain: tungsten carbide (campuran tungsten dan karbon), titanium carbide. *High speed steels (HSS)* adalah tool yang kandungan materialnya terdiri dari kombinasi kurang lebih 7% tungsten, molybdenum, vanadium dan kobal dan 0.60% karbon. . *Ceramics* adalah tool yang terbuat dari material yang sangat keras sekali dan high melting point refactory oxides. Tool ini pertama kali berhasil dibuat dari alumina murni. Dari ketiga jenis tool material tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan dalam penggunaanya tergantung dengan jenis material benda kerja yang digunakan dan efesiensi biaya.

4. **Kualitas mesin dan jenis mesin yang digunakan**

5. **Lubrican**

   Lubrican adalah cairan pendingin yang digunakan untuk mendinginkan mata pahat dengan benda kerja yang bergesekan. Ada tiga jenis lubrican: mineral,

sintetik dan semi sintentik. Pendingin mineral mempunyai biaya yang murah tapi tidak tahan lama. Pendingin semi-sintetik menggunakan bahan kimia khusus untuk melarutkan minyak menjadi air. Pendingin sintetik tidak mengandung minyak, oleh karena itu dia bersifat lebih stabil tetapi harganya lebih mahal.

6. **Vibrasi antara benda kerja, mesin dan tool cutting.**

   Vibrasi dapat disebabkan oleh pemasangan benda kerja dalam cekam yang kurang kuat, sehingga vibrasi yang dihasilkan sewaktu tool bergesekan dengan material kerja semakin besar. Vibrasi yang besar menyebabkan hasil surface roughness semakin rendah.

2.5.3 Parameter Surface Roughness

Ada beberapa jenis parameter yang dapat digunakan untuk mengukur nilai surface roughness, antara lain:

1. **Roughness average (Ra)**

   Roughness average (Ra) adalah area antara roughness profile dengan mean line atau nilai integral absolute dari tinggi roughness profile terhadap panjang sampel.

$$Ra = \frac{1}{L}\int_0^L |Y(x)|dx$$

Ra = roughness average

L = panjang sample

Y = ordinat dari kurva profil

2. Root-mean-square (Rq)

$$Rq = \sqrt{\left[\frac{1}{L}\int_{L}^{l}(Y(x)^2\,dx\right]}$$

3. Maksimum peak to valley (Ry atau Rmax)

Adalah jarak antara dua garis parallel terhadap mean line yaitu titik tertinggi dan titik terendah dari panjang sampel roughness.

Ra dan Rq adalah parameter yang paling banyak digunakan untuk mengukur surface roughness dalam industri (Lou; 1998).

2.6 Design of Experiments (DOE) Taguchi

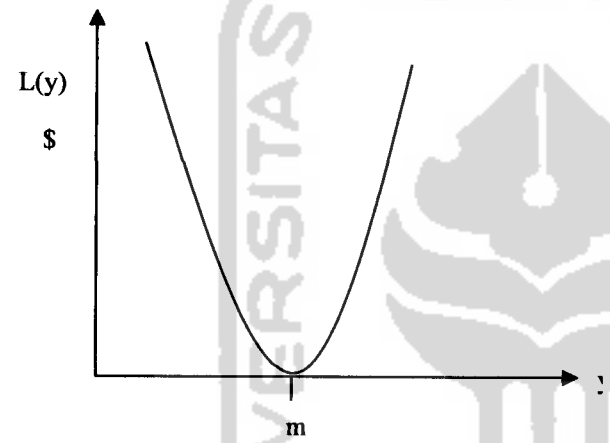
Tujuan eksperimen dalam pembuatan produk adalah menentukan cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai tergetnya. Metode Taguchi adalah metode yang menggabungkan metode statistikal dan keteknikan yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi untuk meningkatkan kualitas dari produk dan proses manufaktur.

Kontribusi Terhadap Kualitas :

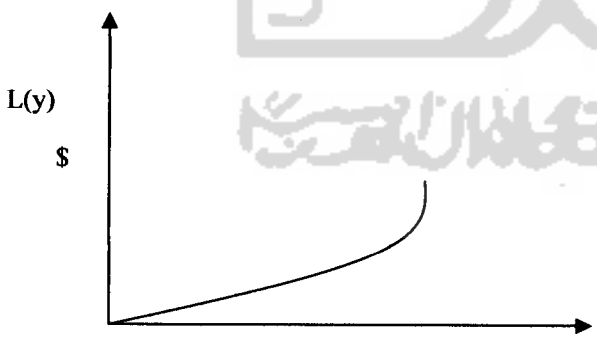
Tujuan dari eksperimen yang dilakukan dalam metode Taguchi adalah untuk mengidentifikasikan faktor utama yang memberi kontribusi terbesar terhadap variasi dan untuk menentukan pengaturan atau nilai yang diperoleh dengan variasi terkecil. Dr. Taguchi memberi tiga kontribusi besar terhadap bidang kualitas:

2.6.1 The Loss Function

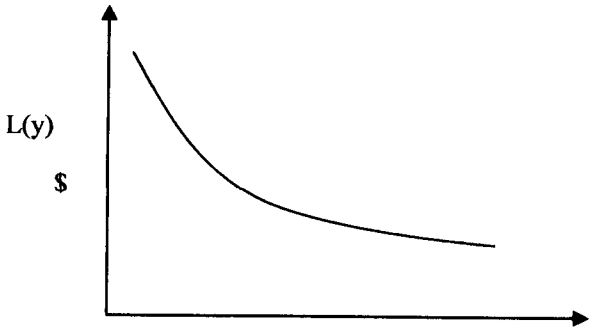
Konsep Loss Function didasarkan pada total simpangan dari karakteristik kualitas yang ditargetkan. Pada simpangan nol, maka produk tepat sekali seperti apa yang ditargetkan, dan kerugian sama dengan nol. Tujuan dan fungsi kerugian Taguchi adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi.



Grafik 2.1 Fungsi Quadratic Loss Nominal the best



Grafik 2.2 Fungsi Quadratic Loss Smaller the best



Untuk 1 produk:

$$L(y) = k\left(\frac{1}{y}\right)^2$$

Untuk sample:

$$L(y) = \frac{k}{\mu^2}\left[1+\frac{3\sigma^2}{\mu^2}\right]$$

Grafik 2.3 Fungsi Quadratic Loss Larger the best

Dr. Taguchi mengembangkan model matematika ini menggunakan Taylor Expansion Series. Berdasarkan konsep ini, manajemen dapat membuat keputusan yang benar terhadap usaha peningkatan kualitas sehingga keputusan tidak dibuat berdasarkan retorika atau emosi, tetapi berdasarkan fakta yang didapat dari data yang valid.

2.6.2 Orthogonal Array dan Linear Graph

Kontribusi kedua adalah pengadaptasian orthogonal array untuk mendesain eksperimen dan penganalisaan data eksperimen secara efisien. Orthogonal array ini pertama kali dikenalkan oleh R.A Fisher untuk mengontrol eksperimental error. Sedangkan Dr. Taguchi menggunakan orthogonal array ini tidak hanya untuk mengukur efek dari faktor terhadap rata-rata hasil, tetapi juga dapat untuk menentukan variasi mean dengan baik. Manfaat utama dari orthogonal array adalah untuk menghubungkan faktor yang digunakan dalam investigasi. Untuk setiap level dalam satu faktor, semua level dari faktor lain terjadi dalam jumlah yang sama. Hal ini memberi keseimbangan eksperimen dan mengizinkan

pengaruh dari faktor satu yang dipelajari menjadi tersebar dari pengaruh yang satu ke lainnya. Tujuannya adalah untuk menemukan hasil dari percobaan yang dapat dilakukan.

Manfaat lain dari orthogonal array adalah mengefisienkan biaya. Walaupun diseimbangkan, desain dari orthogonal array tidak membutuhkan semua kombinasi dari faktor yang dites. Sehingga matrix eksperimen dapat lebih kecil tanpa kehilangan informasi yang vital. Hasilnya eksperimen dapat dilakukan dengan biaya yang efektif.

Tabel 2.1 18 array orthogonal standar

2 level	3 level	4 level	5 level	Level gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1X3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1X4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(2^{40})$			$L_{36}(2^{11}X3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3X3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1X3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^1X5^{11})$

Linier graph adalah grafik yang merepresentasikan barisan lurus untuk menandai faktor dibawah investigasi dan menghubungkan interaksi diantara faktor. Dengan grafik yang didesain khusus ini, eksperimenter dapat secara lebih efektif mempelajari hubungan antara factor sebaik seperti pengaruh dari individual factor itu sendiri. Hal ini memungkinkan karena linier graph menyediakan skema yang logis untuk menandai interaksi dari barisan lurus tanpa mengacaukan pengaruh dari interaksi dengan pengaruh dari factor individual yang sedang dipelajari.

2.6.3 Robustness

Kontribusi ketiga adalah konsep robustness. Robustnes dapat didefinisikan dari produk dan proses :

a. Produk : kemampuan produk untuk tetap bekerja sesuai desainnya secara konsisten dengan pengaruh minimal akibat perubahan dari operasi yang tidak terkontrol.
b. Proses : kemampuan dari proses untuk memproduksi produk yang baik secara konsisten dengan pengaruh minimal akibat perubahan dari manufakturing tidak terkontrol.

Robust desain fokus dalam meminimalkan efek ketidakyakinan atau variasi dalam desain parameter tanpa mengeliminasi sumber-sumber dari ketidakyakinan dan variasi (Phadke, 1989). Dengan kata lain, robust desain adalah lebih sensitive pada variasi di parameter desain yang tidak dapat dikontrol dibandingkan dengan poin desain rancangan tradisional.

Signal to noise ratio adalah alat yang digunakan untuk mengukur robustness, sehingga merupakan komponen penting dalam desain parameter. Relevansi dari persamaan signal to noise ratio adalah untuk menginterprestasikan signal atau numerator ratio agar proses mampu menghasilkan produk yang bagus dan benar. Dengan memasukan pengaruh dari noise faktor dalam proses atau produk sebagai denominator, maka siganl to noise ratio dapat diadaptasi sebagai barometer dari kemampuan sistem untuk bekerja dengan baik dalam hubungannya dengan pengaruh dari noise. Dengan suksesnya penerapan konsep ini dalam eksperimen, maka dapat ditentukan setting kontrol faktor yang dapat

menghasilkan performance terbaik dalam proses atau produk dengan meminimalkan pengaruh dari faktor yang tak terkontrol.

1. Klasifikasi karakteristik kualitas menurut nilai targetnya:

   a. Larger the Better (QC=B)

   Tujuan dari karakteristik Larger the Better adalah untuk mencapai nilai yang sebesar/setinggi mungkin.

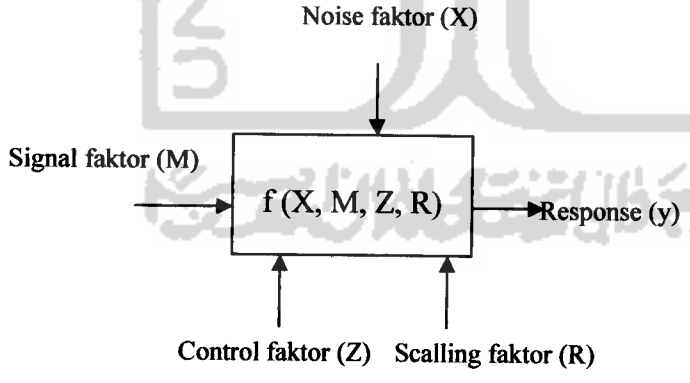
   b. Smaller the Better (QC=S)

   Tujuan dari karakteristik Smaller the Better adalah untuk mencapai nilai yang serendah/sekecil mungkin yaitu 0.

   c. Nominal the Best (QC=N)

   Tujuan dari karakteristik Nominal the Better adalah untuk mencapai nilai yang yang telah ditentukan atau dengan nilai yang spesifik.

2. Klasifikasi parameter



Gambar 2.9 Faktor Yang Mempengaruhi Karaketeristik Kualitas

a. Noise faktor: faktor-faktor yang mentyebabkan keragaman produk berfungsi baik. Terdapat 3 jenis noise:

- Eksternal noise: berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk.
- Internal noise: berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus sehingga tidak mencapai target.
- Unit to unit: keragaman antar produk

b. Control faktor: Faktor terkontrol adalah factor desain yang dapat di set dalam level optimal dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi noise factor.

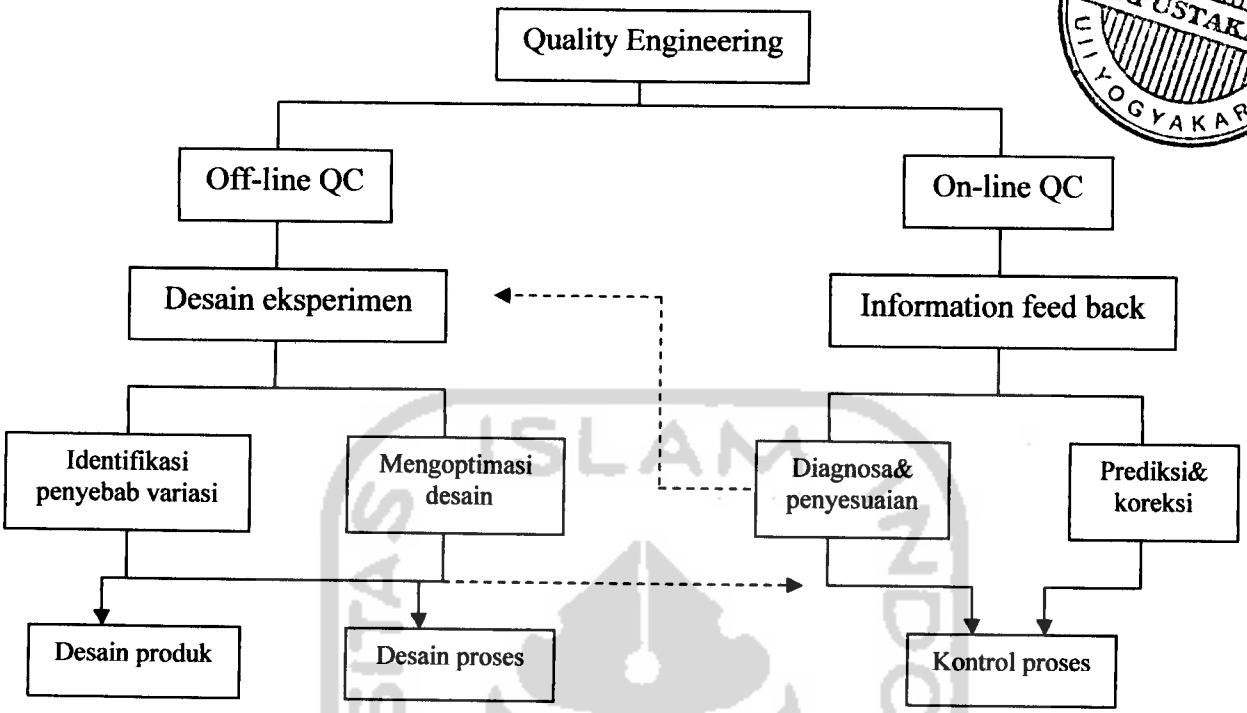
c. Signal faktor: faktor – faktor yang mengubah nilaikarakteristik kualitas yang sebenarnya yang akan diukur.

d. Scalling faktor: faktor ini digunakan untuk mengubah mean level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara signal faktor dengan karakteritik kualitas.

2.7 Quality Engineering

Ruang lingkup dari *quality engineering* adalah desain engineering dan manufakturing; terdiri kegiatan-kegiatan kontrol kualitas dari penelitian dan pengembangan produk, desain proses, produksi, sampai kepuasan pelanggan. Untuk mendukung tujuan tersebut, quality engineering dapat dibagi dalam dua kategori:

FAK. TEKNOLOGI INDUSTRI
PERPUSTAKAAN
UII YOGYAKARTA



Gambar 2.10 Diagram Quality engineering

2.7.1 On-Line Quality Control

Usaha dalam *Quality engineering* melibatkan produksi aktual dari produk. Langkahnya adalah mengawasi produksi, mengukur kualitas produk yang dihasilkan, memberi tanda akan potensial problem, dan tindakan perbaikan langsung. Sistem informasi yang timbal balik adalah dasar untuk memberi petunjuk kepada operator dan supervisor pabrik akan kinerja proses.

2.7.2 Off-Line Quality Control

Tujuan dari *off-line quality control* adalah mendukung *on-line quality control* dengan cara mengoptimasikan produk dan desain proses sehingga dapat

meningkatkan kualitas dan menurunkan biaya pada tahap desain. Desain eksperimen adalah alat utama dari *off-line quality control*. Teknik eksperimen mempunyai dua peranan pokok, yaitu: mengidentifikasi penyebab variasi, menentukan desain dan mengoptimasi proses. Tiga tahap penting dalam perancangan proses:

a. Desain Sistem

Merupakan tahap konseptual dari pengembangan produk atau inovasi proses. Disebut juga tahap ide dimana ide didapat dan dirubah menjadi sesuatu yang dapat dikerjakan. Konsepnya berdasarkan dari pengalaman masa lalu, ilmu pengetahuan , penemuan baru atau kombinasi dari ketiganya.

b. Parameter Desain

Dalam tahap perancangan parameter berkaitan dengan penekanan biaya dan peningkatan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Pada tahap ini dicari kombinasi level parameter yang dapat mengurangi noise.

c. Tolerance Design

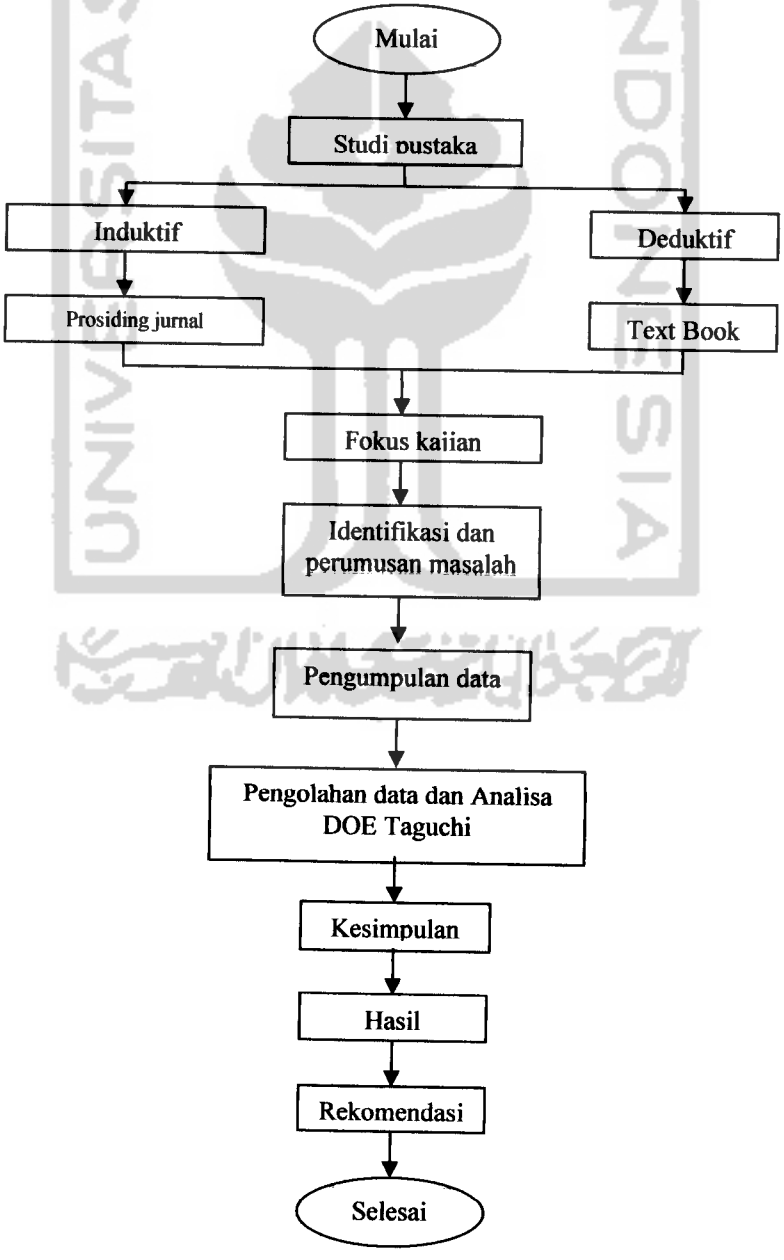
Tahap ini berhubungan dengan bagaimana, dan kapan, untuk menyediakan toleransi suatu produk atau proses sehingga kualitas dan performance/productivity dapat di tingkatkan yaitu dengan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan mutu tinggi dan biaya tinggi ynag dapat dihindari.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Langkah – langkah penelitian perlu disusun secara baik untuk mempermudah penyusunan laporan penelitian. Adapun langkah – langkah penelitian dapat dipresentasikan seperti gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian



3.2 Studi Pustaka

Ada dua macam studi pustaka yang dilakukan yaitu studi pustaka induktif dan deduktif. Kajian induktif adalah kajian pustaka yang bermakna untuk menjaga keaslian penelitian, dan bermanfaat bagi peneliti untuk menjadi kekinian topik penelitian. Kajian ini diperoleh dari jurnal, proseding dan lain sebagainya. Kajian deduktif merupakan landasan teori yang dipakai sebagai acuan untuk memecahkan masalah peneltian.

3.3 Penentuan Obyek Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Manufaktur, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yaitu menggunakan mesin CNC FANUC MODEL MC07-PF. Benda kerja yang digunakan adalah alumunium 2024. Pemakanan menggunakan *High Speed Steels (HSS).*

3.4 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Proses ini dilakukan untuk merumuskan masalah yang maknanya merumuskan butir – butir agar lebih jelas dan sistematis atas permasalahan yang diungkapkan di latar belakang masalah. Identifikasi ini diperlukan supaya rumusan masalah, latar belakang masalah dan judul penelitian saling berkaitan.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara:

1. Studi literature didapat dari buku, jurnal maupun referensi dari internet.
2. Eksperimen yaitu dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium.

3.6 Pengolahan Data dan Analisis Data

Langkah-langkah penyelesaian menggunakan metode DOE Taguchi.

Adapun tahapan – tahapan dalam metode DOE Taguchi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menentukan karakteristik kualitas

Penentuan karakteristik kualitas bertujuan untuk mencapai kualitas yang di harapkan. Ada tiga tipe karakteristik kualitas yaitu Larger the Better, Smaller the Better dan Nominal the Best.

2. Menentukan noise faktor, kontrol faktor dan level

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan level:

a. Level faktor : nilai-nilai tertentu yang diberikan pada suatu factor. Agar supaya dapat melakukan perbandingan, paling tidak harus mempunyai 2 level. Jumlah pengukuran pada tiap treatmen tergantung peneliti.

b. Banyak level dari factor : banyak level yang dipilih dan nilainya tergantung pada pengetahuan terhadap proses atau produk. Jika proses atau produk baru yang diteliti, maka perlu digunakan 3 level untuk

beberapa faktor untuk mengurangi non-linearitas pada range faktor. Jika diketahui faktor tertentu, maka faktor dengan 2 level sudah cukup untuk mendapatkan informasi yang diingini dari analisis hasil eksperimen.

c. Range level dari faktor : pemilihan range tergantung pada tujuan eksperimen. Jika pemilihan level suatu faktor sedemikian hingga level 1 dan 2 terlalu pendek, maka kemungkinan pengaruh faktor tidak muncul secara signifikan dan dan jika terlalu lebar pengaruh faktor tidak signifikan. Jadi harus mempunyai pengetahuan rekayasa tertentu untuk mendapatkan level dari faktor.

d. Fisibilitas dari level : kemungkinan untuk melakukan eksperimen berdasarkan treatmen yang dipilih. Pemilihan range yang terlalu sempit akan menghasilkan informasi yang kurang bermanfaat. Kadang-kadang perlu merubah level dan mengulangi eksperimen karena kurangnya informasi dari range tersebut.

e. Sliding level: berkaitan dengan pengaruh 2 faktor kontrol.

f. Keamanan pabrik dan pekerja

3. Menentukan Orthogonal Array

$$L_X(N^Y)$$

L : rancangan bujur sangkar latin

X : banyak baris eksperimen

N : banyak level

Y : banyak kolom/faktor

Untuk menentukan apakah orthogonal array yang digunakan sesuai, digunakan persamaan sebagai berikut:

Orthogonal array yang sesuai = DOFeks ≥ DOFtot

DOFeks = #eksp – 1

DOFtot = Y x (N-1)

Exp efficiency $= \frac{DOFtot}{DOFeks} x100\%$

4. Melakukan eksperimen

Setelah orthogonal array dipilih, eksperimen dilakukan berdasar kombinasi level. Setelah mendapatkan data hasil eksperimen kemudian dihitung average response value dan S/N value.

Average response : $\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_i^2$

S/N value :

Larger the Better (QC=B)

$$S/N(\eta) = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right)$$

Smaller the Better (QC=S)

$$S/N(\eta) = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_i^2\right)$$

Nominal the Best (QC=N)

$$S/N(\eta) = -10\log\sum\left(\frac{(yi-\overline{y^2})}{n-1}\right)$$

5. Analisa hasil

Hasil dari eksperimen berdasar orthogonal array kemudian dianalisa untuk mengetahui :

a. Kontribusi pengaruh dari setiap faktor dalam tahap desain produk, digunakan Analysis of Variance (ANOVA).
b. Untuk mendapatkan kondisi optimum dari proses atau produk, sehingga karakteristik kualitas terbaik dapat dicapai.

6. Memprediksi performa optimum

Dari analisa hasil maka didapat kombinasi nilai level-faktor yang optimum, dengan nilai tersebut maka dapat dihitung performa optimumnya.

7. Konfirmasi Desain Eksperimen

Bertujuan untuk mengetahui hasil dari prediksi performa optimum yaitu dengan melakukan eksperimen menggunakan kombinasi nilai level-faktor yang optimum tersebut. Dari sini dapat diketahui apakah hasil eksperimen sesuai atau mendekati nilai performa optimum prediksi. Langkahnya :

a. Melakukan eksperimen konfirmasi
b. Confidence interval-predicting mean
c. Confidence interval-konfirmasi mean
d. Membandingkan Confidence interval-predicting mean dengan Confidence interval-konfirmasi mean.

8. Menghitung loss per piece

Untuk mengetahui besarnya loss yang dapat dihindarkan atau peningkatan performa jika dibandingkan terhadap pengaturan sebelumnya.

3.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh dari pengolahan dan analisa data kemudian didiskusikan untuk mengetahui kemungkinan kekurangan atau kelebihan dari hasil penelitian sehingga dapat dibuat suatu rekomendasi terhadap hasil penelitian ini.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Data diperoleh dari studi literature dan eksperimen langsung. Adapun data dari studi literature adalah untuk menentukan nilai depth cut, spindle speed dan feed rate. Sedangkan data lainnya berdasarkan hasil eksperimen berupa nilai surface roughness. Penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Manufaktur, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan mesin CNC FANUC MODEL MC07-PF.

4.1.1 Eksperimen

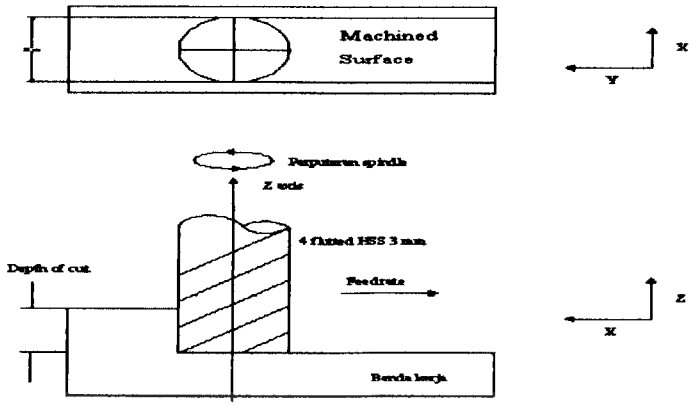
Adapun urutan eksperimen yang dilakukan adalah membuat model di AutoCad, generate G-code di Master CAM, operasi end milling terhadap benda kerja dengan mesin CNC, kemudian dilanjutkan pengukuran nilai surface roughness menggunakan dial indicator.

Sebelum pembuatan model, dilakukan operasi facing terlebih dahulu terhadap semua sisi benda kerja agar benda kerja yang digunakan presisi. Benda kerja kemudian diukur dimensinya menggunakan jangka sorong. Pengukuran dimensi ini harus tepat karena selanjutnya akan digunakan

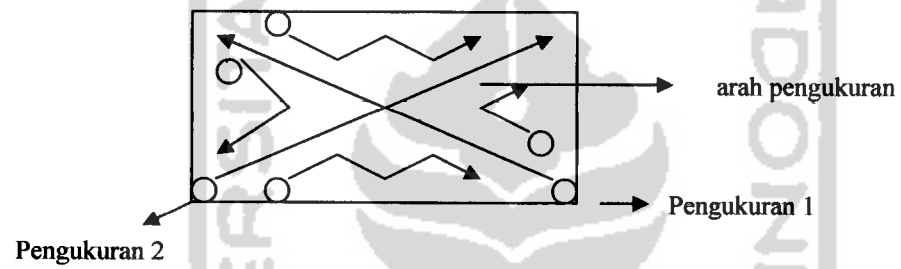
dalam pembuatan desain model. Dimensi yang diperoleh adalah 270 x 300 x 400 mm.

Desain model dibuat terlebih dahulu di AutoCad karena pembuatan di AutoCad lebih mudah dibandingakan di MasterCam. Dari AutoCad gambar disave dalam format .dwg kemudian di transfer ke MasterCam. Di MasterCam dilakukan setting variabel permesinan. Khusus untuk nilai spindle speed MasterCam dapat mengkalkulasi secara otomatis, sedangkan untuk depth cut dan feed rate tergantung dengan keinginan. Dan penting digaris bawahi bahwa kalkulasi tersebut dalam kondisi ideal sehingga dalam penerapannya diperlukan pertimbangan lain. Setelah dilakukan setting variabel permesinan kemudian dilakukan simulasi. Apabila hasil simulasi sudah sesuai yang diharapkan maka dilakukan generate G-code.

G-code hasil dari generate MasterCam tidak bisa langsung dapat digunakan, terlebih dahulu dilakukan editing seperti nilai feed rate nya, nilai 0 absolut benda kerja dan beberapa kode program teretentu. Setelah editing selesai maka program ditransfer ke mesin CNC dengan main kontroler Fanuc dan kabel data RS-232-C. Setelah benda kerja selesai dilakukan operasi end milling, kemudian dilakukan pengecekan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengukuran nilai surface roughness.



Gambar 4.1 Model benda kerja dan proses end-mill



Gambar 4.2 Pengukuran Surface Roughness Menggunakan Dial Indicator

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Menentukan Karakteristik Kualitas

Nilai surface roughness yang terbaik adalah nilai surface roughness yang terkecil. Oleh karena itu dipilih karakteristik kualitas smaller-the-better.

4.2.2 Menentukan Faktor Terkontrol, Noise Faktor dan Level

Dalam penelitian ini faktor terkontrol yang dipilih adalah depth cut, spindle speed, feed rate, dan tool diameter. Banyal level adalah 3 level. Noise faktor

atau faktor yang tidak terkontrol yang dipilih adalah pengukuran surface roughness dari bidang kerja.

Tabel 4.1 Variabel Faktor-Level

Faktor terkontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A: Depth of cut (mm)	1	1.25	1.5
B: Spindle Speed (rpm)	1000	2000	3000
C: Feed Rate (mmpm)	125	200	275
D: Tool Diameter (mm)	3	5	10

4.2.3 Menentukan Orthogonal Array

Orthogonal array yang sesuai = DOFeks ≥ DOFtot

Jumlah faktor = 4

Level = 3

DOFtot = 4 x (3-1) = 8

Jadi orthogonal array yang mungkin $L_9(3^4)$

DOFeks = #eksp – 1

L9 = 9 – 1 = 8

Untuk $L_9(3^4)$, DOFtot = DOFeks sehingga seimbang

Efisiensi eksperimen = $\frac{DOFtot}{DOFeks} x100\% = \frac{8}{8} x100\% = 100\%$

Tabel 4.2 Orthogonal Array $L_9(3^4)$

No. Eks	1	2	3	4
1.	1	1	1	1
2.	1	2	2	2
3.	1	3	3	3
4.	2	1	2	3
5.	2	2	3	1
6.	2	3	1	2
7.	3	1	3	2
8.	3	2	1	3
9.	3	3	2	1

4.2.4 Conducting the Experiments

a. Nilai surface roughness (noise faktor)

Pengukuran surface roughness :

Dilakukan secara acak di 15 titik dengan 3 kali pengukuran

Tabel 4.3 Nilai Surface Roughness Hasil eksperimen

No. Eks	A Dep.cut	B Spindle speed	C Feed rate	D Tool D.	Response (Ra) 10^{-1} μ mm		
					1	2	3
1.	1	1	1	1	18,33	17,56	15
2.	1	2	2	2	26,35	23,546	24,2
3.	1	3	3	3	16,32	18	17,2
4.	2	1	2	3	14,32	15,6	12,2
5.	2	2	3	1	15,4	19,6	17,2
6.	2	3	1	2	5,3	8	7,2
7.	3	1	3	2	20,56	21,65	20,6
8.	3	2	1	3	9,4	10,25	8,8
9.	3	3	2	1	11,6	10,53	11,2

Contoh penghitungan nilai surface roughness (Ra):

$$Ra = \frac{1}{L}\int_0^L |Y(x)|dx$$

Eksperimen 1:

FAK. TEKNOLOGI INDUSTRI PERPUSTAKAAN UII YOGYAKARTA

Tabel 4.4 Raw Data Hasil Eksperimen 1

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	17	17	16
2	17	18	17
3	20	16.5	17,5
4	21	18	16
5	16	20	17,5
6	15	18	15
7	18	17,5	14
8	17,5	18	14
9	20	18	14
10	18	18	15
11	18	17,5	17
12	17,5	15.5	13
13	19	16	13
14	20	17,5	15
15	20	18	14

Data 1

$$Ra = \frac{17+17+20+21+16+15+18+17.5+20+18+18+17.5+19+20+20}{15} = 18.33$$

Data 2

$$Ra = \frac{17+18+16.5+18+20+18+17.5+18+18+18+17.5+15.5+16+17.5+18}{15} = 17.56$$

Data 3

$$Ra = \frac{16+17+17.5+16+17.5+15+14+14+14+15+17+13+13+15+14}{15} = 15$$

b. Average response : $\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_i^2$

$$\text{Eksperimen 1} = \frac{18{,}33+17{,}56+15}{3} = 16{,}9633$$

$$\text{Eksperimen 2} = \frac{26{,}35+23{,}546+24{,}2}{3} = 24{,}6987$$

$$\text{Eksperimen 3} = \frac{16{,}32+18+17{,}2}{3} = 17{,}1733$$

c. S/N Ratio:

$$S/N(\eta) = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} y_i^2\right)$$

Dimana:

N= jumlah pengukuran, yaitu 3

Yi = nilai ke-i dari pengukuran

Contoh penghitungan:

$$\text{Eksperimen 1} = -10\log\left(\frac{18{,}33^2+17{,}56^2+15^2}{3}\right) = -24{,}6207$$

$$\text{Eksperimen 2} = -10\log\left(\frac{526{,}35^2+23{,}546^2+24{,}2^2}{3}\right) = -27{,}8637$$

$$\text{Eksperimen 3} = -10\log\left(\frac{16{,}32^2+18^2+17{,}2^2}{3}\right) = -24{,}704$$

Tabel 4.5 Hasil dari eksperimen $L_9(3^4)$

Eksperimen	Response Value(Ra) 10^{-1} µm			Mean	(dBi) S/N Value
	1	2	3		
1.	18,33	17,56	15	16,9633	-24,6207
2.	26,35	23,546	24,2	24,6987	-27,8637
3.	16,32	18	17,2	17,1733	-24,704
4.	14,32	15,6	12,2	14,04	-22,9904
5.	15,4	19,6	17,2	17,4	-24,8532
6.	5,3	8	7,2	6,83333	-16,8103
7.	20,56	21,65	20,6	20,9367	-26,4207
8.	9,4	10,25	8,8	9,48333	-19,5563
9.	11,6	10,53	11,2	11,11	-20,9211

4.2.5 Menganalisa Hasil dan Menentukan Optimum Cutting

a. Analysis of Variance (ANOVA)

Untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor kendali berdasarkan fungsi kualitas smaller the better, maka didapat persamaan:

$$Y_{target} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + e$$

Y_{target} = surface roughness

Faktor A = depth cut (mm)

Faktor B = spindle speed (rpm)

Faktor C = feed rate (mmpm)

Faktor D = tool diameter (mm)

Hipotesis :

Faktor A (depth cut)

H_o = Tidak ada pengaruh yang signifikan antara depth cut dengan hasil surface roughness

H_1 = Ada pengaruh yang signifikan antara depth cut dengan hasil surface roughness

Faktor B (spindle speed)

H_o = Tidak ada pengaruh yang signifikan antara spindle speed dengan hasil surface roughness

H_1 = Ada pengaruh yang signifikan antara spindle speed dengan hasil surface roughness

Faktor C (feed rate)

H_o = Tidak ada pengaruh yang signifikan antara feed rate dengan hasil surface roughness

H_1 = Ada pengaruh yang signifikan antara feed rate dengan hasil surface roughness

Faktor D (tool diameter)

H_o = Tidak ada pengaruh yang signifikan antara tool diameter dengan hasil surface roughness

H_1 = Ada pengaruh yang signifikan antara tool diameter dengan hasil surface roughness

Tingkat signifikansi :

$\alpha = 0,05$ Ftabel = $F_{0.05,v1,v2} = F_{0.05,2,18} = 3,55$

Kriteria pengujian, yaitu:

Ho diterima apabila : F hitung $\leq$ Ftabel

Ho ditolak apabila : F hitung > Ftabel

Tabel 4.6 ANOVA

Source	SS	v	Mq	F ratio	Ftabel	SS'	Kontribusi
A	244,29	2	122,15	66,97104	3,55	240,64	30 %
B	184,75	2	92,38	50,64888	3,55	181,11	23 %
C	266,91	2	133,46	73,1729	3,55	263,27	33 %
D	70,11	2	35,06	19,2203	3,55	66,46	8 %
e	32,83	18	1,82	1		47,42	6 %
St	798,90	26	30,73			798,90	

$$ST = \sum_{j=1}^{n} y_i^2 = 7205{,}7934$$

Overall mean: $\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = 15{,}4043$

Total sum of square: $sm = n\bar{xy}^2 = 27 \text{ x } 15{,}4043^2 = 6406{,}8933$

Menghitung Sum of square:

$$SA = n_{A1}\bar{xy}_{A1}^2 + n_{A2}\bar{xy}_{A2}^2 + n_{A3}\bar{xy}_{A3}^2 - Sm$$

$$= 9\text{x}19{,}6118 + 9\text{x}12{,}7578 + 9\text{x}13{,}8433 - 6406{,}8933 = 244{,}29$$

$$SB = n_{B1}\bar{xy}_{B1}^2 + n_{B2}\bar{xy}_{B2}^2 + n_{B3}\bar{xy}_{B3}^2 - Sm$$

$$= 9\text{x}17{,}31333 + 9\text{x}17{,}194 + 9\text{x}11{,}70556 - 6406{,}8933 = 184{,}75$$

$$SC = n_{C1}\bar{xy}_{C1}^2 + n_{C2}\bar{xy}_{C2}^2 + n_{C3}\bar{xy}_{C3}^2 - Sm$$

$$= 9\text{x}11{,}09333 + 9\text{x}16{,}61622 + 9\text{x}18{,}50333 - 6406{,}8933 = 266{,}91$$

$$SA = n_{D1}\bar{xy}_{D1}^2 + n_{D2}\bar{xy}_{D2}^2 + n_{D3}\bar{xy}_{D3}^2 - Sm$$

$$= 9\text{x}15{,}15778 + 9\text{x}17{,}48956 + 9\text{x}13{,}56556 - 6406{,}8933 = 70{,}11$$

Sum of square error:

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD$$

$$= 7205,7934 - 6406,8933 - 244,29 - 184,75 - 266,91 - 70,11$$

$$= 32,83$$

Mean of square:

$$Mq_A = \frac{Sq_A}{vA} = \frac{244,29}{2} = 122,15$$

$$Mq_B = \frac{Sq_B}{vB} = \frac{184,75}{2} = 92,38$$

$$Mq_C = \frac{Sq_C}{vC} = \frac{266,91}{2} = 133,46$$

$$Mq_D = \frac{Sq_D}{vD} = \frac{70,11}{2} = 35,06$$

F-ratio:

$$F_A = \frac{Mq_A}{Mqe} = \frac{122,15}{1,82} = 66,9710$$

$$F_B = \frac{Mq_B}{Mqe} = \frac{92.38}{1,82} = 50,6488$$

$$F_C = \frac{Mq_C}{Mqe} = \frac{133,46}{1,82} = 73,1729$$

$$F_D = \frac{Mq_D}{Mqe} = \frac{35,06}{1,82} = 19,2203$$

Menghitung persen kontribusi;

$$SA^1 = SA - vAVe = 244,29 - 2x1,82 = 240,64$$

$$\rho A = \frac{SA^1}{St} x100\% = \frac{240,64}{798,90} x100\% = 30\%$$

$$SB^1 = SB - vBVe = 184{,}75 - 2x1{,}82 = 181{,}11$$

$$\rho B = \frac{SB^1}{St} x100\% = \frac{181{,}11}{798{,}90} x100\% = 23\%$$

$$SC^1 = SC - vCVe = 266{,}91 - 2x1{,}82 = 263{,}27$$

$$\rho C = \frac{SC^1}{St} x100\% = \frac{263{,}27}{798{,}90} x100\% = 33\%$$

$$SD^1 = SD - vDVe = 70{,}11 - 2x1{,}82 = 66{,}46$$

$$\rho D = \frac{SD^1}{St} x100\% = \frac{66{,}46}{798{,}90} x100\% = 8\%$$

Untuk error:

$$Se = St - SA^1 - SB^1 - SC^1 - SD^1$$

$$= 798{,}90 - 240{,}64 - 181{,}11 - 263{,}27 - 66{,}46 = 47{,}42$$

$$\rho e = \frac{Se^1}{St} x100\% = \frac{47.42}{798{,}90} x100\% = 6\%$$

Analisa dari ANOVA:

F ratio untuk semua faktor, yaitu : $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka Ho ditolak artinya ada pengaruh yang signifikan antara faktor dengan raw data. Berdasar dari kontribusinya mulai dari yang terbesar faktor C = 33%, faktor A = 30%, faktor B = 23%, faktor D = 8% dan error = 6%. Sehingga pengambilan data tidak bias.

b. Analisa Average Effect Response Mean dan S/N Ratio

Tabel 4.7 Average Effect Response Untuk S/N Ratio

Level	Depth Cut	Spindle	Feed Rate	Tool D
1	-25,7295	-24,6773	-20,329	-23,465
2	-21,5513	-24,091	-23,9251	-23,6982
3	-22,2994	-20,8118	-25,326	-22,4169
Delta	4,1781	3,8655	4,9969	1,2813
Rank	2	3	1	4

$$\overline{A_1} = \frac{-24{,}6207 - 27{,}8637 - 27{,}704}{3} = -25{,}7295$$

$$\overline{A_2} = \frac{-22{,}9904 - 24{,}8532 - 16{,}8103}{3} = -21{,}5513$$

$$\overline{A_3} = \frac{-26{,}4207 - 19{,}5563 - 20{,}9211}{3} = -22{,}2994$$

Effect of A= $\left|\max \overline{A} - \min \overline{A}\right| = \left|-21{,}5513 + 25{,}7295\right| = 4{,}1781$

Tabel 4.8 Average Effect Response Mean

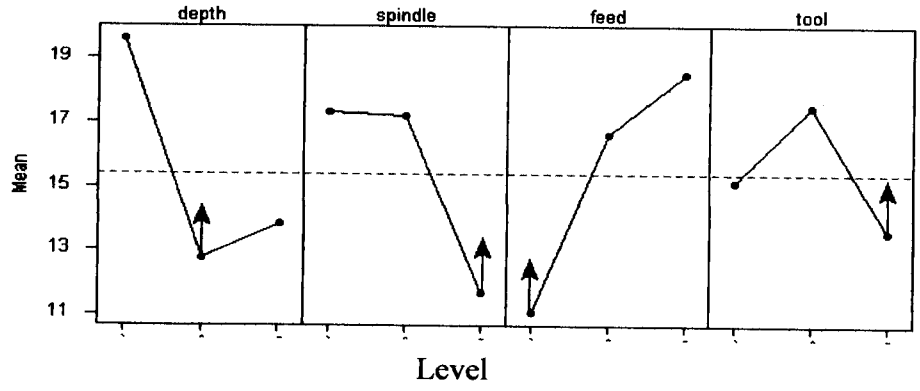
Level	Depth Cut	Spindle	Feed Rate	Tool D
1	19,6118	17,3133	11,0933	15,1578
2	12,7578	17,194	16,6162	17,4896
3	13,8433	11,7056	18,5033	13,5656
Delta	6,854	5,6078	7,41	3,924
Rank	2	3	1	4

$$\overline{A_1} = \frac{16{,}9633 + 24{,}6987 + 17{,}1733}{3} = 19{,}6118$$

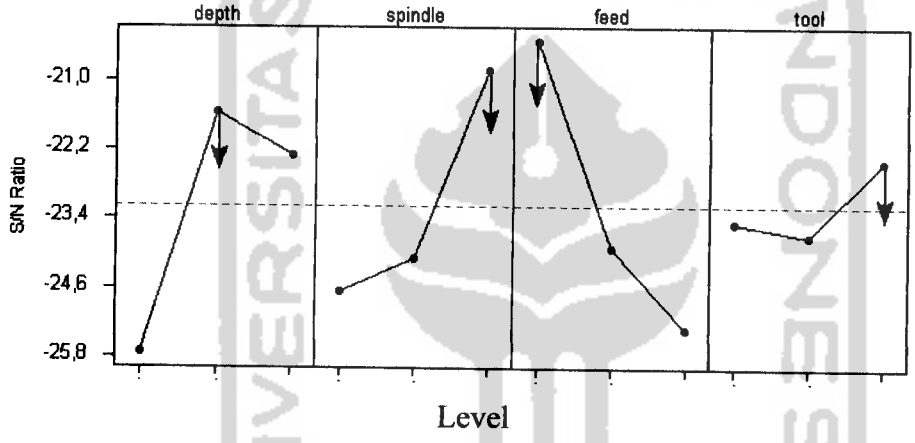
$$\overline{A_2} = \frac{14{,}04 + 17{,}4 + 6{,}8333}{3} = 12{,}7578$$

$$\overline{A_3} = \frac{20{,}9367 + 9{,}4833 + 11{,}11}{3} = 13{,}8433$$

Effect of A= $\left|\max \overline{A} - \min \overline{A}\right| = \left|19{,}6118 - 12{,}7578\right| = 6{,}854$



Grafik 4.1 Main effect plot for mean



Grafik 4.2 Main effect plot for S/N ratio

Pengeplotan digunakan untuk mempermudah dalam menganalisa data.

c. Menentukan Kombinasi Faktor –Level Optimum

Table 4.9 Faktor, level and effects

Faktor	Level	**Av. effect response mean**	**Av.effect response S/N ratio**
Depth cut (A)	2	12,7578	-21,5513
Spindle speed (B)	3	11,7056	-20,8118
Feed Rate (C)	1	11,0933	-20,329
Tool Diameter (D)	3	13,5656	-22,4169

Sehingga faktor level yang optimum didapat pada Depth Cut (A2) = 1.25 mm, spindle speed (B3) = 3000 rpm, feed rate (C1) = 125 mmpm, tool diameter(D3) = 10 mm.

FAK. TEKNOLOGI INDUSTRI
PERPUSTAKAAN
UII YOGYAKARTA

4.2.6 Memprediksi Surface Roughness Optimum

Predicted mean $= \overline{A_i} + \overline{B_j} + \overline{C_k} + \overline{D_l} - 3x(\overline{Y})$

$= \overline{A_1} + \overline{B_3} + \overline{C_1} + \overline{D_3} - 3x(\overline{Y})$

= 12,7578+11,7056+11,0933+13,5656– 3x15,4043= 2,9094

Predicted S/N $= \overline{\eta}_{A1} + \overline{\eta}_{B3} + \overline{\eta}_{C1} + \overline{\eta}_{D1} - 3x(\overline{\eta})$

= -20.08 – 20.95 – 21.03 – 17.05 – 3x(-23,1934) = -15,5289

Berdasarkan penghitungan hasil prediksi diatas maka hasil surface roughness optimum yang dapat dicapai yaitu 2,9094 x 10^{-1} µm dengan nilai variasi -15,5289

4.2.7 Konfirm eksperimen

a. Melakukan eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 5 kali. Hasil yang diperoleh untuk mean adalah 2.5346, 2.6354, 2.536, 2.4683 ,dan 2.5136. Mean 2,536.

b. Confidence interval-predicting mean

$$CI = \sqrt{F_{a,v1,v2} x Vex\left[\frac{1}{n_{eff}}\right]}$$

$$n_{eff} = \frac{jumlah\ eksperimen}{Sum\ Of\ Degree\ Of\ Freedom\ Used\ In\ Estimate\ Of\ Mean}$$

$$n_{eff} = \frac{9\,x\,3}{2+2+2+2} = 3{,}375$$

$$CI = \sqrt{F_{a,2,18} x 1{,}82 x \left[\frac{1}{3{,}375}\right]} = 1{,}3850$$

$$\mu_{predicted} - CI \le \mu_{predicted} \le \mu_{predicted} + CI$$

$$2{,}9094 - 1{,}3850 \le \mu_{predicted} \le 2{,}9094 + 1{,}3850$$

$$1{,}5243 \le \mu_{predicted} \le 4{,}2945$$

c. Confidence interval-konfirmasi mean

$$CI = \sqrt{F_{a,v1,v2} x Vex \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right]}$$

$$CI = \sqrt{F_{a,2,18} x 1{,}82 x \left[\frac{1}{3{,}375} + \frac{1}{5}\right]} = 1{,}7296$$

$$\mu_{confirmation} - CI \le \mu_{confirmation} \le \mu_{confirmation} + CI$$

$$2{,}536 - 1{,}7296 \le \mu_{predicted} \le 2{,}536 + 1{,}7296$$

$$0{,}9341 \le \mu_{predicted} \le 4{,}1378$$

d. Membandingkan Confidence interval-predicting mean dengan Confidence interval-konfirmasi mean

Confidence interval-predicting mean $1{,}5243 \le \mu_{predicted} \le 4{,}2945$

Confidence interval-konfirmasi mean $0{,}9341 \le \mu_{predicted} \le 4{,}1378$

4.2.8 Menghitung loss per piece

Dari penghitungan μ optimum = -15,5289. Sedangkan μ existing dengan kombinasi faktor – level A1, B1, C1 dan D1 diperoleh -24,6207.

$$\wp = kMSD_{existing} x \left[1 - 0.5^{\left(\frac{\mu_{optimum} - \mu_{existing}}{3} \right)} \right]$$

$$\wp = kMSD_{existing} x \left[1 - 0.5^{\left(\frac{-15,5289+24,6207}{3} \right)} \right]$$

$$\wp = kMSD_{existing} x \left[1 - 0.5^{3,036} \right]$$

$$\wp = kMSD_{existing} x 12,2377$$

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisa Penentuan Faktor Terkontrol, Noise Faktor dan Level

Dalam penelitian ini faktor terkontrol yang dipilih adalah depth cut, spindle speed, feed rate, dan tool diameter. Banyal level adalah 3 level, yaitu untuk menghindari nonlinieritas. Noise faktor atau faktor yang tidak terkontrol yang dipilih adalah pengukuran surface roughness dari bidang kerja karena nilai surface roughness tersebar merata dibidang kerja sehingga timbul kesulitan dalam pengukurannya.

Nilai depth cut yang dipilih adalah 1, 1.25 dan 1.5 mm karena untuk mendapat hasil surface roughness yang baik depth cut harus kecil. Untuk pemakanannya dilakukan dalam dua tahap yaitu untuk pemakanan kasar sebesar 75% dan pemakanan halus (finish) sebesar 25% dari nilai depth cut.

Nilai spindle speed diperoleh dari penghitungan otomatis dari software MasterCam berdasarkan jenis material benda kerja yaitu alumunium 2024 dan diperoleh untuk diameter tool 3 = 3183 rpm, diameter tool 5 dan 10 = 1909 rpm. Penggunaan spindle speed yang sering dipakai di Laboratorium adalah 800 – 1000 rpm. Sedangkan maksimum spindle speed dari mesin CNC yang digunakan adalah sebesar 8000 rpm. Berdasarkan nilai tersebut maka ditetapkan nilai spindle speed yang digunakan adalah 1000, 2000 dan 3000 rpm dengan pertimbangan mengambil nilai tertinggi dan nilai yang lebih rendah. Asumsi tersebut juga dikarenakan untuk faktor keamanan karena nilai spindle speed yang besar lebih

berbahaya dan juga untuk menyesuaikan besarnya feed rate agar tidak terjadi burning benda kerja dan tool.

Nilai feed rate diperoleh dari hasil rekomendasi penelitian tentang kisaran nilai feed rate yang diperbolehkan untuk jenis material alumunium dengan pemakanan High Speed Steel. Nilai yang diambil adalah nilai terendah, tengah dan tertinggi. Sehingga nilai yang didapat adalah 125, 200 dan 275. Pemilihan nilai ini untuk memberikan range yang besar sehingga informasi yang didapat lebih bermanfaat.

Tool diameter dimasukan dalam penelitian ini karena juga untuk mengetahui pengaruh tool diameter terhadap hasil surface roughness. Tool diameter yang dipilih adalah 3, 5 dan 10. Tool ini dari jenis dan bahan yang sama.

5.2 Analisa Orthogonal Array

Dalam penelitian ini digunakan empat faktor dengan tiga level tanpa adanya interaksi antar faktor. Dari penghitungan kesesuaian orthogonal array didapat bahwa orthogonal array yang sesuai adalah $L_9(3^4)$. Orthogonal array $L_9(3^4)$ terdiri dari empat kolom yang masing – masing kolom terdiri dari tiga level, sehingga setiap kolom dari orthogonal array tersebut digunakan sebagai kombinasi eksperimen. Dari penghitungan nilai efisiensi eksperimen penelitian ini didapat nilai sebesar 100%, artinya pemakaian orthogonal array ini sangat efisien diterapkan dalan eksperimen ini.

5.3 Analisa Nilai Surface Roughness

Untuk menentukan nilai surface roughness ini digunakan dial indicator. Dilakukan secara acak di 15 titik dengan 3 kali pengukuran agar didapat nilai yang lebih akurat. Metode penghitungan yang digunakan adalah *Roughness average (Ra)* karena metode ini paling banyak digunakan dalam industri dan penghitungannya sangat sederhana.

5.4 Analisa dari ANOVA

Uji ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh dari masing – masing faktor terhadap data. Dengan uji ini juga dapat diketahui seberapa besar error dalam pengambilan data. Derajat bebas denumerator didapat dari banyak level – 1, yaitu 3 – 1 = 2. Untuk derajat bebas numerator didapat dari 27 – 1 – 8 = 18. Dengan tingkat signifikansi 0,05 maka diperoleh Ftabel sebesar 3,55.

a. Analisa nilai F ratio dari setiap faktor adalah sebagai berikut:

F ratio depth cut adalah 66,9710 > 3,55, artinya depth cut mempengaruhi secara signifikan terhadap raw data. F ratio spindle speed adalah 50,6489 > 3,55 artinya depth cut mempengaruhi secara signifikan terhadap raw data. F ratio feed rate adalah 73,1729 > 3,55 artinya depth cut mempengaruhi secara signifikan terhadap raw data. F ratio tool diameter adalah 19,2203 > 3,55 artinya depth cut mempengaruhi secara signifikan terhadap raw data.

b. Analisa kontribusi setiap faktor terhadap raw data

Berdasarkan nilai F ratio, faktor tool diameter mempengaruhi secara signifikan raw data tetapi memberi kontribusi yang sangat kecil yaitu sebesar 8 %. Dari teori dan penelitian sebelumnya didapat bahwa tool diameter tidak mempengaruhi nilai surface roughness. Hal ini dimungkinkan kondisi tool yang digunakan dalam kondisi yang tidak sama. Error memberikan kontribusi yang sangat kecil dan tidak melebihi faktor lainnya sehingga pengambilan data ini sudah benar dan data tidak bias.

5.5 Analisa Average Effect Response Mean dan S/N Ratio

Average effect response mean digunakan untuk mengetahui performa dari masing – masing faktor – level. Performa terbaik adalah faktor level yang mempunyai nilai average effect response mean terkecil. Nilai delta dari masing – masing faktor dapat juga digunakan untuk mengetahui urutan kontribusi masing – masing faktor terhadap raw data. Dari nilai delta tersebut diperoleh urutan faktor dari yang terbesar adalah: feed rate, depth cut, spindle speed dan tool diameter. Hasil ini sama dengan hasil dari uji ANOVA.

Untuk mempermudah dalam analisa maka digunakan plot data:

- Untuk depth cut level optimal didapat pada level dua. Performa paling rendah didapat pada level satu.
- Untuk spindle , level optimal didapat pada level 3. Apabila level diturunkan maka performa semakin rendah.
- Untuk feed rate , level optimal didapat pada level 1. Semakin naik nilai levelnya maka performa semakin rendah.

PERPUSTAKAAN
YOGYAKARTA

- Untuk tool diameter level optimal didapat pada level 3. Apabila level diturunkan maka performa semakin rendah. Performa terendah pada level 1.

Dalam plot data digambarkan dengan adanya tanda panah keatas, berarti jika nilai mean semakin kecil maka performa justru semakin baik.

Average Effect S/N Ratio digunakan untuk mengetahui variasi dari masing – masing faktor – level. Variasi terkecil adalah faktor level yang yang mempunyai nilai Average Effect S/N Ratio terbesar. Nilai delta juga digunakan untuk mengetahui urutan kontribusi faktor terhadap raw data. Dari nilai delta tersebut diperoleh urutan faktor dari yang terbesar adalah: feed rate, depth cut, spindle speed dan tool diameter. Hasil ini sama dengan hasil dari analisa average effect response mean dan uji ANOVA.

- Untuk depth cut, nilai S/N terbaik diperoleh pada level 2. Level 1 menghasilkan variasi yang paling besar. Dari level 2 ke 3 maka menghasilkan variasi yang lebih kecil.
- Untuk spindle speed, nilai S/N terbaik diperoleh pada level 3. Apabila level diturunkan maka variasi semakin besar.
- Untuk feed rate, nilai S/N terbaik diperoleh pada level 1. Apabila level dinaikan maka variasi semakin besar.
- Untuk tool diameter terlihat bahwa range nilai variasi sangatlah kecil. Ini menunjukan bahwa tool diameter memberikan pengaruh kontribusi yang sangat kecil.

Dalam plot data digambarkan dengan adanya tanda panah kebawah, berarti jika nilai mean semakin besar maka variasi justru semakin baik.

Sehingga faktor level yang optimum didapat pada Depth Cut (A2)= 1.25 mm, spindle speed (B3) = 3000 rpm, feed rate (C1) = 125 mmpm, tool diameter(D3) = 10 mm.

Dari penghitungan nilai predicting mean diperoleh sebesar 2,9094 dan predicted S/N ratio -15,5289. Jika dibanding dengan nilai mean eksperimen, nilai predicting mean lebih kecil artinya nilai prediksi mempunyai performa yang lebih baik. Dan nilai predicted S/N ratio lebih besar daripada nilai S/N ratio eksperimen artinya variasinya lebih baik.

5.6 Analisa Konfirm Eksperimen

Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 5 kali. Hasil yang diperoleh adalah 2.5346, 2.6354, 2.536, 2.4683 ,dan 2.5136. Sehingga rata - rata mean 2,536.
Untuk mengetahui, hasil dari predicting mean reproducible yaitu dengan membandingkan nilai Confidence interval-predicting mean dengan Confidence interval-konfirmasi mean. Jika confidence interval-predicting mean lebih besar dari confidence interval-konfirmasi mean maka predicting mean reproducible. Dari penghitungan diperoleh sebagai berikut:

Confidence interval-predicting mean $1{,}5243 \leq \mu_{predicted} \leq 4{,}2945$

Confidence interval-konfirmasi mean $0{,}9341 \leq \mu_{confirmation} \leq 4{,}1378$

Nilai bawah confidence interval-predicting mean > confidence interval-konfirmasi mean, yaitu 1,5243 > 0,9341. Nilai atas confidence interval-predicting mean > confidence interval-konfirmasi mean, yaitu 4,2645 > 4,1378. Sehingga reproducible.

5.7 Analisa Loss per Piece

Diperoleh hasil $\wp = kMSD_{existing} x12{,}24$. Artinya adanya peningkatan performa atau penurunan loss sebesar 12,24% dibandingkan dengan sebelumnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Dengan menggunakan pendekatan DOE Taguchi didapat nilai surface roughness yang optimal adalah sebesar 2,9094 x 10^{-1} μm. Faktor level yang optimum didapat pada Depth Cut (A2)= 1.25 mm, spindle speed (B3) = 3000 rpm, feed rate (C1) = 125 mmpm, tool diameter(D3) = 10 mm.
2. Dari uji ANOVA diperoleh kontribusi setiap faktor terhadap hasil *surface roughness*, yaitu: faktor *feed rate* = 33%, faktor *depth of cut*= 30%, faktor *spindle speed* = 23%, faktor *tool diameter* = 8%.
3. Diperoleh peningkatan performa atau penurunan loss sebesar 12,24% dibanding dengan pengaturan sebelumnya.

6.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya alternatif lain yang bisa digunakan adalah dengan membandingkan menggunakan pendekatan desain of eksperimen lainnya dan memasukan faktor dan response lain yang lebih komplek.

DAFTAR PUSTAKA

Belavendram, N., (1995), *Quality By Design -Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, Prentice-Hall International, Maylands Avenue, UK

Chang, T. C., Wysk, R. A.& Wang, H. P., (1998), *Computer Aided Manufacturing (2nd ED.)*, Prentice-Hall International, Massachusetts

Fidan, I., Kraft, R. P., Ruff, L. E.& Derby, S. J., (1998), "*Designed Experiments To Invistestigate The Solder Joint Quality Output Of A Prototype Automated Surface Mount Replacement System*", *Component Packing and Manufacturing Technology Part C*: Manufacturing, IEE Transactions, V.21, No. 3, p. 172-181

Fowlkes, W. Y.& Creveling C. M,. (1995), *Engineering Methods For Robust Product Design – Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusets 01867

http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/metalwork/milling/endmill/index_e.html

http://Wikipedia\end mill\High speed steel - Wikipedia

Lin, S.C., (1994), *Computer Numerical Control-From Programming To Networking*, Albany, New York, Delmar

Lou, M. S. & Chen, J. C., (1999), "*Inprocess Surface Roughness Recognition System In End-Milling Operations*" ,International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 15, p.200-209.

Parashar, B. S. N.& Mittal, R. K., (2003) *Elements Of Manufacturing Processes* (Private Limited), Prentice Hall of India, New Delhi

Peace, G. S., (1993), *Taguchi Methods A Hands-On Approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusets 01867

Rao, N. P., (2004), *CAD/CAM Principles and Applications* (2nd ED.), Tata McGraw-Hill, New Delhi

Yang, J.L.& Chen, J.C., (2001), *A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance In End-Milling Operations*, Journal of Industrial Technology, V.17, No. 2

Yang, W. H. & Tarng, Y.S., (1998), *Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Operations Based On The Taguchi Method*, Journal of Materials Processing Technology, 84, p.122-129

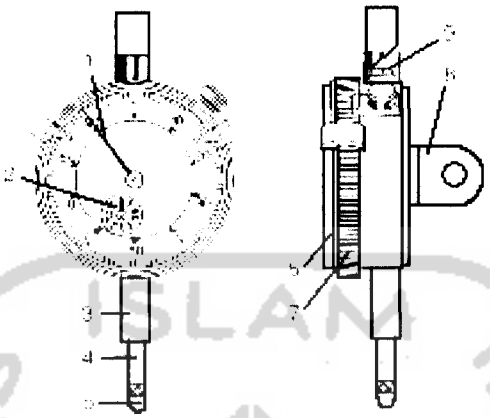
LAMPIRAN 1

Spesifikasi CNC FANUC MODEL MC07-PF

Specification \ Model		PINDAD FANUC MC07-PF
Travel	Table longitudinal (X-axis)	350 mm
	Table cross (Y-axis)	230 mm
	Spindle head vertical (Z-axis)	200 mm
	Distance of spinde nose to table top	210 - 410 mm
Table	Table size	500 mm x 230 mm
	Max. mass on table	80 kg
Spindle	Spindle motor	FANUC AC SPINDLE MOTOR - MODEL 1.5S 2,2 kW (30 min rating)
	Spindle speeds	80 - 8000 min
	Spindle	7 / 24 taper no. 30
Feedrate	Feed rate	1 - 5000 mm/min
	Rapid traverse	24m/min (X, Y axis) 20 m/min (Z axis)
Turret	Tool change system	Turret type independent
	Toll storage capacity	7 tools
	Max. changeable tool dia.	60 mm (Max. length 100 mm)
	Max. changeable tool length	180 mm (Max. dia of longer than 100mm : 40 mm)
	Max. Changeable tool mass	2 kg/tool (Total mass 10 kg)
	Tool selection	Random shortest path
	Tool change time	Approx : 3,5 sec (tool to tool)
	Tool shanks/ retention knobs	MAS403 BT30/P30T-1)
High of machine		1890 mm
Floor space		1500 cm x 1780 cm
Net weight		Approx. 1400kg
Precision (according to JIS B6201	Positioning accuracy	0,010mm/300mm (X, Y axis) ± 0,050mm/300mm (Z axis)
	Repeatibility	0,005 mm
Pendant type operator's panel		BASIC

LAMPIRAN 2

Dial Indicator



1. Long Hand
2. Short Hand
3. Stem
4. Spindle
5. Contact Point
6. Crystal
7. Bezel
8. Lug
9. Spindle Stop

CERTIFICATE OF INSPECTION

Product name : Dial Indicator Code No: 2048FE Model: Serial No : CRL953

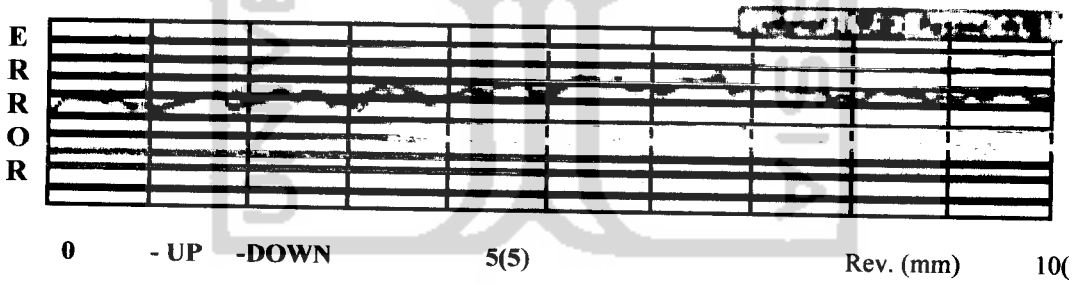
Graduation : 0.01 mm Measuring span : 10 mm Standard Temperature : 20 ° C

Inspection standard : Mitutoyo standard QC Manager : T.Kosuda

Permissible value unit : μ m			Dev	Permissible value *DIN **ANSI			Dev.
Error	1/10 (1/10 rev)	8.0	2.3	Error	Go span (fe*)	12.0	8.0
	1/2 (1/2 rev)	± 9.0	+3.0		Local go span (ft*)	5.0	2.7
	1 (1 rev)	± 10.0	+3.2		Total span (fges*)	15.0	8.6
	2 (2 rev)	± 13.0	+3.8		First 2 ½ rev **	±10.0	+3.8
	Total	± 13.0	+7.3		First 10 rev **	±13.0	+7.6
Hysteresis (fu*)		5.0 / 3.0	1.2		First 20 rev	-	-
Repeatibility (fw*)		5.0 / 3.0	passed		Over 20 rev **	-	-

[1] Based on : JIS B7503 : 1997, DIN878 : 1983

Traceable to : NMIJ/AIST by JCSS No. 0030, NIST via No821/263174-00,
PTB via No. 4599 PTB 00



Mitutoyo Corporation

LAMPIRAN 3

Kode Program CNC

```
%
O0000
(PROGRAM NAME - T)
(DATE=DD-MM-YY - 10-11-07 TIME=HH:MM - 14:34)
N1G20
N2G0G17G40G49G80G90
(TOOL - 1 DIA. OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - 10.)
N3T1M6
N4G0G90X5.25Y5.2501A0.S3000M3
N5G43H1Z50.M8
N6Z10.
N7G1Z-.625F3.58
N8X21.75F275
N9Y11.75
N10X5.25
N11Y18.25
N12X21.75
N13Y24.7499
N14X5.25
N15G0Z50.
N16Y5.2501
N17Z9.375
N18G1Z-1.25F3.58
N19X21.75F275
N20Y11.75
N21X5.25
N22Y18.25
N23X21.75
N24Y24.7499
N25X5.25
N26G0Z50.
N27X5.Y25.
N28Z10.
N29G1Z-.625F3.58
N30Y5.F275
N31X22.
N32Y25.
N33X5.
N34Z-1.25F3.58
N35Y5.F275
N36X22.
N37Y25.
N38X5.
N39G0Z50.
```

N40X5.25Y39.2501
N41Z10.
N42G1Z-.625F3.58
N43X21.75F275
N44Y45.75
N45X5.25
N46Y52.25
N47X21.75
N48Y58.7499
N49X5.25
N50G0Z50.
N51Y39.2501
N52Z9.375
N53G1Z-1.25F3.58
N54X21.75F275
N55Y45.75
N56X5.25
N57Y52.25
N58X21.75
N59Y58.7499
N60X5.25
N61G0Z50.
N62X5.Y59.
N63Z10.
N64G1Z-.625F3.58
N65Y39.F275
N66X22.
N67Y59.
N68X5.
N69Z-1.25F3.58
N70Y39.F275
N71X22.
N72Y59.
N73X5.
N74G0Z50.
N75X5.25Y73.2501
N76Z10.
N77G1Z-.625F3.58
N78X21.75F275
N79Y79.75
N80X5.25
N81Y86.25
N82X21.75
N83Y92.7499
N84X5.25
N85G0Z50.

N86Y73.2501
N87Z9.375
N88G1Z-1.25F3.58
N89X21.75F275
N90Y79.75
N91X5.25
N92Y86.25
N93X21.75
N94Y92.7499
N95X5.25
N96G0Z50.
N97X5.Y93.
N98Z10.
N99G1Z-.625F3.58
N100Y73.F275
N101X22.
N102Y93.
N103X5.
N104Z-1.25F3.58
N105Y73.F275
N106X22.
N107Y93.
N108X5.
N109G0Z50.
N110M5
N111G91G28Z0.M9
N112G28X0.Y0.A0.
N113M30
%

LAMPIRAN 4

FAK. TEKNOLOGI INDUSTRI
PERPUSTAKAAN
UII YOGYAKARTA

Data Pengukuran Surface Roughness

Eksperimen 1

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	17	17	16
2	17	18	17
3	20	16,5	17,5
4	21	18	16
5	16	20	17,5
6	15	18	15
7	18	17,5	14
8	17,5	18	14
9	20	18	14
10	18	18	15
11	18	17,5	17
12	17,5	15,5	13
13	19	16	13
14	20	17,5	15
15	20	18	14

Eksperimen 2

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	27	22	24,5
2	25	24,5	24
3	28	23	25,5
4	27	24,5	23
5	25	22	22
6	24,5	24	25,5
7	26,5	25,5	25
8	27	23	23,5
9	24	24	25,5
10	27	24,5	25
11	27,5	22	23,5
12	26	26	24,5
13	27,5	23,5	24,5
14	25	24	23
15	27,5	23	24

Eksperimen 3

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	16,5	19	18
2	17,5	18	16,5
3	16	17,5	18
4	17	18	16
5	16	19	17,5
6	17,5	18	16
7	15	17,5	17,5
8	17	18	16,5
9	17,5	18,5	17
10	15	18	17,5
11	16,5	17,5	17
12	16	16,5	16
13	15,5	16	18,5
14	15	17,5	17
15	17	18	18

Eksperimen 4

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	13,5	16	12
2	15	15	12
3	14,5	15,5	11,5
4	14,5	16	12,5
5	14	15	14
6	13,5	16,5	12,5
7	15	16,5	12
8	15,5	14	11,5
9	13	15,5	11
10	14	16	12
11	14	16	13
12	14,5	15,5	13
13	15	16	12,5
14	14,5	15	12
15	14	14,5	11,5

Eksperimen 5

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	15	19	17,5
2	15	18,5	16
3	15,5	20	16,5
4	14	17	17
5	16,5	18	20
6	15,5	18,5	16
7	15	20	17
8	15,5	20	17,5
9	14,5	21	17
10	15,5	17,5	19
11	16	18,5	17,5
12	16	18	18
13	15	19,5	18,5
14	15,5	20	17,5
15	16,5	19	16

Eksperimen 6

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	6	6,5	6
2	6,5	7	6
3	4	7	7
4	3,5	5,5	6,5
5	5	6,5	7
6	6,5	7	9
7	5	8,5	7
8	6	8	8,5
9	5,5	9	9
10	4,5	10	6,5
11	7	10	6
12	3,5	9	6
13	5	9	6
14	5	7,5	8,5
15	6,5	7	9

Eksperimen 7

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	21,5	22	19
2	18	22,5	18
3	18	19	21,5
4	21	19	19
5	17	22,5	20
6	18	21	19,5
7	18	21	20
8	20	19	20
9	21	19	20
10	19	19,5	18,5
11	22	21	19
12	21	21	19
13	19	18,5	20
14	19	18,5	20
15	20	19	19,5

Eksperimen 8

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	9	10	7,5
2	10	9	7,5
3	9	9	7,5
4	9	10	9
5	7	11	10
6	10	11	8
7	11	11	8
8	8	9	10
9	9	8	7
10	10	9,5	8
11	8,5	8,5	8
12	7	8,5	9
13	7	9	9
14	11	9	8,5
15	10	11	9

Eksperimen 9

No.	Data 1	Data 2	Data 3
1	12,5	11	13
2	12,5	10	9
3	12	9	9
4	12	9	12
5	11,5	10	12
6	11	12	12
7	12	11	12
8	11	11	13
9	11,5	10	9,5
10	12	12	9,5
11	12	12,5	11,5
12	13	12,5	11,5
13	12	10	10
14	11	9,5	11
15	11	9	11

LAMPIRAN 5

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design
L9(3**4)
Factors: 4
Runs: 9
Columns of L9(3**4) Array
1 2 3 4

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	Depth cut	Cutting spee	Feed rate	Tool D
1	-25,7295	-24,6773	-20,3291	-23,4650
2	-21,5513	-24,0911	-23,9251	-23,6982
3	-22,2994	-20,8118	-25,3260	-22,4169
Delta	4,1781	3,8655	4,9969	1,2813
Rank	2	3	1	4

Response Table for Means

Level	Depth cut	Cutting spee	Feed rate	Tool D
1	19,6118	17,3133	11,0933	15,1578
2	12,7578	17,1940	16,6162	17,4896
3	13,8433	11,7056	18,5033	13,5656
Delta	6,8540	5,6078	7,4100	3,9240
Rank	2	3	1	4

Predicted values

S/N Ratio	Mean
-15,5290	2,90934

Factor levels for predictions

Depth cut	Cutting spee	Feed rate	Tool D
2	3	1	3