

**STUDI KASUS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN
MATERIAL BAJA S45C PADA PROSES
PEMESINAN CNC BUBUT**

TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin



Disusun Oleh:

RIYO MULYADI NIRM:1041853

**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI
BANGKA BELITUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI KASUS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN
MATERIAL BAJA S45C PADA PROSES
PEMESINAN CNC BUBUT**

Oleh:

Riyo Mulyadi/NIRM:1041853

Laporan akhir ini telah dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program
Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng.

Pembimbing 2



Muhamad Riva'I, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Eko Yudo, S.S.T.,M.T.

Penguji 2



Erwansyah, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Riyo Mulyadi NIRM : 1041854

Dengan Judul : STUDI KASUS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN
MATERIAL BAJA S45C PADA PROSES PEMESINAN
CNC BUBUT

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 28 Januari 2022

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Riyo Mulyadi



.....

ABSTRAK

Pada dunia industri manufaktur yang serba canggih sekarang ini tentunya dibutuhkan hasil produk yang terbaik. Dalam dunia industri manufaktur kita mengenal berbagai jenis mesin seperti mesin bubut, mesin frais, mesin sekrup, dan lain sebagainya. Untuk menjawab kebutuhan pasar yang menginginkan produk dengan hasil maksimal dan mengasilkannya dalam waktu singkat, hadirilah mesin CNC (Computer Numerical Control) yang dapat menjawab kebutuhan tersebut. Pengerjaan pemesinan terutama pada pemesinan CNC bubut perlu diperhatikan tingkat kekasarannya. Tingkat kekasaran yang semakin rendah maka hasil pengerjaan tersebut akan lebih baik pula. Untuk itu perlu memperhatikan parameter yang digunakan agar kekasaran produk semakin rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter terbaik serta mencari besar kontribusi setiap parameter terhadap kekasaran permukaan. Proses pemesinan dilakukan pada mesin CNC bubut MORI SEIKI SL-25B/500 serta bahan S45C. Parameter digunakan terdiri dari gerak makan, tebal pemakanan, dan kecepatan spindle. Pada penelitian ini menggunakan metode rancangan percobaan berdasarkan metode taguchi dengan matriks orthogonal $L9(3^3)$ dengan 9 kali percobaan, 3 level dan 3 faktor digunakan, serta 2 kali replikasi sebagai pembanding tidak terjadinya penyimpangan jauh. Dari penelitian dihasilkan kontribusi dari gerak makan sebesar 50,4370%, dalam pemakanan sebesar 9,6376%, dan kecepatan spindle sebesar 7,2712%. kekasaran terkecil pada proses pemesinan CNC bubut MORI SEIKI SL-25B/500 diperoleh dari pengaturan parameter gerak makan 0,2 mm/put, dalam pemakanan 0,5 mm dan kecepatan spindle 2000 put/menit.

Kata Kunci: Kualitas, CNC, S45C, Parameter, Kekasaran.

ABSTRACT

In today's highly sophisticated manufacturing industry, of course, the best product results are needed. In the world of the manufacturing industry, we are familiar with various types of machines such as lathes, milling machines, scrap machines, and so on. To answer the market needs that want products with maximum results and produce them in a short time, there is a CNC (Computer Numerical Control) machine that can answer these needs. Machining work, especially on CNC lathe machining needs to be considered roughness level. The lower the roughness level, the better the workmanship will be. For this reason, it is necessary to pay attention to the parameters used so that the roughness of the product is getting lower. This study aims to determine the best parameters and find the contribution of each parameter to surface roughness. The machining process is carried out on a MORI SEIKI SL-25B/500 CNC lathe and S45C material. Parameters used consist of feed motion, feed thickness, and spindle speed. This study uses an experimental design method based on the Taguchi method with an orthogonal matrix L9(3³) with 9 trials, 3 levels and 3 factors used, and 2 replications as a comparison, there is no significant deviation. From the research, the contribution of feeding motion is 50.4370%, in feed is 9.6376%, and spindle speed is 7.2712%. The smallest roughness in the MORI SEIKI SL-25B/500 CNC lathe machining process was obtained from setting the feed motion parameter 0.2 mm/rev, in feed 0.5 mm and spindle speed 2000 rev/min.

Keywords: Quality, CNC, S45C, Parameter, Roughness.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-nya penyusunan tugas akhir yang berjudul **STUDI KASUS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA S45C PADA PROSES PEMESINAN CNC BUBUT**, ini dapat terselesaikan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada jurusan Teknik Mesin Manufaktur Politeknik Bangka Belitung. Perjalanan panjang telah penulis lalui dalam rangka perampungan penulisan skripsi ini. Banyak hambatan yang di hadapi dalam penyusunannya, namun berkat khendak-nyalah sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Olah karena itu, dengan penuh kerendahan hati pada kesempatan ini patutlah penulis mengucapkan berterima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda Jasmin dan ibunda Jamilah (Alm) tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan pada penulis.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, Ph.D., selaku Direktur Kampus Polman Negeri Bangka Belitung yang telah mendukung pelaksanaan tugas akhir.
3. Bapak Pristiansyah, M.Eng., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin yang telah mendukung pelaksanaan tugas akhir.
4. Bapak Boy Rollastin, M.T., selaku Kepala Prodi Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah mendukung pelaksanaan tugas akhir.
5. Bapak Yudi Oktriadi, M.Eng, selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini.
6. Bapak Muhamad Riva'i, M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan dukungan semangat dan masukan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini.

7. Serta semua pihak yang telah ikut membantu dan memberikan dukungan moral dalam penyelesaian makalah tugas akhir yang sebagai salah satu syarat kelulusan.

Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan bagi kita semua.

Sungailiat, 12 Januari 2021

Penulis,



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR LAMPIRAN.....	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Baja S45C	5
2.1.1 Pengertian Baja S45C	5
2.1.2 Penggunaan Baja S45C.....	5
2.1.3 Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C	5
2.1.4 Sifat Mekanik Baja S45C	6
2.2 Mesin Bubut CNC	6
2.2.1. Pengertian Mesin Bubut CNC	6
2.2.2. Prinsip Kerja Mesin CNC Bubut	7

2.2.3. Bagian-bagian Utama Mesin CNC Bubut	8
2.2.4. Pemograman Mesin Bubut CNC	9
2.2.5. Parameter Pengoperasian Mesin Bubut CNC.....	11
2.3 Kekasaran Permukaan	13
2.4 Metode <i>Taguchi</i>	15
2.5 Tahap Analisis	17
BAB III METODE PELAKSANAAN	20
3.1. Metode Pelaksanaan	20
3.2. Alat dan Bahan	21
3.2.1. Alat Penelitian	21
3.2.2. Bahan Penelitian	23
3.3. Proses Penelitian.....	24
3.3.1. Studi Literatur	24
3.3.2. Penentuan Parameter	24
3.3.3. Persiapan Alat dan Bahan.....	25
3.3.4. Proses Pengambilan Data	26
3.3.5. Perhitungan Hasil Data Awal	26
3.3.6. Pengolahan Data	27
BAB IV PEMBAHASAN.....	30
4.1. Prosedur Percobaan	30
4.1.1. Mempersiapkan bahan dan peralatan dalam penelitian	30
4.1.2. Proses pemesinan CNC bubut	31
4.1.3. Pengujian kekasaran permukaan.....	33
4.2. Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	34
4.3. Data Hasil Percobaan.....	34

4.4. Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	35
4.4.1. Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja	35
4.4.2. Perhitungan Rata-Rata Setiap Level.....	36
4.4.3. Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal	39
4.4.4. Analisa Variansi dan Persen Kontribusi	40
4.4.5. Analisis Varians <i>signal to noise ratio</i>	45
4.5. Percobaan Konfirmasi	51
4.6. Hasil Percobaan Konfirmasi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1. Unsur baja karbon S45C	6
2. 2. Sifat mekanik baja S45C	6
2. 3. Bahasa Kode G dan fungsinya	10
2. 4. Bahasa kode M dan fungsinya	11
2. 5. Kecepatan potong	13
2. 6. Tingkat kekasaran permukaan	14
2. 7. Tingkat kekasaran berdasarkan proses pengerjaan	14
2. 8. Matriks ortogonal	16
3. 1. Spesifikasi <i>surface roughness tester</i>	23
3. 2. Daftar variabel bebas dan level	24
3. 3. Parameter kontrol	25
3. 4 Matriks ortogonal untuk taguchi L9(3 ³)	25
3. 5 Total Derajat Kebebasan variabel bebas dan levelnya	27
4. 1. Fungsi alat pendukung	31
4. 2. Fungsi alat pendukung pengukuran	33
4. 3. Data percobaan hasil pengujian	34
4. 4. Matriks Ortogonal L9(3 ³)	35
4. 5. Tabel peringkat pengaruh parameter data kekasaran	37
4. 6. Pengaruh parameter data S/N	39
4. 7. Kombinasi variabel respon optimal	39
4. 8. Data rata-rata hasil pengukuran berdasarkan parameter	40
4. 9. Analisis Varian rata-rata kekasaran permukaan	43
4. 10. Persen kontribusi rata-rata kekasaran permukaan	44
4. 11. Data <i>signal noise to ratio</i> berdasarkan parameter	46
4. 12. Analisis varian <i>signal noise to ratio</i>	49
4. 13. Keputusan uji	49
4. 14. Persen kontribusi <i>signal noise to ratio</i>	51
4. 15. Percobaan konfirmasi	51

4. 16. Hasil percobaan konfirmasi.....	52
4. 17. <i>Signal noise to ratio</i> konfirmasi.....	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1. Mekanisme arah gerakan Mesin Bubut.....	7
2. 2. Bagian-bagian utama mesin CNC.....	8
2. 3 Metode <i>Incremental</i>	9
2. 4. Metode <i>Absolute</i>	10
2. 5. Profil permukaan (sumber: Rochim [13]).....	13
3. 1. Diagram alir metode pelaksanaan	20
3. 2. Mesin CNC bubut Mori Seiki SL-25B/500	21
3. 3. <i>Insert Carbide</i> CNMG 090308N-UX	22
3. 4. <i>Surface roughness tester</i> SJ-210	23
3. 5. Bahan Penelitian.....	24
3. 6. Dimensi benda kerja.....	26
4. 1. Benda kerja S45C dan <i>Insert carbie</i>	30
4. 2. Kunci L dan Oli pelumas	30
4. 3. Spidol Putih dan <i>Parallel Pad</i>	30
4. 4. Pemasangan <i>holder</i> pada <i>tool tured</i>	31
4. 5. Pencekaman benda kerja pada <i>chuck</i>	31
4. 6. Pemasangan <i>insert carbide</i>	32
4. 7. Program CNC.....	32
4. 8. Benda kerja setelah di proses pemesinan.....	32
4. 9. <i>Block-V</i> dan <i>Stand dial</i>	33
4. 10. Kalibrasi <i>surface roughness tester</i>	33
4. 11. Proses pengukuran menggunakan <i>surface roughness tester</i>	34
4. 12. Titik pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja.	34
4. 13. Grafik rata-rata kekasaran setiap parameter.....	37
4. 14 Grafik rata-rata S/N setiap parameter	39

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: DAFTAR RIWAYAT HIDUP

LAMPIRAN 2: SPESIFIKASI ALAT POTONG

LAMPIRAN 3: KECEPATAN *SPINDLE*

LAMPIRAN 4: PROSES PENGUKURAN

LAMPIRAN 5: UJI KENORMALAN DATA

LAMPIRAN 6: ANALISIS VARIAN *SOFTWARE* STATISTIK

LAMPIRAN 7: F-TABEL ALPHA 0,05



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada zaman yang serba praktis ini sudah menjadi tuntutan semua orang untuk melakukan segala hal dengan cepat dan dengan hasil yang maksimal. Hal inilah yang menjadi pemicu perkembangan teknologi semakin cepat, khususnya di bidang industri. Industri yang menghasilkan produk dengan skala besar pastinya harus memenuhi tuntutan pasar.

Dalam dunia industri manufaktur kita mengenal berbagai jenis mesin seperti mesin bubut, mesin frais, mesin sekrup, dan lain sebagainya. Untuk menjawab kebutuhan pasar yang menginginkan produk dengan hasil maksimal dan mengasilkannya dalam waktu singkat, hadirilah mesin CNC (*Computer Numerical Control*) yang dapat menjawab kebutuhan tersebut. Menurut Untoro dkk [1] Mesin CNC merupakan sebuah mesin digunakan pada Industri Manufaktur untuk menghasilkan produk atau barang dalam jumlah besar dengan waktu lebih cepat. CNC merupakan mesin yang diciptakan dengan pemograman terkontrol melalui sistem komputer dan digerakkan dengan kode tertentu.

Mesin CNC telah banyak digunakan dalam dunia manufaktur dan sangat membantu pekerjaan. CNC sendiri ialah sistem permesinan yang dikendalikan dengan sistem komputer, sistem ini memungkinkan industri untuk memaksimalkan kerja manufaktur yang biasanya dilakukan manual. Penggunaan mesin CNC ini berdampak besar karena meningkatkan produktivitas, tingkat kegagalan sangat rendah, minim limbah, serta menghasilkan ukuran yang sesuai [2].

Dalam pemesinan CNC, nilai kekasaran permukaan sangatlah penting, karena semakin kecil nilai kekasaran permukaan material maka semakin tinggi kualitas yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai kekasaran permukaan akan sangat mempengaruhi fungsi dari produk tersebut.

Penelitian terkait nilai kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan CNC bubut sudah sering dilakukan oleh peneliti lainnya. Namun, untuk mencari parameter yang cocok untuk dilakukan pemesinan CNC bubut pada material S45C, penulis ingin melakukan penelitian tentang ini. Penulis akan mencoba beberapa parameter untuk mengetahui nilai kekasaran terbaik.

Baja S45C termasuk dalam kategori baja karbon sedang yang banyak digunakan pada komponen mesin dan kebutuhan lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter yang cocok untuk dilakukan pemesinan CNC bubut dengan menggunakan material S45C. Menurut Jatmiko dkk [3] komposisi dari baja S45C adalah sebagai berikut C sebesar 0,473%, Mn sebesar 0,71%, Si sebesar 0,274% , P sebesar 0,0014%, dan S sebesar 0,0034%.

Telah banyak banyak penelitian tentang kekasaran permukaan pada proses pemesinan cnc bubut dengan material S45C. Salah satu dari penelitian tersebut dari penelitian Allam [4] dengan parameter kedalaman potong digunakan adalah 0,2; 0,3; 2,3; dan 2,5 mm digunakan laju pemakanan tetap yaitu 0,2mm/rev dan parameter laju pemakanan digunakan adalah 0,05; 0,1; 0,4; dan 0,5 mm/rev digunakan kedalaman kontrol tetap 1,3 mm. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin dalam permukaan maka kekasaran permukaan akan semakin besar dengan hasil pengujian 2,220 μm . Serta semakin rendah kecepatan pemakanan maka akan semakin rendah pula tingkat kekasaran dengan hasil pengujian 1,463 μm .

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Hariyanto dkk [5] dengan metode taguchi matriks ortogonal L9(3³) dan bahan S45C. Parameter digunakan terdiri dari *spindle speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*. Level setiap parameter terdiri dari *spindle speed* terdiri dari 1800;1030;560 dengan satuan rev/min, pada parameter *feed rate* terdiri dari 0,1;0,21;0,31 dengan satuan mm/rev, dan pada parameter *depth of cut* terdiri dari 0,1;0,2;0,3 dengan satuan mm. Penelitian tersebut menunjukkan hasil minimal dengan kekasaran rata-rata permukaan 1,18 μm hasil dari setingan parameter *spindle speed* pada level 1 yaitu 1800 rev/min, *feed rate* pada level 1 yaitu 0,1 mm/rev, dan *depth of cut* level 1 yaitu 0,1 mm. Adapun

pengaruh parameter secara signifikan secara berurutan terhadap kekasaran permukaan dimulai dari *feed rate*, *spindle speed*, sampai *depth of cut*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat ditentukan rumusan masalahnya sebagai berikut:

1. Apakah parameter gerak makan, dalam pemakanan, dan kecepatan *spindle* berkontribusi besar terhadap kekasaran permukaan.
2. Bagaimana pengaturan parameter proses yang tepat pada proses pemesinan CNC bubut agar diperoleh kekasaran minimal dengan menggunakan metode taguchi.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dilaksanakan secara terarah dan terfokus dan dapat mencapai tujuan diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Proses pemesinan menggunakan mesin CNC bubut MORI SEIKI-25B/500.
2. Material digunakan adalah baja jenis S45C dengan ukuran $\varnothing 25 \times 100$ mm.
3. Alat potong yang digunakan adalah *insert carbide SUMITOMO ELECTRIC CNMG 090308N-UX*.
4. Pengujian kekaasaran permukaan menggunakan *surface roughness tester SJ-210*.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besar kontribusi dari parameter proses pemesinan yaitu gerak makan, dalam pemakanan, dan kecepatan *spindle* terhadap kekasaran permukaan.
2. Untuk mengetahui paramater proses agar diperoleh nilai kekasaran minimal.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja S45C

2.1.1 Pengertian Baja S45C

Baja S45C termasuk dalam kategori baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,42~0,48% yang banyak digunakan pada komponen mesin dan kebutuhan lainnya. Baja S45C merupakan baja standarisasi JIS (*Japanese Industrial Standard*) terdapat pada penomorasi JIS G4051. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter yang cocok untuk dilakukan pemesinan CNC bubut dengan menggunakan material S45C.

Jadi baja S45C, pada S mengandung makna (dalam bahasa Jerman : *stahl*; dalam bahasa Inggris: *Steel*), dan angka 45C memiliki makna kadar carbon sebanyak $\pm 0,45$ %. Sehingga arti dari S45C adalah baja struktural dengan karbon sebanyak $\pm 0,45$ %, dan termasuk dalam kategori baja karbon sedang.

2.1.2 Penggunaan Baja S45C

Baja S45C pada dunia pemesinan biasanya sering digunakan untuk bahan utama *sprare parts* atau komponen mesin. Menurut Fawwaz [6] baja karbon sedang pada komponen otomotif biasanya digunakan pada bagian *crankshaft* (poros engkol), *internal combustion engine* (motor pembakaran dalam), dan *shaft* (batang poros).

Menurut Kholil dkk. [7] baja yang sejenis dengan baja S45C adalah baja ST60 merupakan material bisa digunakan sebagai material poros propeller, baik itu poros propeller maupun engsel propeller nya.

Pada sumber lain mengatakan [8] baja karbon jenis ini umumnya digunakan untuk komponen otomotif seperti roda gigi, poros, dan bantalan.

2.1.3 Unsur Baja dan Sifat Mekanik Baja S45C

Adapun unsur kandungan yang terdapat pada baja S45C menurut standar JIS G4051 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1. Unsur baja karbon S45C

Unsur	%	Sifat Mekanik Lainnya
Karbon	0,42~0,48	<i>Tensile strengt</i> (kekuatan tarik)
Mangan	0,60~0,90	<i>Yield strenght</i> (kekuatan hasil)
Sulfur	Maks. 0,035	<i>Elongation</i> (pemanjangan)
Fosfor	Maks. 0,030	<i>Reduktion in area</i> (pengurangan sifat)
Silican	0,15~0,35	<i>Hardness</i> (kekerasan)

Sumber : JIS (*Japanese Industrial Standar*)

2.1.4 Sifat Mekanik Baja S45C

Adapun unsur kandungan yang terdapat pada baja S45C menurut standar JIS G4051 dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 2. Sifat mekanik baja S45C

Sifat Mekanik	Keterangan
Kekuatan Tarik	569~686 N/mm ²
Kekuatan Luluh	343~490 N/mm ²
Meregang	17~20 %/mm
Kekerasan	201~269

Sumber : JIS (*Japanese Industrial Standar*)

2.2 Mesin Bubut CNC

2.2.1. Pengertian Mesin Bubut CNC

Pengertian mesin CNC (*Computer Numerical Control*) bubut merupakan proses pengerjaan bubut dengan sistem dimana pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol oleh komputer CNC, yang pergerakannya dikontrol dengan kode yang dibuat. Secara umum sistem kerja mesin CNC dan konstruksinya adalah sinkronisasi antara komputer dengan mekaniknya melalui program yang telah di buat. Kelebihan dari mesin CNC dari mesin perkakas lainnya adalah mesin CNC lebih unggul dari segi kepresisian, ketelitian, fleksibilitas dan kapasitas produksi yang lebih cepat.

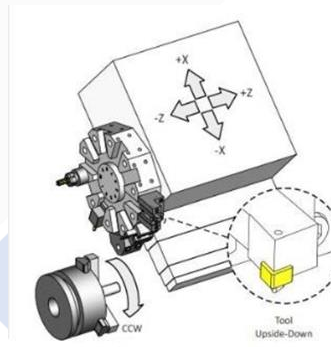
Jadi mesin CNC bubut dapat diartikan sebagai mesin bubut yang dikendalikan melalui computer, dengan menggunakan bahasa digital agar mesin CNC bubut bekerja sesuai perintah kode standarisasi pada kode pemesinan CNC.

2.2.2. Prinsip Kerja Mesin CNC Bubut

Pada dasarnya prinsip kerja mesin bubut CNC sama hal dengan prinsip kerja mesin bubut konvensional mempunyai prinsip gerakan dasar yaitu gerakan ke arah melintang dan horisontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z dengan benda kerja dipasang pada cekam bergerak putar dan alat potong bergerak sesuai sumbu. Kebanyakan mesin bubut diprogram pada dua sumbu sebagai berikut:

- Sumbu X dengan arah gerak melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
- Sumbu Z dengan arah gerak memanjang sejajar terhadap sumbu putar.

Untuk mekanisme arah gerak pemotongan pada mesin bubut sebagai berikut:

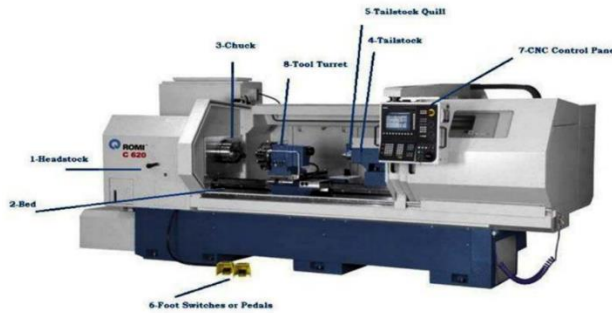


Gambar 2. 1. Mekanisme arah gerakan Mesin Bubut

Sumbu X diartikan sebagai sumbu yang tegak lurus terhadap sumbu poros *spindle* mesin CNC dengan arah positif bermakna menjauh dari sumbu *spindle* dan arah negatif mendekati sumbu *spindle*, dan sumbu Z diartikan sebagai sumbu yang sejajar dengan sumbu *spindle* dengan arah positif bermakna menjauh dari *spindle* dan arah negatif bermakna mendekati *spindle*. Dengan begitu dapat dikatakan sumbu X adalah panjang dari benda kerja dan sumbu Y adalah diameter benda kerja yang di proses. Pembuatan program CNC digunakan sistem koordinat benda kerja (*Workpiece Coordinate System*).

2.2.3. Bagian-bagian Utama Mesin CNC Bubut

Bagian-bagian utama mesin CNC bubut ditunjukkan pada gambar 2.2. berikut:



Gambar 2. 2. Bagian-bagian utama mesin CNC

Menurut reza [9] bagian utama mesin CNC bubut sebagai berikut

1. Kepala tetap (*headstock*)
Tidak terlalu berbeda dengan mesin bubut konvensional, bagian ini terdapat roda gigi sebagai pengatur kecepatan, motor sebagai penggerak spindle. Sebagai pembeda pengaturan kecepatan spindle tidak menggunakan tuas melainkan dengan program melalui panel kontrol.
2. Meja (*bed*)
Komponen ini digunakan sebagai landasan atau lintasan alat potong dan *tailstock*. Umumnya berbahan dikeraskan agar tidak mudah terkikis akibat gesekan.
3. Cekam (*chuck*)
Komponen ini berfungsi mencekam benda kerja yang akan dilakukan proses pemesinan, dan pengecaman benda kerja harus benar-benar kuat.
4. Kepala Lepas (*tailstock*)
Komponen ini berfungsi sebagai komponen yang membantu dalam pengecaman benda kerja misalnya benda kerja yang relatif panjang dengan dibantu *tailstock* akan membuat benda kerja relatif stabil.
5. Pena kepala lepas (*tailstock quill*)
Komponen ini merupakan bagian dari *tailstock* yang akan bersentuhan langsung dengan benda kerja, komponen ini dapat dilepas pasang dari *tailstock*.

6. Pedal Kaki (*Foot pedals switch*)

Komponen ini berfungsi sebagai *switch* perintah mencekam dan melepaskan cengkaman benda kerja pada *chuck*.

7. Panel Kontrol CNC (*CNC control panel*)

Komponen ini merupakan otak dari mesin CNC dimana semua perintah dalam bentuk program diprogram pada komponen ini. Komponen ini dapat juga sebagai media *transfer* data program mesin.

8. Rumah Alat (*tool turret*)

Komponen ini merupakan sebagai pengganti *toolpost* pada mesin konvensional, perbedaan yang menonjol adalah komponen ini dapat mengganti nomor alat potong dengan cepat dan dapat diisi lebih dari satu alat potong tergantung spesifikasi masing-masing *tool turret*.

2.2.4. Pemrograman Mesin Bubut CNC

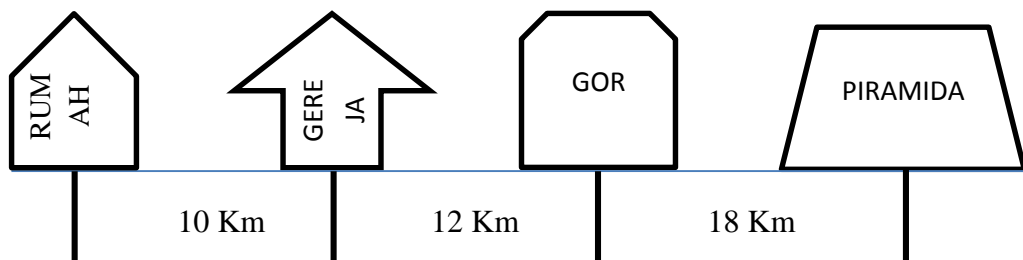
Pemrograman mesin adalah suatu proses perintah yang dibuat secara rinci agar mesin bergerak sesuai dengan perintah yang diprogram.

1. Metode pemrograman

Secara umum pemrograman mesin CNC dibagi menjadi 2 jenis yaitu *incremental* dan *absolute*. Pengertian dari 2 jenis metode tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Metode *incremental*

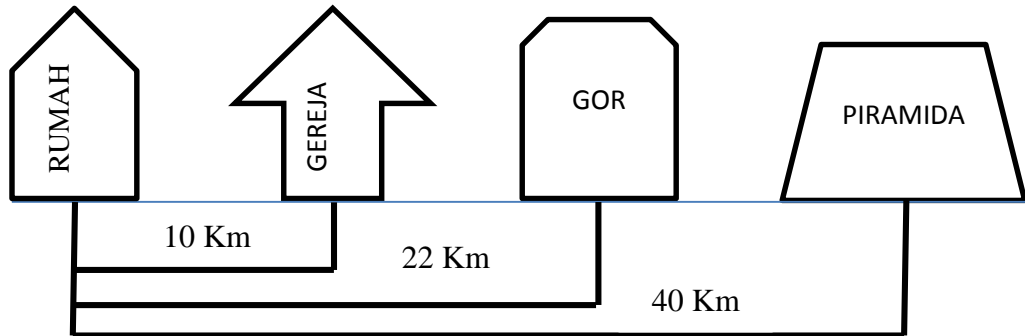
Metode *incremental* merupakan metode pemrograman dimana titik nolnya selalu berubah, yaitu titik terakhir merupakan sebagai titik nolnya [10]. Agar lebih jelas metode *incremental* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Metode *Incremental*

b. Metode *absolute*

Metode *absolute* merupakan metode pemrograman dimana titik nolnya selalu tetap, yaitu titik awal yang selalu digunakan sebagai titik referensi [10]. Agar lebih jelas metode *absolute* dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4. Metode *Absolute*

2. Bahasa pemrograman

Bahasa pemrograman merupakan suatu format blok perintah yang berisikan kode menggunakan sebuah huruf, angka dan simbol. Pada mesin CNC terdapat perangkat komputer yang berfungsi sebagai otak komputer dikenal dengan MCU (*machine control unit*). Fungsi dari MCU sendiri adalah sebagai pengubah kode pemrograman menjadi gerakan perintah.

Mesin CNC sekarang ini terdapat kode yang telah terstandar. Kode umumnya digunakan pada mesin CNC adalah kode G dan M. kode G merupakan kode yang mengacu pada pergerakan *toolpost* pada pergerakan sumbu X, Y dan Z. Kode M atau kode lainnya digunakan untuk menghidupkan dan mematikan operasi komponen mesin tertentu.

Berbagai macam bahasa kode G dan fungsinya sering digunakan dapat dilihat pada tabel 2.3. berikut.

Tabel 2. 3. Bahasa Kode G dan fungsinya

	Fungsi
G00	Program gerakan tanpa pemakanan
G01	Program gerakan pemakanan lurus
G02	Program gerakan pemakanan melingkar searah jarum jam
G03	Program gerakan pemakanan melingkar berlawanan jarum jam

G04	Program gerakan berhenti sesaat
G40	Program pembatalan kompensasi radius
G41	Program pembubutan diameter luar
G42	Program pembubutan diameter dalam
G54	Program titik nol benda kerja diaktifkan
G70	Program <i>finishing</i>
G71	Program pemakanan secara otomatis berulang
G90	Pemogramaman metode <i>absolute</i>
G91	Pemogramaman metode <i>incremental</i>
G92	Program pembuatan ulir
G96	Program mengatur kecepatan potong
G97	Program pengaturan kecepatan konstan <i>off</i>

Berbagai bahasa kode M dan fungsinya dapat dilihat pada tabel 2.4.berikut.

Tabel 2. 4. Bahasa kode M dan fungsinya

	Fungsi
M02	Program berakhir
M03	Program <i>spindle on</i> searah jarum jam
M04	Program <i>spindle on</i> berlawanan jarum jam
M05	Program <i>Spindle off (stop)</i>
M08	Program <i>on colling</i>
M09	Program <i>off colling</i>
M30	Akhir program dan <i>toll</i> kembali posisi semula

2.2.5. Parameter Pengoperasian Mesin Bubut CNC

Adapun beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengoperasian mesin bubut pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan Potong (*Cutting speed*)

Cutting speed merupakan suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan saat penyayatan atau pemotongan benda kerja. Harga kecepatan

potong ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda yang akan dipotong.

Adapun rumus untuk menentukan kecepatan potong adalah:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (mm/menit)(1)}$$

Keterangan :

V_c = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter benda kerja (mm)

n = putaran *spindle* (put/menit)

π = 3,14

2. Kedalaman Pemotongan (*Depth of cut*)

Kedalaman pemotongan adalah nilai kedalaman pemakanan yang dibeiakan pada saat proses pembubutan. Adapun rumus kedalaman potong yaitu:

$$a = \frac{d_o + d_m}{2} \text{ (mm)(2)}$$

keterangan :

d_o = Diameter awal (mm)

d_m = Diameter akhir (mm)

3. Gerak makan (*Feeding*)

Gerak makan (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh alat potong setiap benda kerja mengalami putaran satu kali sehingga satuannya adalah mm/rev. Gerak makan ditentukan oleh material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, kekuatan mesin serta tingkat kehalusan permukaan yang diinginkan. Kecepatan makan memiliki pengertian yaitu jarak dari gerakan pahat potong sepanjang jarak kerja untuk setiap putaran dari *spindle* [11]. Adapun rumus kecepatan pemakanan yaitu:

$$V_f = f \times n \text{ (mm/menit)(3)}$$

keterangan

V_f = Kecepatan Pemakanan (mm/menit)

f = Gerak makan (mm/rev)

n = Putaran spindel (rev/ menit)

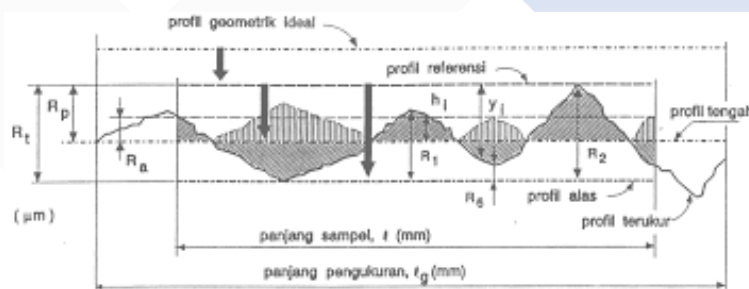
Kecepatan potong *insert carbide* dapat dilihat pada tabel 2.5. berikut.

Tabel 2. 5. Kecepatan potong

Material	VC (m/menit)	
	HSS	Carbide
ST60, AISI1045,S45C CK45	18-21	70-200

2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan suatu karakteristik permukaan dan ketidakraturan konfigurasi permukaan berupa guratan yang terlihat pada profil permukaan. Kekasaran permukaan dapat juga dikatakan jarak penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil. Faktor yang mempengaruhi nilai kekasaran antara lain: pengaturan parameter pemotongan, dimensi pahat dan geometri, cacat pada material benda kerja dan kerusakan pada aliran geram [12].



Gambar 2. 5. Profil permukaan (sumber: Rochim [13])

Berdasarkan Gambar 2.5. dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

- Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
- Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kuadratik R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

- e. Kekasaran total rata-rata Rz (μm), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

Simbol terdapat pada kekasaran permukaan nilai dari kekasaran permukaan yang disebut dengan *roughness average* (Ra). Dimana penyimpangan aritmatiknya telah diklasifikasi oleh ISO menjadi 12 tingkat kekasaran. Tingkat kekasaran yang telah diklasifikasi sesuai ISO R1302:1992 dapat dilihat pada tabel 2.6. berikut.

Tabel 2. 6. Tingkat kekasaran permukaan

Ra (μm)	Tingkat kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,05	N2	
0,025	N1	0,08

Pada pengerjaan akhir proses pemesinan dalam menentukan tingkat kekasaran permukaan benda kerja yang di proses pemesinan CNC bubut, yang kekasaran permukaan yang distandarkan sesuai dengan tabel 2.7. berikut.

Tabel 2. 7. Tingkat kekasaran berdasarkan proses pengerjaan

Proses pengerjaan	Selang (N)
<i>Flat and cylindrical lapping</i>	N1-N4
<i>Superfinishing diamond turning</i>	N1-N6

<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1-N8
<i>Finishing</i>	N4-N8
<i>Face and finishing roughness turning, milling and reaming</i>	N5-N12
<i>Drilling</i>	N7-N10
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	N6-N12
<i>Sandcasting and forging</i>	N10-N11
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6-N8

Dari tabel 2.7. diatas diketahui bahwa tingkat kekasaran dari pengerjaan bubut adalah N5 sampai N12 dengan nilai 0,4 μm sampai 50 μm .

2.4 Metode Taguchi

2.4.1 Pengertian Metode Taguchi

Metode *taguchi* merupakan metode desain eksperimen dalam suatu rancangan percobaan untuk mengatakan nilai-nilai dari variabel dapat dikendalikan dengan tujuan memperbaiki kualitas produk sehingga dapat meminimalkan variasi yang disebabkan variabel gangguan. Keunggulan metode taguchi dapat digunakan untuk melaksanakan penelitian dengan melibatkan banyak faktor dan jumlah, sehingga menghasilkan kesimpulan dengan hasil respon yang minimal terhadap respon faktor-faktor dan level dari faktor tersebut [14].

Dengan metode taguchi ini dapat ditarik kesimpulan parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang minimal. Analisa taguchi juga dapat memperkirakan hasil dari proses tersebut apabila digunakan kombinasi patameter yang berbeda pada pengujian untuk dapat mengoptimal perencanaan suatu produksi.

2.4.2 Langkah-langkah Metode Taguchi

Adapun langkah-langkah metode *taguchi* dalam sebuah eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Menentukan perumusan masalah secara spesifik dan jelas secara teknis hingga dapat dituangkan kedalam percobaan.

2. Menentukan tujuan dari proses atau lebih khususnya lagi target value untuk pengukuran performansi dari suatu proses.
3. Menentukan parameter kontrol desain yang memberikan efek terhadap proses.
4. Menentukan respon merupakan nilai keluaran yang berkaitan dengan parameter, dalam hal ini responnya adalah kekasaran permukaan
5. Menentukan jumlah level parameter dan nilai parameter
6. Menentukan derajat kebebasan dari parameter dan level yang telah ditentukan. Derajat kebebasan matriks ortogonal (V_{mo}) ditentukan sebagai berikut.

$$V_{mo} = \text{jumlah percobaan} - 1$$

Derajat kebebasan dari parameter dan level (V_{fl}) ditentukan sebagai berikut.

$$V_{fl} = \text{jumlah level parameter} - 1$$

Menentukan Matriks ortogonal ditentukan berdasarkan jumlah derajat kebebasan dari jumlah parameter dan jumlah level parameter tersebut. Matriks ortogonal berfungsi untuk mengevaluasi sejumlah parameter terhadap jumlah dari percobaan yang minimal. Matriks ortogonal disimbolkan dengan: $L_a(b^c)$

Keterangan:

- L = rancangan bujur sangkar
- a = banyak percobaan
- b = banyak level parameter
- c = banyak parameter

Untuk ketentuan matriks *ortogonal array* dapat ditentukan sesuai tabel 2.8. berikut.

Tabel 2. 8. Matriks ortogonal

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level gabungan
$L4(2^3)$	$L9(3^4)$	$L16(4^3)$	$L25(5^6)$	$L18(2^3 \times 3^7)$
$L8(2^7)$	$L27(3^{13})$	$L64(4^{21})$		$L32(2^3 \times 4^9)$

L12(2 ¹¹)	L81(3 ⁴⁰)	L36 (2 ¹¹ x 3 ¹²)
L16(2 ¹⁵)		L36(2 ³ x 3 ¹³)
L32(2 ³¹)		L54(2 ¹ x 3 ³⁵)
L64(2 ⁶³)		L56(2 ³ x 5 ¹¹)

Sebagai contoh apabila matriks ortogonal L4(2⁷) berarti jumlah percobaan dilakukan adalah sebanyak 4 kali, dengan 2 level setiap aparameter dan terdiri dari 7 faktor yang digunakan. Faktor yang dimaksud adalah parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan sebagai respon yang diambil dari penelitian ini.

2.5 Tahap Analisis

Tahapan ini berisi pengumpulan dan pengolahan data dilakukan, berikut adalah tahapan analisis:

1. Analisis *Taguchi*

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data meliputi pengolahan nilai data berdasarkan level parameter. Kemudian didapatkan *signal noise*.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} (\mu\text{m}) \dots\dots\dots (4)$$

2. Analisis Variansi

Analisis varians merupakan teknik analisis data yang disusun berdasarkan eksperimen. Analisis varians ini memanfaatkan teknik analisis dengan mengurai total parameter diteliti. Analisis ini menggunakan analisis varians jenis dua arah yang berarti data eksperimen yang diteliti terdiri dari 2 faktor atau lebih dari 2.

3. Rasio S/N

Rasio signal to noise digunakan untuk memilah faktor yang berkontribusi pada pengurangan variansi respon. Ada beberapa jenis *signal to rasio* tergantung dari respon apa yang di ambil. Beragam jenis *signal to noise* ditunjukkan sebagai berikut.

a) *Smaller the beter* (S/N SB|)

Jenis *signal to noise* ini diamana nilai data yang semakin kecil maka kualitas dari data tersebut semakin baik. Misalnya respon yang diambil

adalah keausan, kekasaran, dan lain-lain. Perhitungan *signal to noise* menggunakan rumus.

$$S/N \text{ SB} = -10 \text{ Log} [\sum_{i=1}^n y_i^2] \dots (5)$$

b) *Larger the Better* (S/N LB)

Jenis *signal to noise* ini diamana nilai data yang semakin besar maka kualitas dari data tersebut semakin baik. Misalnya respon yang diambil adalah kekuatan material, MMR dan lain-lain. Perhitungan *signal to noise* menggunakan rumus.

$$S/N \text{ SB} = -10 \text{ Log} [\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}] \dots (6)$$

c) *Nominal the Better* (S/N NB)

Jenis *signal to noise* ini diamana nilai data yang semakin mendekati angka tertentu maka kualitas dari data tersebut semakin baik. Misalnya respon yang diambil adalah kekuatan viskositas, keakuratan dimensi dan lain-lain. Perhitungan *signal to noise* menggunakan rumus.

$$S/N \text{ SB} = -10 \text{ Log} [\frac{(y_i - y)^2}{n}] \dots (7)$$

4. Analisis uji hipotesis F

Analisis uji F digunakan untuk uji pembuktian dan mencari besarnya suatu proses pengaruh parameter kendali secara signifikan terhadap respon. Hipotesis digunakan untuk dugaan sementara pada suatu proses yang kebenarannya masih lemah dalam populasi, digunakan untuk mendoatkan keputusan, yaitu menerima atau menolak hipotesis.

Pada penelitian ini taraf signifikan α adalah 5% (0,05). Uji hipotesis F dilakukan dengan membandingkan variansi yang disebabkan masing faktor dan variansi eror.

Hipotesis pengujian yaitu:

H0 : tidak ada pengaruh perlakuan

H1 : ada pengaruh perlakuan

Kriteria Pengujian :

Jika nilai uji F Test (hitung) < nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh perlakuan

terhadap kekasaran permukaan dengan kata lain H_0 diterima dan H_1 ditolak.

Jika uji F Test (hitung) > nilai F tabel ($\alpha = 5\%$), maka hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan terhadap kekasaran permukaan dengan kata lain H_0 ditolak dan H_1 diterima.

5. Persen kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi dari setiap parameter, dimulailah dengan menghitung SS' sebagai berikut:

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - MS_{error}(V_{faktor}) \dots (8)$$

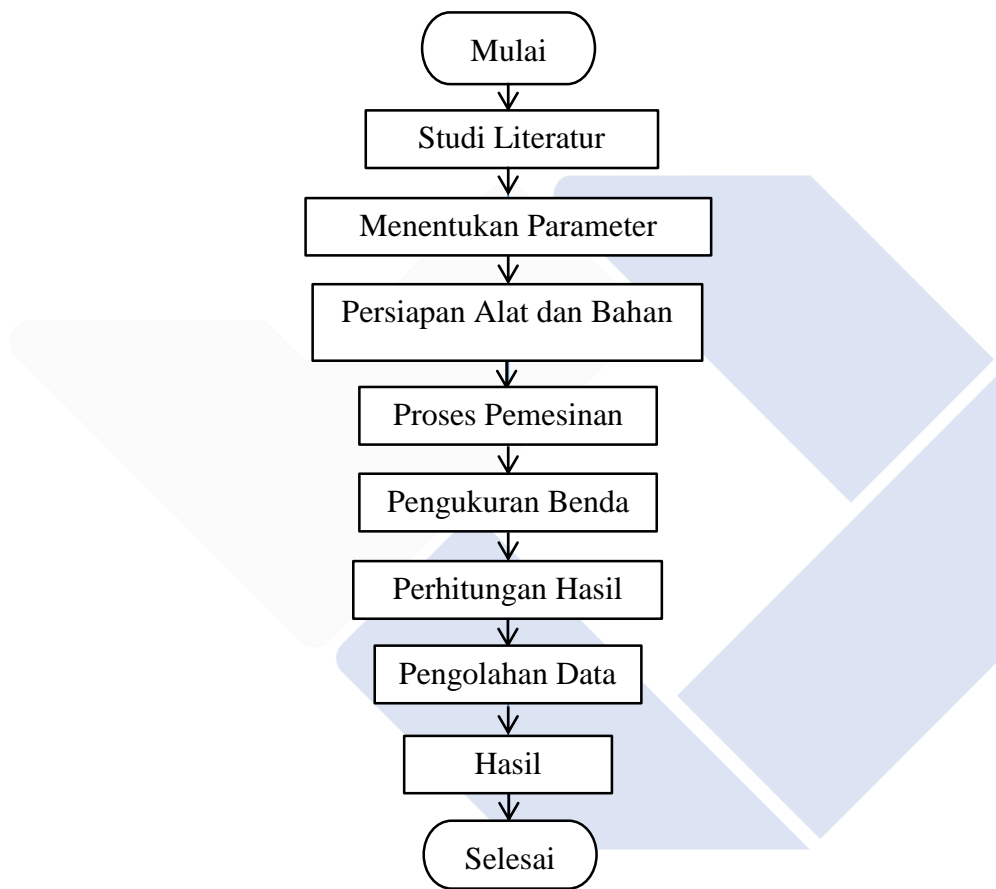
Dilanjutkan dengan menghitung persen kontribusi setiap faktor:

$$P(\%) = \frac{SS'_{faktor}}{SS_{Total}} \times 100 \% \dots (9)$$

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1. Metode Pelaksanaan

Penelitian yang berjudul “Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Material Baja S45C Pada Proses Pemesinan CNC Bubut” ini dilaksanakan pada diagram alir pada gambar 3.1. berikut ini:



Gambar 3. 1. Diagram alir metode pelaksanaan

Berdasarkan diagram diatas, tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur. Hal yang dilakukan pada tahap ini adalah mencari informasi serta data terkait penelitian yang akan kita lakukan seperti mencari jurnal, buku, serta materi terkait.

Tahap kedua adalah menentukan parameter yang akan digunakan, parameter yang berpengaruh pada kekasaran permukaan pada material seperti kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan. Kedua faktor tersebut akan

mempengaruhi hasil dari kekasaran material yang dilakukan proses pemesinan. Adapun parameter yang saya pilih setelah melakukan studi literatur adalah sebagai berikut ini.

Pada tahap ketiga hal yang akan dilakukan adalah persiapan alat dan bahan seperti menyiapkan material S45C dan alat potong. Dalam persiapan alat ini termasuk survei-survei material dan alat potong ke toko-toko material. Survei tidak hanya mencari harga terbaik juga yang mana bisa mendapatkan sertifikat bahan.

Tahap keempat adalah melakukan proses pemesinan di mesin cnc bubut. Parameter yang telah kita pilih akan dilakukan pada mesin CNC bubut, pada satu benda kerja akan di lakukan satu parameter dan benda kerja tersebut akan dilakukan proses pengukuran pada tahap selanjutnya.

Pada tahap kelima, hal yang akan dilakukan adalah melakukan pengukuran menggunakan *surface roughness tester*. Pada tahap ini kita melakukan pengukuran serta melakukan perekaman data hasil pengukuran.

Pada tahap terakhir hal yang dilakukan adalah melakukan pengolahan data, serta melakukan kesimpulan parameter yang paling cocok untuk mempengaruhi kekasaran permukaan tersebut.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

Adapun peralatan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mesin bubut CNC

Mesin bubut CNC yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin bubut CNC SL-25 B/500S sesuai gambar 3.2. berikut.



Gambar 3. 2. Mesin CNC bubut Mori Seiki SL-25B/500

Spesifikasi :

Merk : *MORI SEIKI*

Tipe : SL-25B/500
Pembuatan : di Jepang tahun 1996

b. Mata potong

Mata potong yang digunakan adalah *insert carbide* merk *SUMITOMO ELECTRIC* jenis CNMG 090308N-UX. Kelebihan dari pahat jenis ini adalah kekerasan tinggi pada berbagai tingkat suhu, konduktivitas termal tinggi serta modulus tinggi. Mata potong sesuai pada gambar 3.3. berikut.



Gambar 3. 3. *Insert Carbide* CNMG 090308N-UX

Spesifikasi:

Merk : *SUMITOMO ELECTERIC*
Jenis dan bahan : Insert Carbide
Tipe : CNMG 090308N-UX
VC : 70-200 m/menit
F : 0,15-0,5 mm/put
Dalam pemakanan : 1,5-5 mm
Pembuatan : di Jepang

c. Alat uji kekasaran permukaan benda kerja

Alat uji kekasaran yang digunakan adalah *surface roughness tester* SJ20 dengan kecermatan 0.001 μm . Untuk gambar alat pada gambar 3.4. berikut.



Gambar 3. 4. *Surface roughness tester* SJ-210

Spesifikasi dari *surface roughness tester* dapat dilihat sesuai pada tabel 3.1. berikut.

Tabel 3. 1. Spesifikasi *surface roughness tester*

<i>Drive unit</i>	
<i>Speed</i>	<i>Measuring</i> : 0,25mm/s, 0,5 mm/s (0,1"/s,0,2"/s) <i>Returning</i> : 0,8 mm/s (0,3"/s)
<i>Measuring range (x-axis)</i>	12,5 mm
<i>Mass</i>	190 g
<i>Standar pole</i>	Code No. 178-395
<i>Measuring range</i>	350 (-200 μm to 150 μm)
<i>Stylus</i>	<i>Diamon core</i>
<i>Skid radius</i>	40 mm
<i>Roughness parameter</i>	Ra, Ry, Rz, Rq, S, Sm, Pc, R3z, Mr, Rt, Rk,Rpk, Mrl, Mr2, A1, A2, Vo (use-difined)
<i>Roughness standard</i>	JIS, DIN, ISO, ANSI

3.2.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja S45C. Pemilihan baja S45C karena baja ini banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan komponen-komponen permesinan. Spesimen baja S45C yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan ukuran panjang 100 mm dengan diameter 25 mm. Sesuai dengan gambar 3.5. berikut



Gambar 3. 5. Bahan Penelitian

3.3. Proses Penelitian

3.3.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan adalah mencari informasi serta data terkait penelitian yang akan kita lakukan seperti mencari jurnal, buku, serta materi terkait. Terutama dalam penelitian CNC bubut dan menentukan parameter apa saja yang akan digunakan agar penelitian ini mendapat kan hasil yang minimal, serta metode digunakan dan pengolaha data.

3.3.2. Penentuan Parameter

a Parameter Terikat (*Dependen Parameters*)

Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah tingkat kekasaran permukaan benda kerja hasil pembubutan CNC, dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra) adalah kekasaran permukaan dengan satuan μm (mikron meter).

b Parameter Bebas (*Independen Parameters*)

Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan potong, kedalaman pemakanan dan gerak makan. Parametr sesuai pada tabel 3.2. berikut.

Tabel 3. 2. Daftar variabel bebas dan level

<i>Kode</i>	<i>Variabel Bebas</i>	<i>Level</i>		
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>A</i>	Gerak makan (<i>mm/put</i>)	<i>0,20</i>	<i>0,4</i>	<i>0,60</i>
<i>B</i>	Kedalaman Pemakanan (mm)	<i>0,25</i>	<i>0,375</i>	<i>0,5</i>
<i>C</i>	Kecepatan <i>spindel</i> (put/menit)	<i>1700</i>	<i>1850</i>	<i>2000</i>

c Parameter kontrol

Parameter kontrol merupakan parameter dikendalikan, maksudnya parameter yang tetap pada penelitian. Parameter kontrol dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. 3. Parameter kontrol

No	Parameter Kontrol	Keterangan
1	Mata Potong	CNMG 090308N-UX
2	Dromus B	

d Matriks ortogonal

Matrik ortogonal $L_9 (3^3)$ yaitu jenis L_9 memiliki 3 kolom atau faktor dan 9 baris yang mampu digunakan untuk 3 buah faktor variabel bebas dengan tiap-tiap variabel memiliki 3 level. Rancangan eksperimen untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.5. dibawah ini:

Tabel 3. 4 Matriks ortogonal untuk taguchi $L_9(3^3)$

No	Parameter Permesinan		
	Kecepatan Potong	Kedalaman Pemakanan	Kecepatan Spindle
	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1

3.3.3. Persiapan Alat dan Bahan

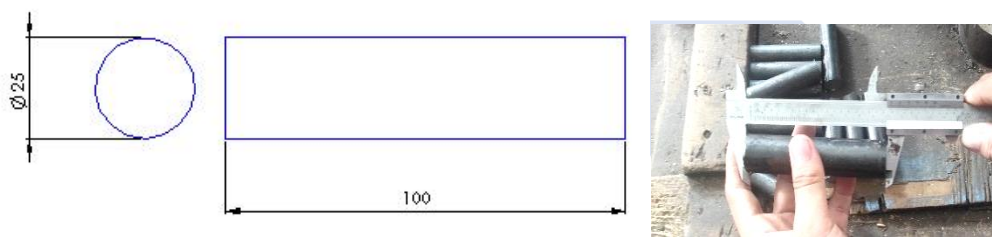
a. Alat penelitian

Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan mulai dari mempersiapkan mesin CNC bubut, Mempersiapkan alat potong, serta alat pendukung lainnya seperti kunci L, oli, kunci *chuck*, dan spidol. Mempersiapkan peralatan untuk

melakukan pengujian seperti *surface roughness tester* serta alat pendukung untuk melakukan pengujian seperti *block-v* dan *stand dial*.

b. Material penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja S45C. Pemilihan baja S45C karena baja ini banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan komponen-komponen permesinan. Spesimen baja S45C yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan ukuran panjang 100 mm dengan diameter 25 mm. Sesuai dengan gambar 3.6. berikut



Gambar 3. 6. Dimensi benda kerja

3.3.4. Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data berurutan sebagai berikut.

- a. Menghidupkan mesin CNC bubut.
- b. Membuat program CNC.
- c. Memasang *holder* pada *tool turret*.
- d. Kalibrasi *tool*.
- e. Pencekaman benda kerja pada *chuck*.
- f. Pemasangan *insert carbide*.
- g. Memasukkan program CNC pada panel kontrol.
- h. Proses pembubutan benda kerja.
- i. Melepaskan benda kerja dari alat pencekam dan mengeringkan benda kerja.

3.3.5. Perhitungan Hasil Data Awal

- a. Menghitung derajat kebebasan

Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah level yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2. Sehingga dapat dilakukan

perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan matriks ortogonal yang digunakan. Hasil perhitungan derajat kebebasan dapat disajikan pada Tabel 3.4. berikut.

Tabel 3. 5 Total Derajat Kebebasan variabel bebas dan levelnya

No	Variabel bebas	Jumlah level (k)	vn (K-1)
1	Kecepatan Potong (<i>mm/put</i>)	3	2
2	Kedalaman Pemakanan (mm)	3	2
3	Kecepatan <i>spindel</i> (put/menit)	3	2
Total Derajat Kebebasan			8

Berdasarkan hasil perhitungan total derajat kebebasan pada penelitian ini pada Tabel 3.2 didapatkan 8 derajat kebebasan, sehingga derajat kebebasan untuk matriks ortogonal yang paling sesuai adalah $L_9(3^3)$. Matriks ortogonal $L_9(3^3) = 9 - 1 = 8$ derajat kebebasan dan derajat kebebasan setiap faktor = $3 - 1 = 2$. Maka pemilihan matriks ortogonal yang digunakan harus mempunyai derajat kebebasan yang sama atau derajat kebebasan yang lebih besar dengan total derajat kebebasan dalam eksperimen ini (8 derajat kebebasan). Sehingga derajat kebebasan untuk matriks ortogonal yang paling sesuai adalah $L_9(3^3)$. Matriks ortogonal $L_9(3^3) = 9 - 1 = 8$ derajat kebebasan.

b. Menghitung rata-rata nilai data setiap level parameter

Pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan dari eksperimen setingan parameter. selanjutnya akan dilakukan langkah perhitungan rata-rata kekasaran permukaan pada setiap level faktor. Menghitung rata-rata nilai data agar dapat melakukan pengolahan data analisis varians.

3.3.6. Pengolahan Data

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut: Analisis Varians (ANOVA) Dua Arah:

a. Menghitung rasio S/N variabel respon

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Karakteristik kualitas dari respon rasio untuk mengetahui faktor dan level pengaruh rada hasil.

S/N yang digunakan adalah semakin kecil semakin baik atau *smaller is Better* untuk respon kekasaran permukaan. Rasio S/N untuk karakteristik model ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{rasio S/N} = - 10 \log\left(\sum_{i=1}^n \frac{y^2}{n}\right) \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

b. Menentukan variabel respon yang optimal

Penentuan kondisi variabel respon yang optimal dengan cara membuat tabel variabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari variabel bebas yang menghasilkan respon optimal terhadap nilai kekasaran permukaan.

c. Memprediksi nilai hasil optimasi

Perhitungan prediksi nilai hasil optimasi dapat dihitung dengan persamaan rumus:

$$\check{n} = n_m + \sum_{i=1}^q (n_l - n_m) \dots\dots\dots(11)$$

dimana:

n_m = nilai rata-rata dari keseluruhan kekasaran

n_l = rata-rata kekasaran pada level optimal

q = jumlah variabel yang mempengaruhi respon secara signifikan

d. Analisis variansi dan uji hipotesis F

Analisis variansi digunakan untuk mengetahui dan mencari besarnya suatu proses parameter kendali pengaruh secara signifikan terhadap suatu respon. Pengujian bahwa adanya pengaruh faktor atau variabel bebas terhadap eksperimen dibuktikan dengan uji hipotesis F.

Pada penelitian ini taraf signifikansi α yang digunakan sebesar 5% atau 0.05. Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error.

- Hipotesis pengujian adalah:
 H0 : tidak ada pengaruh perlakuan.
 H1 : ada pengaruh perlakuan paling sedikit ada satu yang tidak sama.
 - Kriteria Pengujian :
 - Jika nilai uji F < nilai F tabel 5%, maka H0 diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan.
 - Jika uji F > nilai F tabel 5%, maka H0 ditolak berarti ada pengaruh perlakuan.
- e. Persen kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing masing faktor dan interaksi, terlebih dahulu dihitung SS'_{faktor} :

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - MS_{error} (Vv) \dots\dots\dots (12)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\mu = \frac{SS'_{faktor}}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

- f. Melakukan eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan percobaan yang dilakukan berdasarkan kondisi minimal untuk faktor dan level signifikansi. Tujuannya adalah untuk memverifikasikan hasil dari eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang diprediksikan.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan memiliki beberapa tahapan yang mulai dari persiapan bahan dan peralatan hingga pengujian. Prosedur penelitian sebagai berikut :

4.1.1. Mempersiapkan bahan dan peralatan dalam penelitian

- a. Menyiapkan benda kerja, meliputi penyesuaian ukuran menggunakan jangka sorong dengan material baja S45C dan *insert carbide* ditunjukkan pada gambar 4.1. berikut.



Gambar 4. 1. Benda kerja S45C dan *Insert carbide*

- b. Menyiapkan peralatan pendukung, peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian sesuai gambar 4.2. dan gambar 4.3. berikut.



Gambar 4. 2. Kunci L dan Oli pelumas



Gambar 4. 3. Spidol Putih dan *Parallel Pad*.

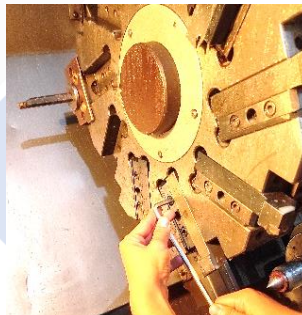
Fungsi alat pendukung dalam penelitian ini dijelaskan pada tabel 4.1. berikut.

Tabel 4. 1. Fungsi alat pendukung

Gambar	Alat Pendukung	Fungsi
4.2.	Kunci L	Untuk memasang dan melepaskan alat potong <i>insert carbide</i> .
4.2.	Oli	Untuk melumasi benda kerja yang telah dilakukan proses pemesinan agar terhindar dari korosi.
4.3.	<i>Parallel Pad</i>	Sebagai stopper saat mencekam benda kerja.
4.3.	Spidol	Untuk memberi nomor eksperimen.

4.1.2. Proses pemesinan CNC bubut

- Membuat program CNC sesuai dengan setingan parameter yang telah ditentukan dengan matriks ortogonal L9(3³).
- Memasang *holder* pada *tool turret* seperti gambar 4.4. berikut.



Gambar 4. 4. Pemasangan *holder* pada *tool turret*

- Pencekaman benda kerja pada *chuck* dengan menekan pedal CNC, pencekaman seperti gambar 4.5. berikut.



Gambar 4. 5. Pencekaman benda kerja pada *chuck*

- d. Pemasangan *insert carbide* pada holder menggunakan kunci L seperti pada gambar 4.6. berikut.



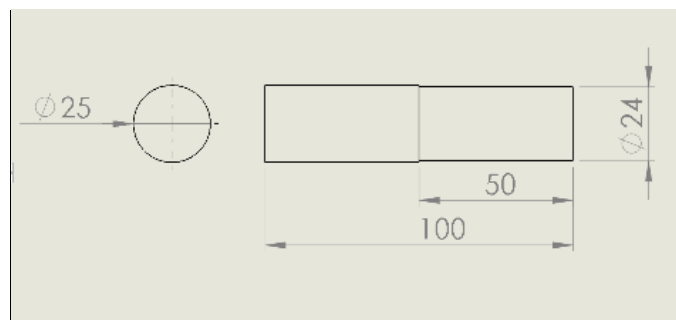
Gambar 4. 6. Pemasangan *insert carbide*

- e. Memasukkan program CNC pada panel kontrol kemudian sesuaikan parameter yang digunakan. Program digunakan sebagai 4.7. berikut.



Gambar 4. 7. Program CNC

- f. Proses pembubutan benda kerja sesuai dengan nilai parameter proses pada program untuk penyayatan benda kerja sepanjang 50 mm sesuai dengan kombinasi dari masing-masing percobaan.
- g. Melepaskan benda kerja dari alat pencekam dan mengeringkan benda kerja setelah proses pemotongan selesai, lalu oleskan oli pada benda kerja untuk menghindari korosi. Hasil dari benda kerja yang telah dilakukan proses pemesinan sesuai pada gambar 4.8. berikut.



Gambar 4. 8. Benda kerja setelah di proses pemesinan

4.1.3. Pengujian kekasaran permukaan

Pengujian kekasaran menggunakan alat *surface roughness tester*. Langkah langkah dari pengukuran kekasaran permukaan sebagai berikut.

- a. Melakukan pengukuran kekasaran permukaan di meja yang datar.
- b. Menyiapkan peralatan pendukung dalam proses pengukuran kekasaran permukaan sesuai gambar 4.9. berikut.



Gambar 4. 9. *Block-V* dan *Stand dial*

Fungsi alat pendukung dalam kekasaran permukaan sesuai dengan tabel 4.2. berikut.

Tabel 4. 2. Fungsi alat pendukung pengukuran

Gambar	Nama alat	Fungsi
4.9.	<i>V-block</i>	Sebagai dudukan dari benda kerja saat pengukuran.
4.9.	<i>Stand dial</i>	Sebagai tempat dudukan untuk meletakkan <i>surface roughness tester</i> .

- c. Melakukan kalibrasi alat ukur agar hasil pengukuran kekasaran permukaan mendapatkan hasil yang akurat, ditunjukkan pada gambar 4.10. berikut.



Gambar 4. 10. Kalibrasi *surface roughness tester*

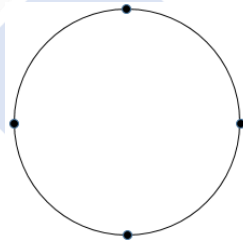
d. Meletakkan benda kerja yang telah dilakukan proses pemesinan dan meletakkan *surface roughness tester* pada *stand dial*. Setelah itu menyesuaikan tinggi dari *surface roughness tester*, kemudian dapat dilakukan pengukuran sesuai gambar 4.11. berikut.



Gambar 4. 11. Proses pengukuran menggunakan *surface roughness tester*

4.2. Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data nilai kekasaran permukaan menggunakan *surface roughness tester* SJ-210 benda kerja dilakukan secara horizontal dengan pengambilan data sebanyak 4 titik dan 3 kali pengukuran pada setiap titik. Berikut merupakan titik pengambilan data nilai kekasaran permukaan benda kerja, sesuai dengan gambar 4.12. berikut.



Gambar 4. 12. Titik pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja.

4.3. Data Hasil Percobaan

Dalam penelitian ini data percobaan hasil pengujian yang akan diambil dapat dilihat pada Tabel 4.3. berikut.

Tabel 4. 3. Data percobaan hasil pengujian

Parameter Pemesinan			Nilai Kekasaran Permukaan									
No	A	B	C	1				2				Mean
				a	b	c	d	a	b	c	d	

1	1	1	1	a ₁₁	b ₁₁	c ₁₁	d ₁₁	a ₁₂	b ₁₂	c ₁₂	d ₁₂	X1
2	1	2	2	a ₂₁	b ₂₁	c ₂₁	d ₂₁	a ₂₂	b ₂₂	c ₂₂	d ₂₂	X2
3	1	3	3	a ₃₁	b ₃₁	c ₃₁	d ₃₁	a ₃₂	b ₃₂	c ₃₂	d ₃₂	X3
4	2	1	2	a ₄₁	b ₄₁	c ₄₁	d ₄₁	a ₄₂	b ₄₂	c ₄₂	d ₄₂	X4
5	2	2	3	a ₅₁	b ₅₁	c ₅₁	d ₅₁	a ₅₂	b ₅₂	c ₅₂	d ₅₂	X5
6	2	3	1	a ₆₁	b ₆₁	c ₆₁	d ₆₁	a ₆₂	b ₆₂	c ₆₂	d ₆₂	X6
7	3	1	3	a ₇₁	b ₇₁	c ₇₁	d ₇₁	a ₇₂	b ₇₂	c ₇₂	d ₇₂	X7
8	3	2	1	a ₈₁	b ₈₁	c ₈₁	d ₈₁	a ₈₂	b ₈₂	c ₈₂	d ₈₂	X8
9	3	3	2	a ₉₁	b ₉₁	c ₉₁	d ₉₁	a ₉₂	b ₉₂	c ₉₂	d ₉₂	X9

4.4. Pengambilan Data Hasil Percobaan

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan mengkombinasi parameter proses pemesinan pada mesin CNC bubut MORI SEIKI SL-25B/500. Adapun parameter yang digunakan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah gerak makan (A), dalam pemakanan (B), dan kecepatan *spindle* (C). Setiap parameter terdapat 3 level yang digunakan penelitian ini, pada parameter gerak makan dengan nilai level 0,2 mm/put/ 0,4 mm/put dan 0,6 mm/put, pada parameter dalam pemakanan dengan nilai level 0,25 mm, 0,375 mm dan 0,5 mm, serta pada parameter kecepatan *spindle* dengan nilai level 1700 put/menit, 1850 put/menit dan 2000 put/menit.

4.4.1. Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Pengukuran kekasaran benda kerja menggunakan alat akur *surface roughness tester*. Data hasil pengukuran benda kerja keseluruhan ditunjukkan pada tabel 4.4. berikut.

Tabel 4. 4. Matriks Ortogonal L9(3³)

Percobaan	Faktor			Hasil		Jumlah
	Gerak Makan	Dalam Makan	Kecepatan Spindle	Awal	Replikasi	
1	1	1	1	2,4034	2,9232	5,3266

2	1	2	2	1,9556	1,7314	3,6870
3	1	3	3	0,6920	0,4036	1,0956
4	2	1	2	1,2803	1,5684	2,8488
5	2	2	3	1,4492	1,5918	3,0409
6	2	3	1	1,6030	1,3273	2,9303
7	3	1	3	2,8848	2,8001	5,6848
8	3	2	1	2,5035	2,4612	4,9647
9	3	3	2	2,9361	2,9342	5,8703

Rata-Rata=1,9694

Hasil percobaan terdapat pada tabel 4.1. menunjukkan kombinasi setingan parameter dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan minimal ditunjukkan pada eksperimen nomor 2 adalah sebesar $0,5478\mu\text{m}$. Dengan demikian parameter yang menghasilkan parameter yang terendah adalah pada setingan gerak makan $0,2\text{ mm/put}$, tebal pemakanan 1 mm dan kecepatan *spindle* 2000 put/menit .

4.4.2. Perhitungan Rata-Rata Setiap Level

Pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan dari eksperimen setingan parameter selanjutnya akan dilakukan langkah perhitungan rata-rata kekasaran permukaan pada setiap level faktor, sebagai berikut:

Perhitungan rata-rata faktor A:

$$A1 = 1/3 (2,6633+1,8435+0,5478) = 1,6849$$

$$A2 = 1/3 (1,4244+1,5205+1,4651) = 1,4700$$

$$A3 = 1/3 (2,8424+2,4823+2,9351) = 2,7533$$

Perhitungan rata-rata faktor B:

$$B1 = 1/3 (2,6633+1,4244+2,8424) = 2,3100$$

$$B2 = 1/3 (1,8435+1,5205+2,4823) = 1,9488$$

$$B3 = 1/3 (0,5478+1,4651+2,9351) = 1,6493$$

Perhitungan rata-rata faktor C:

$$C1 = 1/3 (2,6633+1,4651+2,4823) = 2,2036$$

$$C2 = 1/3 (1,8435+1,4244+2,9351) = 2,0677$$

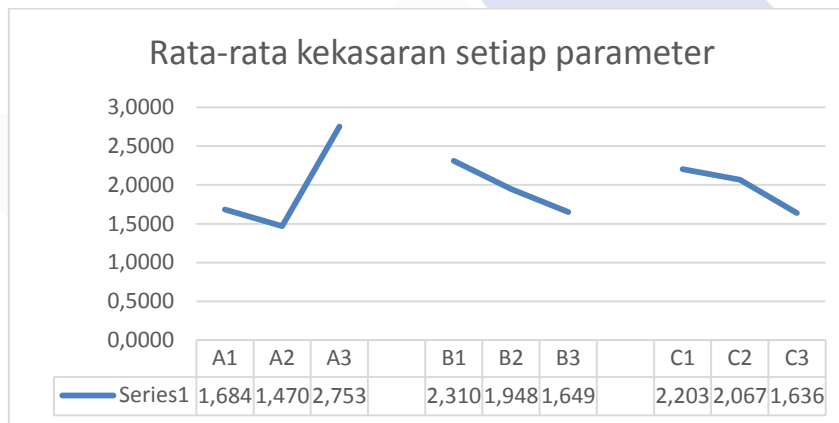
$$C3 = 1/3 (0,5478+1,5205+2,8424) = 1,6369$$

Dari hitungan diatas didapatkan pengaruh parameter sesuai tabel 4.5. berikut.

Tabel 4. 5. Tabel peringkat pengaruh parameter data kekasaran

Level	A	B	C
Level 1	1,6849	2,3100	2,2036
Level 2	1,4700	1,9488	2,0677
Level 3	2,7533	1,6493	1,6369
selisih	1,2833	0,6607	0,5667
peringkat	1	2	3

Dari data diatas didapatkan grafik rata-rata kekasaran setiap parameter pada gambar 4.13. berikut.



Gambar 4. 13. Grafik rata-rata kekasaran setiap parameter

Selain perhitungan rata-rata kekasaran permukaan setiap parameter, ada pula rata-rata *signal noise to ratio*, dimulai dari hitungan S/N SB kemudian dilanjutkan hitungan rata-rata *signal noise to ratio*. Analisis varians *signal to noise ratio* digunakan untuk menentukan parameter mana menghasilkan nilai terbaik, karena dalam penelitian ini responnya adalah kekasaran maka nilai data lebih kecil menandakan lebih baik, oleh karena itu digunakan rumus sebagai berikut.

$$S/N SB = -10 \text{ Log } [\sum_{i=1}^n y_i^2]$$

Perhitungan *signal noise to ratio*:

Eksperimen 1:

$$S/N SB = -10 \text{ Log } [(2,4034^2 + 2,9232^2)/2] = -8,8495$$

Eksperimen 2:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(1,9556^2 + 1,7314^2)/2] = -5,3289$$

Eksperimen 3:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(0,6920^2 + 0,4036^2)/2] = 4,9367$$

Eksperimen 4:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(1,2803^2 + 1,5684^2)/2] = -3,1167$$

Eksperimen 5:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(1,4492^2 + 1,5918^2)/2] = -3,6490$$

Eksperimen 6:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(1,6030^2 + 1,3273^2)/2] = -3,3558$$

Eksperimen 7:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(2,8848^2 + 2,8001^2)/2] = -9,0747$$

Eksperimen 8:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(2,5035^2 + 2,4612^2)/2] = -7,8975$$

Eksperimen 9:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log} [(2,9361^2 + 2,9342^2)/2] = -9,3525$$

Kemudian setelah mendapatkan nilai *signal noise to ratio* dilanjutkan dengan menghitung rata-rata S/N SB sebagai berikut.

Perhitungan rata-rata faktor A:

$$A1 = 1/3 ((-8,8495)+(-5,3289)+4,9367) = -2,9806$$

$$A2 = 1/3 ((-3,1167)+(-3,6490)+(-3,3558)) = -3,3738$$

$$A3 = 1/3 ((-9,0747)+(-7,8975)+(-9,3525)) = -8,7749$$

Perhitungan rata-rata faktor B:

$$B1 = 1/3 ((-8,8495)+(-3,1167)+(-9,0747)) = -6,9136$$

$$B2 = 1/3 ((-5,3289)+(-3,6490)+(-7,8975)) = -5,6251$$

$$B3 = 1/3 ((4,9367)+(-3,3558)+(-9,3525)) = -2,5905$$

Perhitungan rata-rata faktor C:

$$C1 = 1/3 ((-8,8495)+(-3,3558)+(-7,8975)) = 2,2036$$

$$C2 = 1/3 ((-5,3289)+(-3,1167)+(-9,3525)) = 2,0677$$

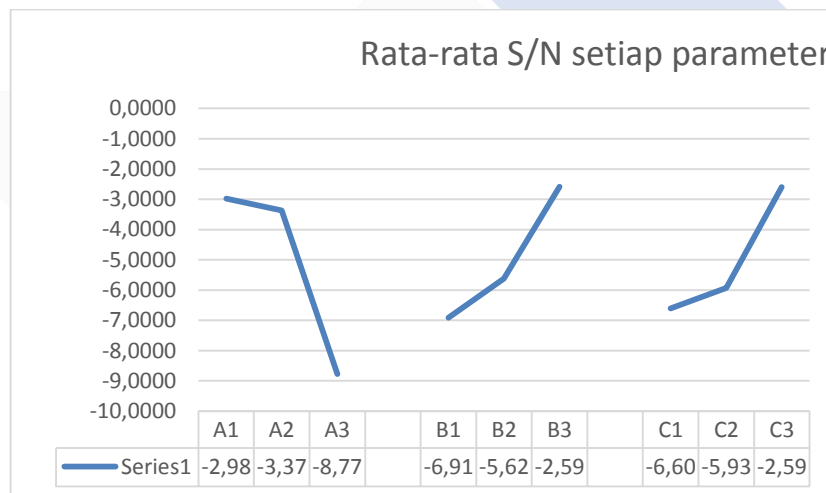
$$C3 = 1/3 ((4,9367)+(-3,6490)+(-9,0747)) = 1,6369$$

Dari hitungan diatas didapatkan pengaruh parameter sesuai tabel 4.6. berikut.

Tabel 4. 6. Pengaruh parameter data S/N

Level	A	B	C
Level 1	-2,9806	-6,9136	-6,6009
Level 2	-3,3738	-5,6251	-5,9327
Level 3	-8,7749	-2,5905	-2,5957
selisih	5,7943	4,3231	4,0053
peringkat	1	2	3

Dari data diatas didapatkan grafik rata-rata kekasaran setiap parameter pada gambar 4.14. berikut.



Gambar 4. 14 Grafik rata-rata S/N setiap parameter

4.4.3. Penentuan Kombinasi Variabel Untuk Respon Optimal

Untuk tiga faktor yang diamati yaitu gerak makan, dalam pemakanan, dan kecepatan *spindle*. Adapun faktornya sesuai pada tabel 4.7. berikut.

Tabel 4. 7. Kombinasi variabel respon optimal

Simbol	Faktor Respon	Level 1	Level 2	Level 3
A	Gerak makan	0,2	0,4	0,6
B	Kedalaman pemakanan	0,25	0,375	0,5
C	Kecepatan <i>spindle</i>	1700	1850	2000

4.4.4. Analisa Variansi dan Persen Kontribusi

Analisis Variansi (Anova) merupakan metode analisis statistika termasuk dalam kategori cabang statistika inferensi digunakan untuk mengetahui variabel proses memiliki kontribusi dalam mengurangi variasi respon kekasaran [8]. Pada penelitian ini *analysis of varians* dilakukan pada kekasaran dalam satuan 10^{-6}m (μm) yang merupakan respon mewakili keseluruhan respon.

4.3.2. Analisis variansi Rata-Rata Kekasaran Permukaan

Dengan menggunakan model variansi dua arah terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat, f-rasio.

Tabel 4. 8. Data rata-rata hasil pengukuran berdasarkan parameter

Percobaan	Faktor			Hasil		Mean
	Gerak Makan	Dalam Makan	Kecepatan Spindle	Awal	Replikasi	
1	1	1	1	2,4034	2,9232	2,6633
2	1	2	2	1,9556	1,7314	1,8435
3	1	3	3	0,6920	0,4036	0,5478
4	2	1	2	1,2803	1,5684	1,4244
5	2	2	3	1,4492	1,5918	1,5205
6	2	3	1	1,6030	1,3273	1,4651
7	3	1	3	2,8848	2,8001	2,8424
8	3	2	1	2,5035	2,4612	2,4823
9	3	3	2	2,9361	2,9342	2,9351

Untuk perhitungan *sum of square* (jumlah kuadrat) sebagai berikut:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right] - \left[\frac{T^2}{N} \right]$$

Keterangan:

KA = jumlah level faktor A

A_i = Nilai data level ke-i faktor A

n_{Ai} = Jumlah data level ke-i faktor A

T = Jumlah nilai data keseluruhan

N = Jumlah data keseluruhan

Perhitungan *sum of square* (jumlah kuadrat)

Perhitungan *sum of square* faktor A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A1}} + \frac{A_2^2}{n_{A2}} + \frac{A_3^2}{n_{A3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{1,6849^2}{3} + \frac{1,4700^2}{3} + \frac{2,7533^2}{3} - \frac{5,9081^2}{9} = 2,8346$$

Perhitungan *sum of square* faktor B:

$$SS_B = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{2,3100^2}{3} + \frac{1,9488^2}{3} + \frac{1,6493^2}{3} - \frac{5,9081^2}{9} = 0,6567$$

Perhitungan *sum of square* faktor C:

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_C = \frac{2,2036^2}{3} + \frac{2,0677^2}{3} + \frac{1,6369^2}{3} - \frac{5,9081^2}{9} = 0,5251$$

Perhitungan *sum of square* total data:

$$SS_t = \sum \bar{Y}^2$$

$$\begin{aligned} SS_t &= (2,6633^2) + (1,8435^2) + (0,5478^2) + (1,4244^2) + (1,5205^2) + \\ & (1,4651^2) + (2,8424^2) + (2,4823^2) + (2,9694^2) \\ &= 40,1352 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square* karena rata-rata total:

$$\begin{aligned} SS_m &= N \times \bar{y}^2 \\ &= 9 \times (1,9694^2) \\ &= 34,9061 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square* faktor:

$$\begin{aligned} SS_{faktor} &= SS_A + SS_B + SS_C \\ &= 2,8346 + 0,6567 + 0,5251 \\ &= 4,0164 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square error*:

$$\begin{aligned} SS_e &= SS_t - SS_M - SS_{faktor} \\ &= 40,1352 - 34,9061 - 4,0164 \\ &= 1,2126 \end{aligned}$$

Perhitungan *sum of square* total faktor dan eror:

$$\begin{aligned}SS_{Total} &= SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ &= 2,8346 + 0,6567 + 0,5251 + 1,2126 \\ &= 5,2291\end{aligned}$$

Untuk perhitungan *variability* (derajat kebebasan) sebagai berikut:

Perhitungan *variability* faktor A:

$$\begin{aligned}V_A &= n - 1 \\ V_A &= 3 - 1 = 2\end{aligned}$$

Perhitungan *variability* faktor B:

$$\begin{aligned}V_B &= n - 1 \\ V_B &= 3 - 1 = 2\end{aligned}$$

Perhitungan *variability* faktor C:

$$\begin{aligned}V_C &= n - 1 \\ V_C &= 3 - 1 = 2\end{aligned}$$

Perhitungan *variability* total:

$$\begin{aligned}V_{Total} &= N - 1 \\ V_{Total} &= 9 - 1 = 8\end{aligned}$$

Perhitungan *variability* eror:

$$\begin{aligned}V_e &= V_{Total} - V_A - V_B - V_C \\ V_e &= 8 - 2 - 2 - 2 = 2\end{aligned}$$

Untuk perhitungan *mean of square* (rata-rata kuadrat) sebagai berikut:

Perhitungan *mean of square* faktor A:

$$\begin{aligned}MS_A &= \frac{SS_A}{V_A} \\ MS_A &= \frac{2,8346}{2} = 1,4173\end{aligned}$$

Perhitungan *mean of square* faktor B:

$$\begin{aligned}MS_B &= \frac{SS_B}{V_B} \\ MS_B &= \frac{0,6567}{2} = 0,3283\end{aligned}$$

Perhitungan *mean of square* faktor C:

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C}$$

$$MS_C = \frac{0,5252}{2} = 0,2626$$

Perhitungan *mean of square* eror:

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e}$$

$$MS_e = \frac{1,2126}{2} = 0,6063$$

Untuk perhitungan F-rasio sebagai berikut:

Perhitungan F-rasio faktor A:

$$F_{Rasio-A} = \frac{SS_A}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-A} = \frac{2,8346}{1,2126} = 2,3375$$

Perhitungan F-rasio faktor B:

$$F_{Rasio-B} = \frac{SS_B}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-B} = \frac{0,6567}{1,2126} = 0,5415$$

Perhitungan F-rasio faktor C:

$$F_{Rasio-C} = \frac{SS_C}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-C} = \frac{0,5252}{1,2126} = 0,4331$$

Tabel 4. 9. Analisis Varian rata-rata kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	2,8346	1,4173	2,3375
B	2	0,6567	0,3283	0,5415
C	2	0,5252	0,2626	0,4331
eror	2	1,2126	0,6063	
total	8	5,2291		

Untuk perhitungan SS' sebagai berikut:

Perhitungan SS' faktor A:

$$SS'_A = SS_A - MS_e(V_A)$$

$$SS'_A = 2,8346 - 0,6063(2) = 4,4565$$

Perhitungan SS' faktor B:

$$SS'_B = SS_B - MS_e(V_B)$$

$$SS'_B = 0,6567 - 0,6063(2) = 0,1007$$

Perhitungan SS' faktor C:

$$SS'_C = SS_C - MS_e(V_C)$$

$$SS'_C = 0,5252 - 0,6063(2) = -0,1623$$

Perhitungan SS' eror:

$$SS'_e = SS_{Total} - SS'_A - SS'_B - SS'_C$$

$$SS'_e = 5,2291 - 4,4565 - 0,1007 - (-0,1623) = 0,8342$$

Untuk perhitungan persen kontribusi sebagai berikut:

Perhitungan persen kontribusi faktor A:

$$P_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_A = \frac{4,4565}{5,2291} \times 100 \% = 85,2258\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor B:

$$P_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_B = \frac{0,1007}{5,2291} \times 100 \% = 1,9252\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor C:

$$P_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_C = \frac{-0,1623}{5,2291} \times 100 \% = -3,1034\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor eror:

$$P_e = \frac{SS'_e}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_e = \frac{0,8342}{5,2291} \times 100 \% = 15,9524\%$$

Tabel 4. 10. Persen kontribusi rata-rata kekasaran permukaan

Sumber	V	SS	MS	F-rasio	P(%)
A	2	2,8346	1,4173	2,3375	85,2258
B	2	0,6567	0,3283	0,5415	1,9252
C	2	0,5252	0,2626	0,4331	-3,1034
eror	2	1,2126	0,6063		15,9524
total	8	5,2291			100

Berdasarkan Tabel 4.10. hasil analisis varian dan persen kontribusi menunjukkan bahwa parameter pemesinan yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Parameter berpengaruh terhadap kekasaran berurutan dari gerak makan sebesar 85,2258%, dalam pemakanan sebesar 1,9252% dan kecepatan *spindle* sebesar -3,1034%.

4.4.5. Analisis Varians *signal to noise ratio*

Analisis varians *signal to noise ratio* digunakan untuk menentukan parameter mana menghasilkan nilai terbaik, karena dalam penelitian ini responnya adalah kekasaran maka nilai data lebih kecil menandakan lebih baik, oleh karena itu digunakan rumus sebagai berikut.

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [\sum_{i=1}^n y_i^2]$$

Perhitungan *signal noise to ratio*:

Eksperimen 1:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(2,4034^2 + 2,9232^2)/2] = -8,8495$$

Eksperimen 2:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(1,9556^2 + 1,7314^2)/2] = -5,3289$$

Eksperimen 3:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(0,6920^2 + 0,4036^2)/2] = 4,9367$$

Eksperimen 4:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(1,2803^2 + 1,5684^2)/2] = -3,1167$$

Eksperimen 5:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(1,4492^2 + 1,5918^2)/2] = -3,6490$$

Eksperimen 6:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(1,6030^2 + 1,3273^2)/2] = -3,3558$$

Eksperimen 7:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(2,8848^2 + 2,8001^2)/2] = -9,0747$$

Eksperimen 8:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(2,5035^2 + 2,4612^2)/2] = -7,8975$$

Eksperimen 9:

$$S/N_{SB} = -10 \text{ Log } [(2,9361^2 + 2,9342^2)/2] = -9,3525$$

Dari perhitungan *signal noise to ratio* diatas, hasil tersebut dapat dimasukkan pada tabel 4.11. berikut.

Tabel 4. 11. Data *signal noise to ratio* berdasarkan parameter

Percobaan	Faktor			Hasil		Jumlah	S/N SB
	Gerak Makan	Dalam Makan	Kecepatan Spindle	Awal	Replikasi		
1	1	1	1	2,4034	2,9232	5,3266	-8,8495
2	1	2	2	1,9556	1,7314	3,6870	-5,3289
3	1	3	3	0,6920	0,4036	1,0956	4,9367
4	2	1	2	1,2803	1,5684	2,8488	-3,1167
5	2	2	3	1,4492	1,5918	3,0409	-3,6490
6	2	3	1	1,6030	1,3273	2,9303	-3,3558
7	3	1	3	2,8848	2,8001	5,6848	-9,0747
8	3	2	1	2,5035	2,4612	4,9647	-7,8975
9	3	3	2	2,9361	2,9342	5,8703	-9,3525
Rata-Rata= -5,0431							

Untuk perhitungan *sum of square* (jumlah kuadrat) sebagai berikut:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] - \left[\frac{T^2}{N} \right]$$

Keterangan:

KA= jumlah level faktor A

A_i = Nilai data level ke-i faktor A

n_{Ai} = Jumlah data level ke-i faktor A

T = Jumlah nilai data keseluruhan

N = Jumlah data keseluruhan

Perhitungan *sum of square* (jumlah kuadrat)

Perhitungan *sum of square* faktor A:

$$SS_A = \frac{A_1^2}{n_{A_1}} + \frac{A_2^2}{n_{A_2}} + \frac{A_3^2}{n_{A_3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{-2,9806^2}{3} + \frac{-3,3738^2}{3} + \frac{-8,7749^2}{3} - \frac{-15,1293^2}{9} = 62,9009$$

Perhitungan *sum of square* faktor B:

$$SS_B = \frac{B_1^2}{n_{B1}} + \frac{B_2^2}{n_{B2}} + \frac{B_3^2}{n_{B3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{-6,9136^2}{3} + \frac{-5,6251^2}{3} + \frac{-2,5905^2}{3} - \frac{-15,1293^2}{9} = 29,5582$$

Perhitungan *sum of square* faktor C:

$$SS_C = \frac{C_1^2}{n_{C1}} + \frac{C_2^2}{n_{C2}} + \frac{C_3^2}{n_{C3}} - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_C = \frac{-6,009^2}{3} + \frac{-5,9327^2}{3} + \frac{-2,5957^2}{3} - \frac{-15,1293^2}{9} = 27,66243$$

Perhitungan *sum of square* total data:

$$SS_t = \sum \bar{Y}^2$$

$$SS_t = (-8,5495^2) + (-5,3289^2) + (4,9367^2) + (-3,1167^2) + (-3,6490^2) + (-3,3558^2) + (-9,0747^2) + (-7,8975^2) + (-9,3525^2) \\ = 392,33439$$

Perhitungan *sum of square* karena rata-rata total:

$$SS_m = N \times \bar{y}^2 \\ = 9 \times (-5,0431^2) \\ = 228,8966$$

Perhitungan *sum of square* faktor:

$$SS_{faktor} = SS_A + SS_B + SS_C \\ = 2,8346 + 0,6567 + 0,5251 \\ = 4,0164$$

Perhitungan *sum of square* error:

$$SS_e = SS_t - SS_M - SS_{faktor} \\ = 40,1352 - 34,9061 - 4,0164 \\ = 1,2126$$

Perhitungan *sum of square* total faktor dan error:

$$SS_{Total} = SS_A + SS_B + SS_C + SS_e \\ = 2,8346 + 0,6567 + 0,5251 + 1,2126 \\ = 5,2291$$

Untuk perhitungan *variability* (derajat kebebasan) sebagai berikut:

Perhitungan *variability* faktor A:

$$V_A = n - 1$$

$$V_A = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan *variability* faktor B:

$$V_B = n - 1$$

$$V_B = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan *variability* faktor C:

$$V_C = n - 1$$

$$V_C = 3 - 1 = 2$$

Perhitungan *variability* total:

$$V_{Total} = N - 1$$

$$V_{Total} = 9 - 1 = 8$$

Perhitungan *variability* eror:

$$V_e = V_{Total} - V_A - V_B - V_C$$

$$V_e = 8 - 2 - 2 - 2 = 2$$

Untuk perhitungan *mean of square* (rata-rata kuadrat) sebagai berikut:

Perhitungan *mean of square* faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A}$$

$$MS_A = \frac{62,9009}{2} = 31,4505$$

Perhitungan *mean of square* faktor B:

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B}$$

$$MS_B = \frac{29,5582}{2} = 14,7791$$

Perhitungan *mean of square* faktor C:

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C}$$

$$MS_C = \frac{27,6243}{2} = 13,8121$$

Perhitungan *mean of square* eror:

$$MS_e = \frac{SS_e}{V_e}$$

$$MS_e = \frac{43,3639}{2} = 21,6820$$

Untuk perhitungan F-rasio sebagai berikut:

Perhitungan F-rasio faktor A:

$$F_{Rasio-A} = \frac{SS_A}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-A} = \frac{62,9009}{43,3639} = 1,4505$$

Perhitungan F-rasio faktor B:

$$F_{Rasio-B} = \frac{SS_B}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-B} = \frac{29,5582}{1,212} = 0,6816$$

Perhitungan F-rasio faktor C:

$$F_{Rasio-C} = \frac{SS_C}{SS_e}$$

$$F_{Rasio-C} = \frac{27,6243}{1,2126} = 0,6370$$

Tabel 4. 12. Analisis varian *signal noise to ratio*

Sumber	V	SS	MS	F-rasio
A	2	62,9009	31,4505	1,4505
B	2	29,5582	14,7791	0,6816
C	2	27,6243	13,8121	0,6370
Eror	2	43,3639	21,6820	
Total	8	163,4473		

Dari tabel diatas maka didapatkan keputusan uji hipotesis menggunakan distribusi F Keputusan uji H0 diterima jika F-hitung < F-tabel, hasil keputusan uji sesuai pada tabel berikut:

Tabel 4. 13. Keputusan uji

Komparasi Respon	F-hitung	F-tabel α	Keputusan uji
Gerak makan	2,3375	(2;2) 19,00	H0 diterima / H1 ditolak
Dalam pemakanan	0,5415	(2;2) 19,00	H0 diterima / H1 ditolak
Kecepatan <i>spindle</i>	0,4331	(2;2) 19,00	H0 diterima / H1 ditolak

Karena dari komparasi respon, dalam pemakanan, dan kecepatan *spindle* keputusan uji H0 diterima maka, dari ketiga paraneter tersebut dari ketiga parameter tersebut tidak terdapat pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan, namun dari ketiga parameter tersebut tetap mempengaruhi kekasaran permukaan.

Untuk perhitungan SS' sebagai berikut:

Perhitungan SS' faktor A:

$$SS'_A = SS_A - MS_e(V_A)$$

$$SS'_A = 2,8346 - 0,6063(2) = 82,4379$$

Perhitungan SS' faktor B:

$$SS'_B = SS_B - MS_e(V_B)$$

$$SS'_B = 0,6567 - 0,6063(2) = 15,7525$$

Perhitungan SS' faktor C:

$$SS'_C = SS_C - MS_e(V_C)$$

$$SS'_C = 0,5252 - 0,6063(2) = 11,8846$$

Perhitungan SS' eror:

$$SS'_e = SS_{Total} - SS'_A - SS'_B - SS'_C$$

$$SS'_e = 163,4473 - 82,4379 - 15,7525 - 11,8846 = 53,3722$$

Untuk perhitungan persen kontribusi sebagai berikut:

Perhitungan persen kontribusi faktor A:

$$P_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_A = \frac{82,4379}{163,4473} \times 100 \% = 50,4370\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor B:

$$P_B = \frac{SS'_B}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_B = \frac{9,6377}{163,4473} \times 100 \% = 9,6376\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor C:

$$P_C = \frac{SS'_C}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_C = \frac{11,8845}{163,4473} \times 100 \% = 7,2712\%$$

Perhitungan persen kontribusi faktor eror:

$$P_e = \frac{SS'_e}{SS_T} \times 100 \%$$

$$P_e = \frac{32,6541}{163,4473} \times 100 \% = 32,6541\%$$

Tabel 4. 14. Persen kontribusi *signal noise to ratio*

Sumber	V	SS	MS	F-rasio	P(%)
A	2	62,9009	31,4505	1,4505	50,4370
B	2	29,5582	14,7791	0,6816	9,6376
C	2	27,6243	13,8121	0,6370	7,2712
eror	2	43,3639	21,6820		32,6541
total	8	163,4473			100

Berdasarkan Tabel 4.14. hasil analisis varian dan persen kontribusi menunjukkan bahwa parameter pemesinan yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Parameter berpengaruh terhadap kekasaran berurutan dari gerak makan sebesar 50,4370%, dalam pemakanan sebesar 9,6367% dan kecepatan *spindle* sebesar 7,2712%.

4.5. Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi nilai kekasaran yang telah diperoleh. Tabel berikut akan menjabarkan parameter yang digunakan.

Tabel 4. 15. Percobaan konfirmasi

Simbol	Parameter proses	Kombinasi Minimal	
		Level	Nilai
A	Gerak makan (mm/put)	1	0,2
B	Dalam pemakanan (mm)	3	0,5
C	Kecepatan <i>spindle</i> (put/menit)	3	2000

Data pada tabel 4.15 ditetapkan berdasarkan nilai rata-rata setiap level parameter sesuai tabel 4.6. sehingga dapat ditentukan level mana pada setiap parameter yang menghasilkan kekasaran minimal. Kemudian dilakukan percobaan konfirmasi untuk memvalidasi data yang telah dilakukan.

4.6. Hasil Percobaan Konfirmasi

Berikut adalah hasil percobaan konfirmasi kemudian hitung nilai rata-rata dari data uji konfirmasi dilakukan sesuai tabel 4.16. berikut.

Tabel 4. 16. Hasil percobaan konfirmasi

	Percobaan					<i>mean</i>
	1	2	3	4	5	
minimal	0,4246	0,5964	0,5392	0,4653	0,4595	0,4970

Setelah dihitung nilai rata-rata dari uji konfirmasi kemudian hitungan *signal noise to ratio* percobaan konfirmasi sesuai tabel 4.17 berikut.

Tabel 4. 17. *Signal niose to ratio* konfirmasi

Parameter	Kombinasi Minimal	
	<i>Mean</i>	S/N
A ₁ B ₃ C ₃	0,4970	6,005

Dari data tabel 4.17. disimpulkan bahwa jika dika dibandingkan dengan ekperimen nomor 3 pada tabel 4.8. dengan rata-rata kekasaran adalah sebesar 0,5478, sedangkan hasil rata-rata dari percobaan konfirmasi adalah sebesar 0,4970 μm maka dapat disimpulkan bahwa perubahan data tidak terlalu jauh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai studi kasus Nilai Kekasaran Permukaan material Baja S45C Pada Proses Pemesinan Bubut CNC, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis telah dilakukan terhadap kekasaran permukaan maka dari parameter gerak makan, dalam pemakanan, dan kecepatan spindle. Kontribusi yang dihasilkan dari ketiga parameter tersebut yaitu:
 - a. Gerak makan berkontribusi terhadap kekasaran permukaan sebesar 50,4370%. Berarti semakin kecil gerak makan digunakan maka kekasaran permukaan semakin minimum.
 - b. Dalam pemakanan berkontribusi terhadap kekasaran permukaan sebesar 9,6377 %. Berarti semakin mendekati angka minimal dianjurkan alat potong dalam pemakanan digunakan maka kekasaran permukaan semakin minimum.
 - c. Kecepatan *spindle* berkontribusi terhadap kekasaran permukaan sebesar 7,2712 %. Berarti semakin besar kecepatan *spindle* digunakan maka kekasaran permukaan semakin minimum.
2. Pengaturan parameter pada proses pemesinan menghasilkan nilai kekasaran minimal diperoleh dari pengaturan parameter gerak makan sebesar 0,2 mm/put (level 1), dalam pemakanan sebesar 0,5 mm (Level 3), dan kecepatan *spindle* sebesar 2000 put/menit (level 3).

5.2 Saran

Saran yang penuliskan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter bebas, seperti variasi jenis alat potong, setting pendingin, dan sebagainya.
2. Penelitian selanjutnya dilakukan menggunakan metode lain seperti metode desain faktorial, RSM, dan metode-metode baru lainnya.

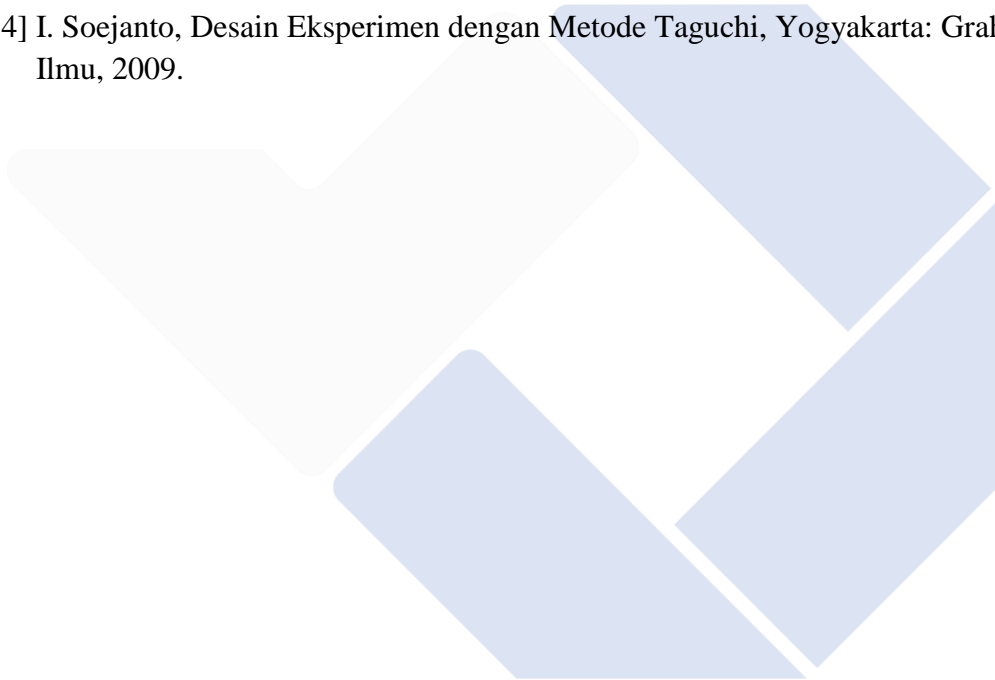


DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Untoro, E. Andriyanto and Sunarso, "Mesin CNC dan Kegunaan Mesin CNC dalam Dunia Industri," *Solo Abadi*, p. 1, 2020.
- [2] R. D. Fibriat, "Inilah 5 Jenis Mesin CNC yang Paling Sering Digunakan," 23 november 2020. [Online]. Available: <https://www.builder.id>. [Accessed 12 4 2021].
- [3] S. Jatmiko and S. Jokosisworo, "ANALISA KEKUATAN PUNTIR DAN KEKUATAN LENTUR PUTAR," *Fakultas Teknik UNDIP*, p. 4, 2012.
- [4] T. S. Allam, "PENGARUH LAJU PEMAKANAN DAN KEDALAMAN PEMAKANAN PADA PROSES CNC TURNING TERHADAP TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN BAJA ST 60," *Diss. UNNES*, p. 14, 2019.
- [5] M. F. Hariyanto and K. D. S, "optimization of surface roughness in the turning S45C carbon stell materila using the taguchi method," 2020.
- [6] F. Ibrahim, "Baja Karbon dan Ranah penggunaan (1)," *Warung Sains Teknologi*, 30 4 2021. [Online]. Available: <http://www.warstek.com/baja-karbon/>. [Accessed 16 1 2022].
- [7] K. B. Ardhiyanto, U. Budiarto and A. W. B. Santosa, "Analisa kekuatan tarik, puntir, kekerasan dan komposisi kimia baja st60 sebagai material propeller setelah perlakuan carburizing dengan variasi temperatur pemanasan (metode experiment)," vol. 6, p. 4, 2018.
- [8] A. Pranomo, "karakteristik mekanik proses hardening baja aisi 1045 media quenching untuk aplikasi sprocket rantai," *journal ilmiah teknik mesin cakra.m*, vol. 5, no. 4, pp. 32-38, 4 2011.
- [9] M. R. Furqoni, "bagian mesin CNC," pt. global machine tools, 25 12 2021. [Online]. Available: <https://teknikece.com/mesin-cnc/bagian-mesin-cnc/>. [Accessed 16 1 2022].
- [10] "Metode Pemograman CNC (comuter numerical control)," ETS WORLDS, 3 2019. [Online]. Available: <https://etsworlds.id/2019/metode-pemograman->

cnc-computer.html?m=1. [Accessed 16 1 2022].

- [11] B. Purnomo, "Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 yang Dibubut Menggunakan Pahat Putar dan Udara Dingin," Bandar Lampung, 2017.
- [12] B. Sunyapa, analisi variansi proses milling cnc terhadap kekasaran permukaan baja st 41 dengan metode taguchi, jember: universitas jember, 2016.
- [13] T. Rochim, Sfesifikasi, Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik, Bandung: ITB, 2001.
- [14] I. Soejanto, Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Riyo Mulyadi
Tempat & Tanggal lahir : Silip, 24 Juni 2000
Alamat : Desa Silip, Kec. Riau Silip,
Kab. Bangka,
Prov. Kep. Bangka Belitung.
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telp : -
Hp : 082372355154
E-mail : rikasriyo@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

SD NEGERI 2 Riau Silip Lulus Tahun 2012
SMP NEGERI 1 Riau Silip Lulus Tahun 2015
SMK YPN Belinyu Lulus Tahun 2018

3. Riwayat Pendidikan Non Formal

-

Sungailiat, 12 Januari 2022

Riyo Mulyadi

LAMPIRAN 2 SPESIFIKASI ALAT POTONG

IGETALLOY
80° Diamond Type Negative Inserts Indexable Insert

CN 80° Diamond Type
Neg.
With Hole

Information in "Shape" column

Shape of Chamfer:

Chamfer:

Flute Angle:

Insert

CN 0903

Dimensions (mm): Cutting Edge Length L: 9.7, Thickness S: 3.18, Inscribed Circle C: 9.525, Hole Dia. D1: 3.81

Material: **Coated Carbide** | **Coated Carbide** | **Coated Carbide** | **Cemented Carbide**

Shape	Application Range	Cat. No.	Corner Radius RE	AC-3015P	AC-3020P	AC-3030P	AC-3040P	AC-3050P	AC-3060P	AC-3070P	AC-3080P	AC-3090P	AC-3100P	AC-3110P	AC-3120P	AC-3130P	AC-3140P	AC-3150P	AC-3160P	AC-3170P	AC-3180P	AC-3190P	AC-3200P	AC-3210P	AC-3220P	AC-3230P	AC-3240P	AC-3250P	AC-3260P	AC-3270P	AC-3280P	AC-3290P	AC-3300P	AC-3310P	AC-3320P	AC-3330P	AC-3340P	AC-3350P	AC-3360P	AC-3370P	AC-3380P	AC-3390P	AC-3400P	AC-3410P	AC-3420P	AC-3430P	AC-3440P	AC-3450P	AC-3460P	AC-3470P	AC-3480P	AC-3490P	AC-3500P	AC-3510P	AC-3520P	AC-3530P	AC-3540P	AC-3550P	AC-3560P	AC-3570P	AC-3580P	AC-3590P	AC-3600P	AC-3610P	AC-3620P	AC-3630P	AC-3640P	AC-3650P	AC-3660P	AC-3670P	AC-3680P	AC-3690P	AC-3700P	AC-3710P	AC-3720P	AC-3730P	AC-3740P	AC-3750P	AC-3760P	AC-3770P	AC-3780P	AC-3790P	AC-3800P	AC-3810P	AC-3820P	AC-3830P	AC-3840P	AC-3850P	AC-3860P	AC-3870P	AC-3880P	AC-3890P	AC-3900P	AC-3910P	AC-3920P	AC-3930P	AC-3940P	AC-3950P	AC-3960P	AC-3970P	AC-3980P	AC-3990P	AC-4000P	AC-4010P	AC-4020P	AC-4030P	AC-4040P	AC-4050P	AC-4060P	AC-4070P	AC-4080P	AC-4090P	AC-4100P	AC-4110P	AC-4120P	AC-4130P	AC-4140P	AC-4150P	AC-4160P	AC-4170P	AC-4180P	AC-4190P	AC-4200P	AC-4210P	AC-4220P	AC-4230P	AC-4240P	AC-4250P	AC-4260P	AC-4270P	AC-4280P	AC-4290P	AC-4300P	AC-4310P	AC-4320P	AC-4330P	AC-4340P	AC-4350P	AC-4360P	AC-4370P	AC-4380P	AC-4390P	AC-4400P	AC-4410P	AC-4420P	AC-4430P	AC-4440P	AC-4450P	AC-4460P	AC-4470P	AC-4480P	AC-4490P	AC-4500P	AC-4510P	AC-4520P	AC-4530P	AC-4540P	AC-4550P	AC-4560P	AC-4570P	AC-4580P	AC-4590P	AC-4600P	AC-4610P	AC-4620P	AC-4630P	AC-4640P	AC-4650P	AC-4660P	AC-4670P	AC-4680P	AC-4690P	AC-4700P	AC-4710P	AC-4720P	AC-4730P	AC-4740P	AC-4750P	AC-4760P	AC-4770P	AC-4780P	AC-4790P	AC-4800P	AC-4810P	AC-4820P	AC-4830P	AC-4840P	AC-4850P	AC-4860P	AC-4870P	AC-4880P	AC-4890P	AC-4900P	AC-4910P	AC-4920P	AC-4930P	AC-4940P	AC-4950P	AC-4960P	AC-4970P	AC-4980P	AC-4990P	AC-5000P
-------	-------------------	----------	------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

CN 09T3

Dimensions (mm): Cutting Edge Length L: 9.7, Thickness S: 3.97, Inscribed Circle C: 9.525, Hole Dia. D1: 3.81

Material: **Coated Carbide** | **Coated Carbide** | **Coated Carbide** | **Cemented Carbide**

Shape	Application Range	Cat. No.	Corner Radius RE	AC-3015P	AC-3020P	AC-3030P	AC-3040P	AC-3050P	AC-3060P	AC-3070P	AC-3080P	AC-3090P	AC-3100P	AC-3110P	AC-3120P	AC-3130P	AC-3140P	AC-3150P	AC-3160P	AC-3170P	AC-3180P	AC-3190P	AC-3200P	AC-3210P	AC-3220P	AC-3230P	AC-3240P	AC-3250P	AC-3260P	AC-3270P	AC-3280P	AC-3290P	AC-3300P	AC-3310P	AC-3320P	AC-3330P	AC-3340P	AC-3350P	AC-3360P	AC-3370P	AC-3380P	AC-3390P	AC-3400P	AC-3410P	AC-3420P	AC-3430P	AC-3440P	AC-3450P	AC-3460P	AC-3470P	AC-3480P	AC-3490P	AC-3500P	AC-3510P	AC-3520P	AC-3530P	AC-3540P	AC-3550P	AC-3560P	AC-3570P	AC-3580P	AC-3590P	AC-3600P	AC-3610P	AC-3620P	AC-3630P	AC-3640P	AC-3650P	AC-3660P	AC-3670P	AC-3680P	AC-3690P	AC-3700P	AC-3710P	AC-3720P	AC-3730P	AC-3740P	AC-3750P	AC-3760P	AC-3770P	AC-3780P	AC-3790P	AC-3800P	AC-3810P	AC-3820P	AC-3830P	AC-3840P	AC-3850P	AC-3860P	AC-3870P	AC-3880P	AC-3890P	AC-3900P	AC-3910P	AC-3920P	AC-3930P	AC-3940P	AC-3950P	AC-3960P	AC-3970P	AC-3980P	AC-3990P	AC-4000P	AC-4010P	AC-4020P	AC-4030P	AC-4040P	AC-4050P	AC-4060P	AC-4070P	AC-4080P	AC-4090P	AC-4100P	AC-4110P	AC-4120P	AC-4130P	AC-4140P	AC-4150P	AC-4160P	AC-4170P	AC-4180P	AC-4190P	AC-4200P	AC-4210P	AC-4220P	AC-4230P	AC-4240P	AC-4250P	AC-4260P	AC-4270P	AC-4280P	AC-4290P	AC-4300P	AC-4310P	AC-4320P	AC-4330P	AC-4340P	AC-4350P	AC-4360P	AC-4370P	AC-4380P	AC-4390P	AC-4400P	AC-4410P	AC-4420P	AC-4430P	AC-4440P	AC-4450P	AC-4460P	AC-4470P	AC-4480P	AC-4490P	AC-4500P	AC-4510P	AC-4520P	AC-4530P	AC-4540P	AC-4550P	AC-4560P	AC-4570P	AC-4580P	AC-4590P	AC-4600P	AC-4610P	AC-4620P	AC-4630P	AC-4640P	AC-4650P	AC-4660P	AC-4670P	AC-4680P	AC-4690P	AC-4700P	AC-4710P	AC-4720P	AC-4730P	AC-4740P	AC-4750P	AC-4760P	AC-4770P	AC-4780P	AC-4790P	AC-4800P	AC-4810P	AC-4820P	AC-4830P	AC-4840P	AC-4850P	AC-4860P	AC-4870P	AC-4880P	AC-4890P	AC-4900P	AC-4910P	AC-4920P	AC-4930P	AC-4940P	AC-4950P	AC-4960P	AC-4970P	AC-4980P	AC-4990P	AC-5000P
-------	-------------------	----------	------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

B20 ○ mark: Stock or planned stock item (please confirm stock availability) ▲ mark: To be replaced by a new product, made to order, or discontinued (please confirm stock availability).

LAMPIRAN 3 KECEPATAN SPINDLE

Recommended Cutting Conditions						
Work Material	Application	Chipbreaker	Grade	Cutting Conditions		
				Depth of Cut a_p (mm)	Feed Rate f (mm/rev)	Min. - Optimum - Max. Cutting Speed V_c (m/min)
Mild Steel (SS400, etc.)	Fine Finishing	FB/FL	T1500Z	0.2-0.5-1.0	0.05-0.15-0.25	150-280-400
	Finishing	FE/LU	T2500Z	0.3-1.0-1.8	0.08-0.20-0.35	150-280-400
Carbon Steel Alloy Steel (S45C, SCM435, etc.)	Fine Finishing	FB/FA	T1500A	0.2-0.5-1.0	0.05-0.15-0.25	100-200-300
	Finishing	FE/SU	T1500A	0.5-1.0-2.0	0.08-0.20-0.35	100-200-300
Hard Steel Alloy Steel (SCM440H, etc.)	Medium	GU	T1500Z	0.8-2.2-4.0	0.15-0.25-0.50	100-200-300
	Fine Finishing	FB/FA	T1000A	0.2-0.5-1.0	0.05-0.15-0.25	50-150-250
	Finishing	FE/SU	T1500Z	0.5-1.0-2.0	0.08-0.20-0.35	50-150-250
	Medium	GU	T1500Z	0.8-2.2-4.0	0.15-0.25-0.50	50-150-250

A11

Kecepatan *spindle*:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000}$$

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d}$$

Kecepatan *spindle* level 1:

$$n = \frac{135 \times 1000}{\pi \times 25} = 1.718 \Rightarrow 1.700 \text{ put/menit}$$

Kecepatan *spindle* level 2:

$$n = \frac{145 \times 1000}{\pi \times 25} = 1.846 \Rightarrow 1.850 \text{ put/menit}$$

Kecepatan *spindle* level 3:

$$n = \frac{150 \times 1000}{\pi \times 25} = 2.037 \Rightarrow 2.000 \text{ put/menit}$$

LAMPIRAN 4
PROSES PENGUKURAN



Gambar L-4. 1. Pengukuran benda kerja awal 1



Gambar L-4. 2. Pengukuran benda kerja Replikasi 1



Gambar L-4. 3. Pengukuran benda kerja awal 2



Gambar L-4. 4. Pengukuran benda kerja Replikasi 2



Gambar L-4. 5. Pengukuran benda kerja awal 3



Gambar L-4. 6. Pengukuran benda kerja Replikasi 3



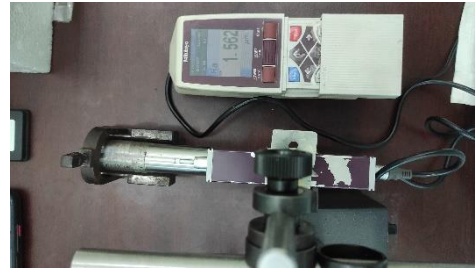
Gambar L-4. 7. Pengukuran benda kerja awal 4



Gambar L-4. 8. Pengukuran benda kerja Replikasi 4



Gambar L-4. 9. Pengukuran benda kerja awal 5



Gambar L-4. 10. Pengukuran benda kerja Replikasi 5



Gambar L-4. 11. Pengukuran benda kerja awal 6



Gambar L-4. 12. Pengukuran benda kerja Replikasi 6



Gambar L-4. 13. Pengukuran benda kerja awal 7



Gambar L-4. 14. Pengukuran benda kerja Replikasi 7



Gambar L-4. 15. Pengukuran benda kerja awal 8



Gambar L-4. 16. Pengukuran benda kerja Replikasi 8

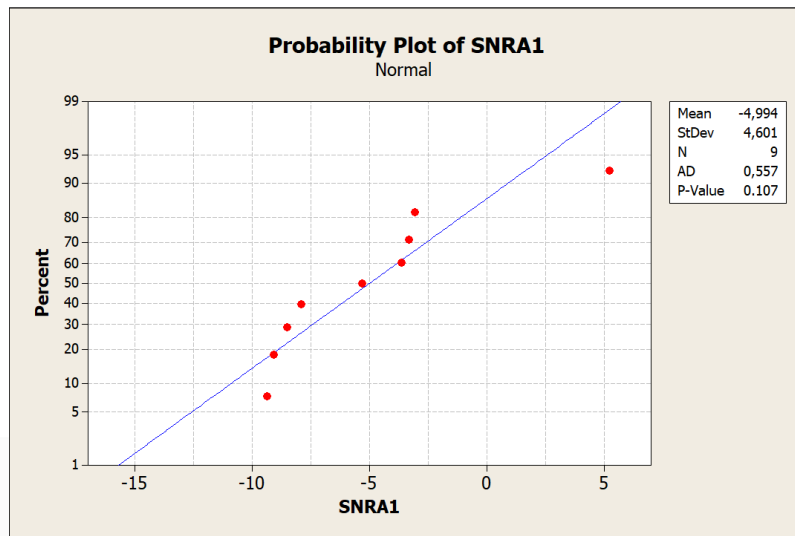


Gambar L-4. 17. Pengukuran benda kerja awal 9

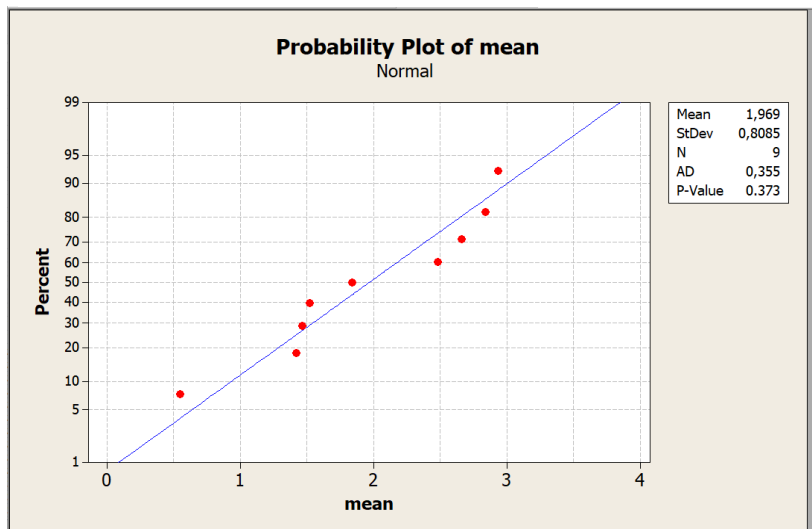


Gambar L-4. 18. Pengukuran benda kerja Replikasi 9

LAMPIRAN 5
UJI KENORMALAN DATA



Gambar L-5. 1. Kenormalan data *Signal noise to ratio*



Gambar L-5. 2. Kenormalan data rata-rata

LAMPIRAN 6 ANALISIS VARIAN *SOFTWARE* STATISTIK

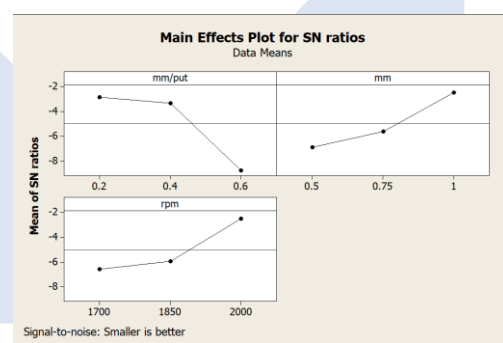
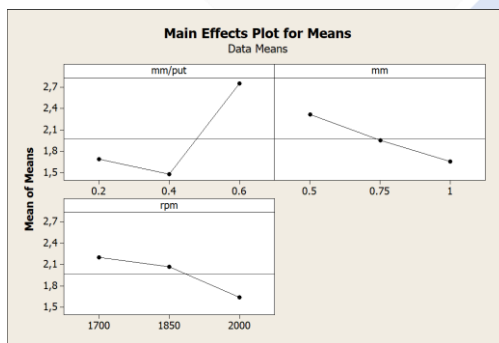
mm/put	mm	rpm	mean	SNRA1
0.2	0,25	1700	2,6633	-8,50837
0.2	0,375	1850	1,8435	-5,31286
0.2	0,5	2000	0,5478	5,22769
0.4	0,25	1850	1,4244	-3,07249
0.4	0,375	2000	1,5205	-3,63949
0.4	0,5	1700	1,4651	-3,31749
0.6	0,25	2000	2,8424	-9,07375
0.6	0,375	1700	2,4823	-7,89720
0.6	0,5	1850	2,9351	-9,35253

Response Table for Means

Level	mm/put	mm	rpm
1	1,685	2,310	2,204
2	1,470	1,949	2,068
3	2,753	1,649	1,637
Delta	1,283	0,661	0,567
Rank	1	2	3

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	mm/put	mm	rpm
1	-2,865	-6,885	-6,574
2	-3,343	-5,617	-5,913
3	-8,774	-2,481	-2,495
Delta	5,910	4,404	4,079
Rank	1	2	3



Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
mm/put	2	2,8346	2,8346	1,4173	2,34	0,300
mm	2	0,6567	0,6567	0,3283	0,54	0,649
rpm	2	0,5252	0,5252	0,2626	0,43	0,698
Residual Error	2	1,2126	1,2126	0,6063		
Total	8	5,2291				

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
mm/put	2	64,66	64,66	32,33	1,43	0,411
mm	2	30,84	30,84	15,42	0,68	0,594
rpm	2	28,76	28,76	14,38	0,64	0,611
Residual Error	2	45,09	45,09	22,55		
Total	8	169,34				

LAMPIRAN 7
F-TABEL ALPHA 0,05

df	v1																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	30	40	50
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	246	247	247	248	248	250	251	252
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74	8,73	8,71	8,70	8,69	8,68	8,67	8,67	8,66	8,62	8,59	8,58
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,91	5,89	5,87	5,86	5,84	5,83	5,82	5,81	5,80	5,75	5,72	5,70
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,70	4,68	4,66	4,64	4,62	4,60	4,59	4,58	4,57	4,56	4,50	4,46	4,44
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,98	3,96	3,94	3,92	3,91	3,90	3,88	3,87	3,81	3,77	3,75
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57	3,55	3,53	3,51	3,49	3,48	3,47	3,46	3,44	3,38	3,34	3,32
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,26	3,24	3,22	3,20	3,19	3,17	3,16	3,15	3,08	3,04	3,02
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07	3,05	3,03	3,01	2,99	2,97	2,96	2,95	2,94	2,86	2,83	2,80
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91	2,89	2,86	2,85	2,83	2,81	2,80	2,79	2,77	2,70	2,66	2,64
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,76	2,74	2,72	2,70	2,69	2,67	2,66	2,65	2,57	2,53	2,51
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,72	2,69	2,66	2,64	2,62	2,60	2,58	2,57	2,56	2,54	2,47	2,43	2,40
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,60	2,58	2,55	2,53	2,51	2,50	2,48	2,47	2,46	2,38	2,34	2,31
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,57	2,53	2,51	2,48	2,46	2,44	2,43	2,41	2,40	2,39	2,31	2,27	2,24
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48	2,45	2,42	2,40	2,38	2,37	2,35	2,34	2,33	2,25	2,20	2,18
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,46	2,42	2,40	2,37	2,35	2,33	2,32	2,30	2,29	2,28	2,19	2,15	2,12
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38	2,35	2,33	2,31	2,29	2,27	2,26	2,24	2,23	2,15	2,10	2,08
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34	2,31	2,29	2,27	2,25	2,23	2,22	2,20	2,19	2,11	2,06	2,04
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31	2,28	2,26	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17	2,16	2,07	2,03	2,00
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28	2,25	2,22	2,20	2,18	2,17	2,15	2,14	2,12	2,04	1,99	1,97
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25	2,22	2,20	2,18	2,16	2,14	2,12	2,11	2,10	2,01	1,96	1,94
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,26	2,23	2,20	2,17	2,15	2,13	2,11	2,10	2,08	2,07	1,98	1,94	1,91
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,20	2,18	2,15	2,13	2,11	2,09	2,08	2,06	2,05	1,96	1,91	1,88
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,22	2,18	2,15	2,13	2,11	2,09	2,07	2,05	2,04	2,03	1,94	1,89	1,86
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16	2,14	2,11	2,09	2,07	2,05	2,04	2,02	2,01	1,92	1,87	1,84