

**ANALISIS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PROSES CNC MILLING BAJA AISI 1045
MENGUNAKAN METODE *RESPON SURFACE***

*Analysis of Surface Rough Value In AISI 1045 Steel CNC Milling Process
Using Respon Surface Method*

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat meyelesnikan pendidikan
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur
Di Jurusan Teknik Mesin

Dikah :
Egi Endrian
NPM : 1041741



**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2021

**ANALISA NILAI KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PROSES CNC MILLING BAJA AISI 1045
MENGGUNAKAN METODE *RESPON SURFACE***

*Analysis of Surface Rough Value In AISI 1045 Steel CNC Milling Process Using
Respon Surface Method*

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

Oleh :
Egi Endrian
NPM : 1041741



POLMAN BABEL
2021

ANALISIS NILAI KEKASARAN PERMUKAAN PADA
PROSES CNC *MILLING* BAJA AISI 1045
MENGUNAKAN METODE *RESPON SURFACE*

Penulis :
Egi Endrian
NPM : 1041741

Penguji :

1. Ketua : Muhammad Subhan, S.S.T., M.T
2. Anggota : Nanda Pranandita, S.S.T., M.T
3. Anggota : Husman, S.S.T., M.T

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 25 Februari 2021
Dan disahkan sesuai dengan ketentuan.

Pembimbing Utama,



Muhammad Subhan, S.S.T., M.T
NIDN 0024018802

Pembimbing Pendamping,



Yuliyanto, S.S.T., M.T
NIDN 0216077503



Pristiasyah S,ST.,M.Eng
NIDN 0024018802

MOTTO

Sesungguhnya setelah kesusahan akan ada kemudahan
(*Terjemahan surah Al-Insirah Ayat 6*)

Semua orang jenius. Tapi jika anda menilai ikan dari kemampuannya memanjat pohon, ia akan menjalani hidupnya dengan percaya bahwa itu bodoh.
(*Albert Einstein*)

Boleh Pasrah, Tapi jangan menyerah.
(*Egi Endrian*)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Murtiah Sulastri dan Ayahanda Zulfikar yang tercinta serta selalu memberikan doa, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayang dan pengorbanan selama ini.
2. Kakak – kakakku tersayang yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
3. Sahabat – sahabat baikku yang telah memberikan inspirasi, dukungan, semangat dan banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman – teman seperjuangan Teknik Mesin dan Manufaktur angkatan 2017 yang selalu membantu, memberikan dukungan dan semangat tanpa lelah.
5. Almamater ku tercinta, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

ABSTRAK

Hasil Kekasaran permukaan yang minimal merupakan tujuan yang diinginkan pada proses pemesinan CNC MORI SEIKI MV-40M, harus dilakukan pengaturan parameter – parameter proses pemesinan CNC MORI SEIKI MV-40M yang tepat agar diperoleh hasil respon kekasaran permukaan benda kerja yang minimal.

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menentukan kontribusi dari parameter – parameter proses pemesinan CNC MORI SEIKI MV-40M untuk mengurangi variasi dari respon kekasaran permukaan benda kerja secara serentak. Dan dilakukan setting parameter yang tepat dari parameter – parameter proses pemesinan CNC MORI SEIKI MV-40M agar dapat diperoleh kekasaran permukaan benda kerja yang minimal. Parameter proses pemesinan yang divariasikan adalah *feed rate*, kedalaman pemakanan, dan putaran spindel. Rancangan percobaan ditetapkan berdasarkan metode respon surface box behken design. Metode analisis yang digunakan adalah Respon Surface. Percobaan dilakukan secara acak dengan replikasi sebanyak 2 kali untuk mengatasi faktor gangguan yang terjadi selama proses pemesinan.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa untuk mengurangi variasi dari respon secara serentak, Untuk *feed rate* memberikan kontribusi paling berpengaruh dari ketiga variabel faktor. Sedangkan untuk kedalaman pemakanan dan putaran spindel tidak sebaik *feed rate* dalam memberikan pengaruh terhadap respon yang dihasilkan. Untuk memperoleh kekasaran permukaan benda kerja yang minimal pada baja AISI 1045 dengan variasi parameter kedalaman pemakanan 0.18 mm (faktor A level 1), *feed rate* 60 mm/menit (faktor B level 1 dan putaran spindel 800 RPM (faktor C level 2) dengan nilai kekasaran yang dihasilkan 1.169 μm .

Kata Kunci : AISI 1045, Kekasaran, *Respons Surface*

ABSTRACT

The result of minimal surface roughness is the desired goal in the CNC MORI SEIKI MV-40M machining proses, the precise parameters of the MORI SEIKI MV-40M machining proses must be set in order to obtain a minimal surface roughness response.

The research that has been done aims to determine the contribution of the CNC MORI SEIKI MV-40M machining process parameters to reduce the variation of the workpiece surface roughness response simultaneously. And the precise parameter setting of the CNC MORI SEIKI MV-40M machining process parameters is carried out in order to obtain a minimum surface roughness of the workpiece. The parameters of the machining process were varied, namely the feed rate, the depth of infeed, and the spindle rotation. The experimental design was determined based on the surface box behken design response method. The analytical method used is the response surface. The experiment was carried out randomly with replication 2 times to overcome the disturbance factors that occurred during the machining process.

The results of the study indicate that in order to reduce the variation of the response simultaneously, the feed rate provides the most influential contribution of the three factor variables. Meanwhile, the depth of feed and spindle rotation are not as good as the feed rate in giving effect to the resulting response. To obtain the minimum surface roughness of the workpiece on AISI 1045 steel with a variation of the infeed depth parameter of 0.18 mm (factor A level 1), a feed rate of 60 mm / minute (factor B level 1 and spindle rotation of 800 RPM (factor C level 2) with a value the resulting roughness of 1,169 μm .

Keywords: AISI 1045, Surface, Surface Respon

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Tugas akhir ini berjudul **“Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses CNC Milling Baja AISI 1045 Menggunakan Metode RSM”**

Dengan telah selesainya tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak untuk menambahkan pengetahuan tentang tugas akhir ini. Adapun maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari atas segala keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, sehingga dalam penyusunan makalah tugas akhir ini tidak terlepas banyak kekurangan, baik itu dari segi isi ataupun materi dalam susunan kalimatnya. Oleh karena itu, kiranya pembaca dapat memaklumi kekurangan yang ada serta semua kritik dan saran maupun masukan sangat penulis harapkan guna untuk memperbaiki makalah ini kearah yang lebih baik.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan arahan serta membimbing penulis yaitu :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Keluarga tercinta, khususnya Ayah dan Ibu serta kakak – kakak ku yang selalu memberikan semangat, dukungan moral maupun materil, motivasi dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.
3. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama Tugas Akhir, serta Wakil Direktur II, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis.

4. Bapak Yuliyanto, S.ST., M.T, selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis
5. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Seluruh dosen, staf pengajar dan teknisi Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, yang memberikan ilmu dan wawasan selama penulis menempuh pendidikan D IV.
8. Sahabat – sahabat baikku, teman – teman seperjuangan terutama kelas Teknik Mesin dan Manufaktur B angkatan 2017 yang telah memberikan motivasi dan semangat serta doa dan pengertiannya kepada penulis.
9. Sahabat seperjuangan bimbingan Rahmat Dwi Cahyo dan Muhammad Syaifullah serta seluruh pihak yang telah membantu memberikan motivasi dan dukungannya dalam kelancaran menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebut satu-persatu. Terima kasih atas semuanya.

Akhir kata penulis berharap semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Demikian makalah yang dapat penulis sampaikan akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Sungailiat, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 CNC (Computer Numerical Control)	II-1
2.2 Proses Milling	II-1
2.3 Prinsip Kerja Mesin CNC Milling	II-2
2.4 Parameter Pengoperasian Mesin Milling	II-3
2.5 Baja Karbon	II-4
2.6 Kekasaran Permukaan	II-5
2.7 Response Surface Methodology	II-6
2.8 Penentuan Variabel	II-10
2.9 Hipotesa	II-11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1 Diagram Alir Penelitian	III-1
3.2 Studi Pustaka	III-2
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	III-2
3.4 Peralatan Penelitian	III-2
3.4.1 Mesin CNC <i>Milling</i>	III-2
3.4.2 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210	III-3
3.5 Material Penelitian	III-4
3.5.1 Pahat	III-4
3.5.2 Material	III-5
3.6 Variabel Faktor	III-5
3.7 Pengambilan Data Kekasaran Permukaan	III-6

3.8 Analisis Data.....	I-6
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Proses Pengambilan Data	IV-1
4.2 Pengambilan Data Hasil Kekasaran	IV-4
4.2.1 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 1	IV-5
4.2.2 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 2	IV-5
4.2.3 Nilai Kekasaran Keseluruhan	IV-6
4.3 Proses Software Minitab 16	IV-7
4.4 Metode ANOVA	IV-9
4.5 Uji Lack Of Fit	IV-9
4.6 Uji Kenormalan Residual	IV-10
4.7 Grafik Surface Plot	IV-12
4.7.1 Kedalaman Pemakanan Dan <i>Feed Rate</i>	IV-12
4.7.2 Putaran Spindel Dan <i>Feed Rate</i>	IV-13
4.7.3 Kedalaman Pemakanan Dan Putaran Spindel	IV-14
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.6 Standarisasi Simbol Nilai Kekasaran Menurut ISO	I-6
3.4.1 Spesifikasi Mesin CNC <i>Milling</i>	III-2
3.4.2 Spesifikasi <i>Surface Roughness Tester</i> Mitutoyo SJ-210	III-4
3.5.1 Spesifikasi Pahat	III-5
3.6 Variabel Faktor	III-6
3.8 Rancangan Percobaan Dengan Box Behken Design	III-7
4.1 Alat Pendukung Dalam Pengukuran Kekasaran Dan Kegunaannya	IV-2
4.2.1 Pengambilan Data Kekasaran Permukaan Replikasi 1	IV-5
4.2.2 Pengambilan Data Kekasaran Permukaan Replikasi 2	IV-5
4.4.3 Nilai Kekasaran Permukaan	IV-6

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.6 Profil Permukaan.....	I-5
2.7 Box Behken Untuk Tiga Faktor	II-7
3.4.1 CNC <i>Milling</i> MORI SEIKI MV-40M	III-2
3.4.2 <i>Surface Roughness Tester</i> Mitutoyo SJ-210	III-2
3.5.1 <i>Insert Carbide End Mill</i>	III-3
3.5.2 Ukuran Benda Kerja	III-4
4.1 Ukuran Benda Kerja	IV-1
4.1 a. <i>V-Block</i>	IV-2
4.1 b. <i>Holder Dial</i>	IV-2
4.1.1 Kalibrasi Alat Ukur Kekasaran	IV-3
4.1.2 Setting Ketinggian Benda Kerja dan Alat Ukur Kekasaran	IV-3
4.1.3 Skema Proses Pengukuran Kekasaran Benda Kerja	IV-4
4.3 Proses Nilai Kekasaran Menggunakan Minitab 16	IV-7
4.6 Plot Distribusi Normal Residual Model Regresi Linear Sederhana	IV-10
4.6.1 Plot Residual Dengan Taksiran Model	IV-11
4.6.2 Plot Residual Dengan Order Model	IV-11
4.7.1 Grafik Surface Plot Kedalaman Pemakanan Dan <i>Feed Rate</i>	IV-12
4.7.2 Grafik Surface Plot Putaran Spindel Dan <i>Feed Rate</i>	IV-13
4.7.3 Grafik Surface Plot Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemakanan.....	IV-14

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pemesinan non konvensional menjadi pilihan yang tepat, ketika pembuatan suatu benda kerja sulit dikerjakan oleh proses permesinan konvensional. Salah satu proses permesinan non konvensional yang sering digunakan adalah Computer Numerical Control (CNC). Mesin CNC adalah mesin yang menggunakan suatu program komputer, merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan. Perkembangan IPTEK menuntut industri manufaktur harus mampu bersaing dalam beberapa faktor penting, seperti peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, penurunan biaya produksi, produksi yang aman dan ramah lingkungan (Pratama, 2017).

Proses pemotongan logam atau proses pemesinan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur, bahkan proses pemesinan telah menjadi inti dari industri manufaktur sejak revolusi industri. Penelitian tentang proses pemotongan logam biasanya difokuskan pada penentuan sifat mampu material yang mencakup umur pahat, gaya potong, kekasaran permukaan, laju pengerjaan material dan bentuk geram. Selain itu, penelitian juga difokuskan pada penentuan kombinasi variabel proses pemesinan yang berpengaruh terhadap efisiensi proses dan karakteristik kualitas dari produk yang dihasilkan (Gupta, 2011).

Dalam proses pemesinan CNC, tingkat kekasaran permukaan adalah hal penting yang harus diperhatikan dari hasil proses pemesinan. Tingkat kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan oleh proses pemesinan harus sesuai dengan kebutuhan. Semakin tinggi tingkat kualitas permukaan benda kerja semakin tinggi pula tingkat kepresisiannya (Raul, et al., 2016). Dari kepresisian tingkat kekasaran permukaan akan mempengaruhi fungsi dari suatu produk dengan evaluasi apakah produk akan diterima atau tidak. Terutama untuk bagian-bagian dari elemen mesin yang berpasangan ataupun bergesekan. Tingginya

tingkat kekasaran permukaan akan mempengaruhi kinerja dari komponen elemen mesin yang berpasangan sehingga akan terganggu komponen pasangannya dan dapat mengurangi umur pemakaian komponen tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari permukaan suatu benda kerja pada proses pemesinan diantaranya adalah sudut dan ketajaman pisau potong dalam proses pembuatannya, variasi kecepatan potong, posisi senter, getaran mesin, perlakuan panas yang kurang baik dan sebagainya (Santoso, et al., 2019). Selain faktor-faktor yang telah disebutkan diatas, faktor lain juga mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan seperti kecepatan spindel dan kedalaman pemakanan. Penelitian tentang kualitas kekasaran permukaan benda kerja hasil pemesinan sudah sering dilakukan, hal ini dilakukan untuk memperbaiki lagi tingkat kualitas kekasaran permukaan suatu benda kerja dalam proses pemesinan dengan hasil yang maksimal.

Penelitian yang dilakukan (Pratama, 2017) meneliti tentang parameter pemotongan dan debit pendinginan terhadap kekasaran permukaan. Penelitian ini menggunakan kedalaman pemakanan 0.18 mm, 0.22 mm, dan 0.26 mm, kecepatan pemakanan 180 mm/menit, 240 mm/menit, dan 300 mm/menit, serta debit pendinginan 5 ml/detik, 10 ml/detik dan 15 ml/detik. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan, diperoleh kondisi optimum *setting* parameter untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan terbaik, yaitu untuk nilai parameter kedalaman pemakanan sebesar 0.18 mm, nilai kecepatan pemakanan sebesar 180 mm/menit, dan nilai debit pendinginan sebesar 10 ml/detik. Dengan *setting* parameter ini didapatkan nilai optimum kekasaran permukaan sebesar 1.027 μm .

Dalam penelitian ini baja yang digunakan adalah baja dari jenis baja *American Iron and Steel Insitute* (AISI) 1045. Baja AISI 1045 adalah baja karbon kelas menengah yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43% - 0,50%. Baja AISI 1045 sebagai keperluan alat perkakas bagian-bagian mesin yang banyak digunakan untuk bahan komponen roda gigi, poros dan bantalan. Untuk menentukan rancangan eksperimen dari variasi proses pemesinan yang meliputi kedalaman pemakanan, *feed rate* dan putaran spindel adalah menggunakan metode *Respon Surface box behken design* pada software analisis.

Selain dimensi produk jadi, kekasaran permukaan (*surface roughness/R_a*) merupakan salah satu karakteristik kualitas kritis yang penting pada proses pemesinan. Kekasaran permukaan cocok digunakan untuk memeriksa kualitas permukaan akhir benda kerja yang dihasilkan dalam jumlah banyak, karena kekasaran permukaan lebih peka terhadap penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan (Kurniawan, 2013). Penelitian tentang kekasaran permukaan pada proses pemotongan logam cukup banyak dilakukan melalui berbagai eksperimen.

Respon surface methodology (RSM) adalah kumpulan metode matematika dan teknik statistik yang bertujuan untuk membuat model dan melakukan analisis mengenai respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel. Peneliti sering menggunakan RSM sebagai cara mencari fungsi yang tepat untuk memprediksi respon. Kemudian peneliti menggunakan RSM karena ingin menentukan nilai – nilai variabel independen yang dapat mengoptimalkan respon. Optimasi dengan metode permukaan respon bisa diterapkan pada penelitian ilmu pangan (Teknologi Hasil Pertanian), Pertanian, Bioteknologi, Kehutanan, Biologi, Farmasi, Ilmu Ekonomi, Kesehatan, Teknik Kimia, Kimia, Teknik, Sosial, Ilmu Kesehatan, dll. Penggunaan metode permukaan respon tidak hanya terbatas untuk ilmu-ilmu tersebut, namun semua bidang ilmu khususnya penelitian yang bertujuan untuk mencari variabel optimum bisa menggunakan metode ini. Metode ini menggunakan analisis regresi pada data eksperimen dan plot 3D model permukaan respon (Fitria, 2015).

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian untuk melihat pengaruh proses pemesinan terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Untuk itu, penulis melakukan penelitian ini dengan judul “**Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses CNC Milling Baja AISI 1045 Menggunakan Metode *Respon Surface***”.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan adalah:

1. Bagaimana besar kontribusi parameter proses permesinan putaran spindel, kedalaman pemakanan, dan *feed rate* terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja pada material baja AISI 1045 proses *milling*?
2. Bagaimana pengaturan setting parameter tersebut agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling rendah pada material baja AISI 1045 dengan metode Respon surface box behken design?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada perumusan masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan antara lain:

1. Untuk mengetahui besar kontribusi parameter permesinan kedalaman pemakanan, *feed rate* dan putaran spindel terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja pada material baja AISI 1045 proses *milling*.
2. Untuk mengetahui kombinasi parameter yang tepat dari proses permesinan CNC *Milling* agar menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling rendah pada material Baja AISI 1045 dengan metode *Respons Surface*.

1.4 Batasan Masalah

Agar masalah dalam penelitian ini lebih terarah tepat pada sasaran dan tidak menyimpang dari tujuan yang semula direncanakan sehingga mempermudah mendapatkan data dan informasi yang diperlukan, maka penulis menetapkan batasan-batasan masalah bahwa:

1. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1045.
2. Dimensi benda kerja adalah diameter x panjang = $\text{Ø}30 \times 50$ mm.
3. Proses permesinan yang digunakan adalah mesin CNC *Milling* MORI SEIKI MV-40M.
4. Pahat yang digunakan adalah pahat *Insert Carbide* APMT113508PDTR.
5. Proses CNC *Milling* yang dilakukan hanya variasi kedalaman pemakanan, *feed rate* dan putaran spindel.
6. Rancangan percobaan ini menggunakan metode *Respons Surface Box Behken Design*.

7. Pengujian kekasaran permukaan benda kerja menggunakan *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-210.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis melalui penelitian ini adalah

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan mampu memperluas wawasan dan sekaligus memperoleh pengetahuan mengenai pengaruh variasi proses permesinan (kedalaman pemakanan, *feed rate* dan putaran spindel) pada mesin CNC *milling* terhadap nilai kekasaran suatu permukaan benda kerja.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan benda kerja yang baik dalam peningkatan kualitas produk terkait dengan pengaruh variasi proses pemesinan (kedalaman pemakanan, *feed rate* dan putaran spindel) pada mesin CNC *milling*.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 CNC (*Computer Numerical Control*)

Awal lahirnya mesin CNC bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearseon dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar. Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal dan sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas.

2.2 Proses Milling

Proses *Milling* dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan dan posisi reaktif terhadap benda kerja.

A. Slab Milling

Permukaan yang terbentuk dari proses *slab milling* ini dihasilkan oleh gigi pahat yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pahat biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat.

B. Face Milling

Pada proses *face milling*, pahat dipasang pada *spindle* yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses ini dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pahat.

C. End Milling

Pahat pada proses ini biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pahat dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan

permukaan menyudut. Gigi potong pada pahat terletak pada selubung pahat dan ujung badan pahat.

2.3 Prinsip Kerja Mesin CNC Milling

Tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindle* mesin *milling*. *Spindle* mesin *milling* adalah bagian dari sistem utama mesin *milling* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan.

Gerakan pemotongan pada *cutter* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan pemotongan pada bagian benda kerja, hal ini dapat terjadi karena material penyusun *cutter* mempunyai kekerasan diatas kekerasan benda kerja.

Gerakan mesin CNC *Milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula. CNC *Milling* menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat *cartesius*.

Prinsip kerja mesin CNC *Milling* adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau/pahat berputar. Untuk arah gerak persumbuan mesin CNC *Milling* tersebut diberi lambang persumbuan sebagai berikut :

- a. Sumbu X untuk arah gerakan horizontal
- b. Sumbu Y untuk arah gerakan melintang
- c. Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal

Pada dasarnya ada dua metode pemrograman untuk menyatakan jalannya alat potong dalam pembentukan/pemesinan benda kerja, yakni absolut dan inkremental.

Absolut merupakan metode penyampaian informasi dalam penyusunan program CNC tentang jalannya alat potong yang berpedoman pada satu titik nol. Sedangkan inkremental merupakan metode penyampaian informasi dalam

penyusunan program CNC tentang jalannya alat potong yang didasarkan pada beberapa titik awal, di mana titik akhir terdahulu menjadi titik awal untuk langkah berikutnya. Kedua metode ini tidak hanya ditemukan dalam pemrograman CNC, tetapi juga dalam penempatan ukuran dalam gambar kerja.

2.4 Parameter Pengoperasian Mesin *Milling*

Parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin *milling*. Parameter yang dimaksud adalah putaran *spindle* (n), gerak makan (f), dan kedalaman pemotongan (a). Putaran *spindle* bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi *handle* pengatur putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur *handle* gerak makan sesuai dengan tabel f yang ada di mesin. Gerak makan ini pada proses *milling* ada dua macam yaitu gerak makan per gigi (mm/gigi), dan gerak makan per putaran (mm/putaran). Kedalaman pemakanan diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pahat.

A. Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Pada umumnya mesin *milling*, dipasang tabel kecepatan pemakanan atau *feeding* dalam satuan mm/menit. Makin kecil kecepatan pemakanan pisau *milling*, kekasaran semakin rendah. Tabel besar pemakanan pada mesin baru berlaku jika mesin tersebut dijalankan dengan cara otomatis.

B. Kedalaman Pemakanan

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja awal terhadap tebal benda kerja akhir. Untuk kedalaman potong yang relatif besar diperlukan perhitungan daya potong yang diperlukan untuk proses penyayatan. Apabila daya potong yang diperlukan masih lebih rendah dari daya yang disediakan oleh mesin (terutama motor listrik), maka kedalaman potong yang telah ditentukan bisa digunakan.

C. Putaran Spindel

Putaran spindel (n) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja.

$$n = \frac{CS}{\pi \cdot d} \text{ Rpm}$$

2.5 Baja Karbon

Baja karbon adalah material logam yang terbentuk dari unsur utama Fe dan unsur kedua yang berpengaruh pada sifatnya adalah karbon, sedangkan unsur yang lain berpengaruh menurut prosentasenya. Karbon dengan unsur campur lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit

2. Baja karbon menengah

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%-0,6%C (*medium carbon steel*) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah

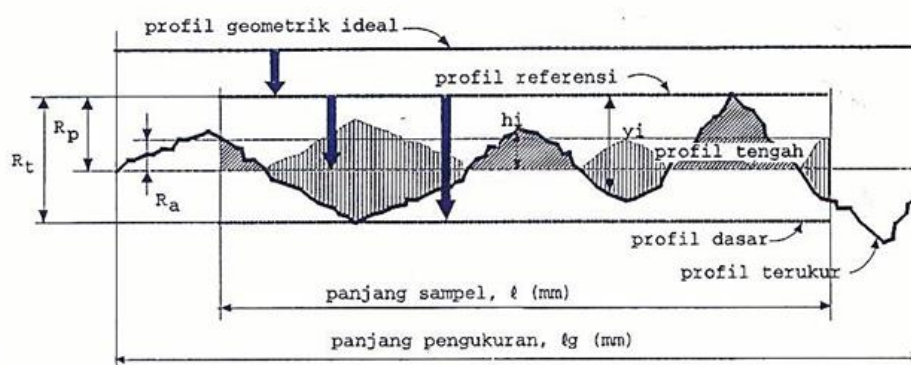
3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung 0,6% - 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas (Pratama, 2017).

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakraturan konfigurasi dan penyimpangan karakteristik permukaan. Adapun penyebabnya beberapa macam faktor, diantaranya yaitu; mekanisme parameter pemotongan, geometri dan dimensi pahat, cacat pada material benda kerja, dan kerusakan pada aliran geram. Kualitas suatu produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan dapat dinyatakan dengan menganggap jarak antara puncak tertinggi dan lembah terdalam sebagai ukuran dari kekasaran permukaan. Dapat juga dinyatakan dengan jarak rata – rata dari profil ke garis tengah.

Untuk mendapatkan hasil profil suatu permukaan, maka sensor alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan. Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelumnya, alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba.



Gambar 2.6 Profil Permukaan (Purwanti, et al., 2013)

Harga kekasaran rata – rata (R_a) maksimal yang diijinkan ditulis diatas simbol segitiga. Satuan yang digunakan harus sesuai dengan satuan panjang yang digunakan dalam gambar teknik. Jika angka kekasaran R_a minimum diperlukan, dapat dituliskan dibawah angka kekasaran maksimum. Angka kekasaran dapat diklasifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti terlihat pada tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Standarisasi Simbol Nilai Kekasaran Menurut (*ISO*)

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

Angka kekasaran (*ISO number*) dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kesalahan atas satuan harga kekasaran. Jadi spesifikasi kekasaran dapat langsung dituliskan nilainya atau dengan menuliskan angka kekasaran *ISO*. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Apabila panjang sampel tidak dicantumkan didalam penulisan simbol berarti panjang sampel 0,8 mm (bila diperkirakan proses permesinannya halus sampai sedang) dan 2,5 mm (bila diperkirakan proses pemesinannya kasar). Toleransi harga kekasaran rata – rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya.

2.7 Response Surface Methodology

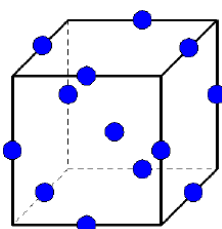
Respon surface methodology (RSM) adalah kumpulan metode matematika dan teknik statistik yang bertujuan untuk membuat model dan melakukan analisis mengenai respon yang dipengaruhi oleh beberapa variabel. Peneliti sering menggunakan RSM sebagai cara mencari fungsi yang tepat untuk memprediksi respon. Kemudian peneliti menggunakan RSM karena ingin menentukan nilai –

nilai variabel independen yang dapat mengoptimalkan respon. Metode ini menggunakan analisis regresi pada data eksperimen dan plot 3D model permukaan respon (Fitria, 2015).

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan jika melakukan teknik analisa respon surface. Hal pertama yang perlu adalah bentuk persamaannya apakah merupakan fungsi berorde satu atau fungsi berorde dua. Untuk fungsi yang berorde, rancangan percobaannya cukup dengan menggunakan 2 faktorial dimana setiap perlakuan memiliki dua level perlakuan. Jika dibandingkan dengan rancangan respon surface yang berorde dua, maka rancangan respon surface berorde satu lebih sedikit membutuhkan unit percobaan, yaitu sebanyak 2 unit percobaan dimana k menyatakan banyaknya faktor perlakuan. Untuk respon surface yang berorde dua, rancangan percobaannya bisa menggunakan *central composite design* (CCD) dan *Box – behken design* (BBD) yang memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan 2^k faktorial (*respon surface* berorde satu). Dalam eksperimen ini digunakan *Box – behken design*.

Box – Behken Design

Salah satu perbedaan box – behken design dengan central composite design adalah pada box – behken design tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Tidak adanya axial/star runs ini menyebabkan box – behken lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan. Pada dasarnya box – behken dibentuk berdasarkan kombinasi rancangan 2 dengan incomplete black design dengan menambahkan center run pada rancangannya.



Gambar 2.7 Box – Behken Untuk Tiga Faktor. (Purwanti, et al., 2013)

Box – behken design merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen hanya dapat diterapkan pada percobaan yang memiliki minimal

3 faktor, untuk melakukan pengolahan data dan analisa pada Box – behken menggunakan software Minitab 16. Langkah – langkah untuk analisa adalah

1. Membuat desain (rancangan) percobaan.
2. Membuat model regresi dari data yang ada.
3. Mengestimasi parameter menggunakan metode *least square*.
4. Menguji hipotesis.
5. Menginterpretasi hasil model.
6. Memprediksi respon optimum berdasarkan permukaan respon dan contour yang didapat dari persamaan respon.
7. Mencari level yang menyebabkan respon optimum.

Model orde dua adalah model yang paling sering digunakan pada metode permukaan respon. Beberapa alasan model orde dua lebih banyak digunakan dalam metode permukaan respon adalah (Fitria, 2015) :

- a) Model orde dua sangat fleksibel. Model tersebut dapat berubah ke dalam bentuk fungsi yang sesuai dengan kebutuhan.
- b) Parameter pada model orde dua mudah diestimasi.
- c) Model orde dua lebih praktis dalam memecahkan permasalahan pada permukaan respon.

ANOVA (*Analysis Of Variant*)

ANOVA digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai jumlah kuadrat dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

1. Jumlah Kuadrat

Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah kuadrat pada Anova dapat dilihat pada keterangan dibawah :

- *Total of Sum Squares (SS_t)* – jumlah kuadrat simpangan total.

Merupakan jumlah kuadrat selisih antara skor individual dengan rata – rata totalnya. Untuk menghitung *SS_t* bisa digunakan rumus berikut ini :

$$SS_t = \sum x^2 - \frac{G^2}{N}$$

Dengan :

x = Data pada masing-masing kelompok.

G = Total x dari seluruh kelompok.

N = Jumlah sampel keseluruhan.

- *Between treatments variability (SSb)* – variabilitas antar kelompok.

Variansi rata – rata kelompok sampel terhadap rata – rata keseluruhannya.

Adapun rumus SSb sebagai berikut :

$$SSb = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N}$$

Dengan :

x = Data pada masing – masing kelompok.

G = Total x dari seluruh kelompok.

n = Jumlah sampel masing – masing kelompok.

N = Jumlah sampel keseluruhan.

T = Total x dari masing – masing kelompok.

- *Within Treatments Variability (SSw)* – Variabilitas dalam kelompok.

Variansi yang ada dalam masing- masing kelompok. Banyaknya variansi akan tergantung pada banyaknya kelompok. Cara menghitung SSw sebagai berikut :

$$SSw = SS_t - SS$$

2. Derajat Kebebasan atau *Degree of Freedom*

Derajat kebebasan atau *degree of freedom* (dilambangkan dengan V) dalam ANOVA akan sebanyak variabilitas.

- Derajat kebebasan untuk SS_t dapat dihitung dengan rumus :

$$VSS_t = n - 1$$

Dengan : n = jumlah sampel keseluruhan.

- Derajat kebebasan untuk SSb , dapat dihitung dengan rumus :

$$VSSb = k - 1$$

• Derajat kebebasan untuk SSw , dapat dihitung dengan rumus :

$$VS = \sum (n-1), \text{ atau } \\ = N - k$$

Dengan :

k = banyaknya kelompok.

n = jumlah sampel masing – masing kelompok.

N = jumlah sampel keseluruhan.

3. Rata – rata kuadrat atau Mean Square

Variance dalam ANOVA, baik untuk antar kelompok maupun dalam kelompok sering disebut dengan deviasi rata – rata kuadrat (mean squared deviation) dan dilambangkan dengan MS . Dengan demikian, maka *mean squared deviation* masing – masing dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$MSb = \frac{SSb}{VSSb}$$

$$MSw = \frac{SSw}{VSSw}$$

4. Distribusi

F_{tabel} dihitung dengan melihat nilai α , F_{hitung} didapatkan dengan rumus dibawah ini :

$$F_{hitung} = \frac{MSb}{MSw}$$

2.8 Penentuan Variabel

a. Variabel Faktor (Variabel Bebas)

Variabel faktor merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Terdapat banyak variabel proses yang dapat ditentukan dalam proses permesinan CNC *Milling*. Akan tetapi dalam penelitian ini dipilih tiga faktor kendali yang diduga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Faktor – faktor tersebut adalah (kecepatan pemakanan, kecepatan putaran spindle, dan kedalaman pemakanan).

b. Variabel Respon (Variabel Tak Bebas)

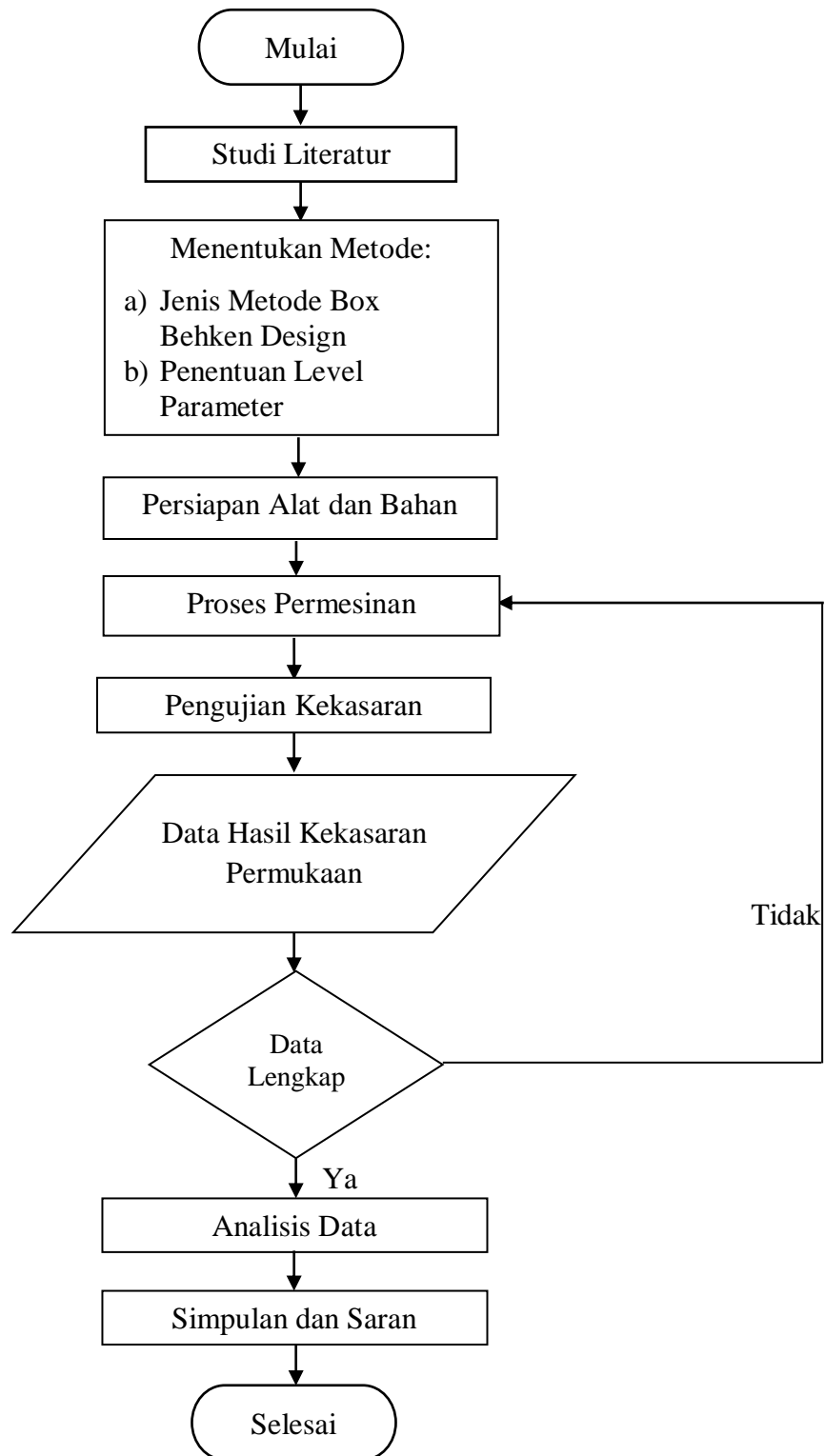
Variabel respon merupakan hasil yang diamati dan diukur oleh peneliti dalam sebuah penelitian, untuk menentukan ada tidaknya pengaruh dari variabel bebas. Dalam hal ini variabel respon yang dipilih adalah nilai kekasaran permukaan pada baja karbon AISI 1045.

2.9 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin rendah kecepatan pemakanan, maka semakin rendah pula kekasaran permukaan benda kerja. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka akan membuat beban pada saat melakukan penyayatan, sehingga pahat akan bergetar lebih tinggi dan menyebabkan kekasaran permukaan menjadi tinggi. Dalam proses permesinan, kedalaman pemakanan yang rendah membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin kecil. Semakin besar kedalaman pemakanan maka semakin besar usaha pahat untuk memotong benda kerja sehingga kekasaran permukaan yang terjadi semakin tinggi.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti berupa penelitian terdahulu, buku, jurnal, dan dari internet yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh materi teori dan konsep yang dapat dijadikan landasan atau kerangka berpikir dalam menjelaskan permasalahan.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanik dan Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Waktu merupakan jadwal yang telah ditetapkan untuk pelaksanaan Tugas Akhir.

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

3.4.1 Mesin CNC *Milling*

Mesin CNC *Milling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah CNC *Milling* MORI SEIKI MV-40M.

Tabel 3.4.1 Spesifikasi Mesin CNC *Milling* MORI SEIKI MV-40M

	Machine model	MV-40M
Travel	X-axis mm (in.) (Longitudinal movement of table)	560 (22.05)
	Y-axis (cross movement of saddle) mm (in.)	410 (16.14)
	Z-axis mm (in.) (vertical movement of spindle head)	460 (18.11)
Table	Working surface mm (in.)	900 x 450 (35.43 x 17.72)
	Table surface configuration mm (in.)	18 (0.71), 4 T-slots
	Table loading capacity kg (lb.)	300 (660)
	Distance from table surface to spindle gage plane mm (in.)	150-610 (5.91-24.02)
	Distance from column front surface to spindle center mm (in.)	680 (26.77)
Spindle	Maximum spindle speed mm ¹	8000 (10000, 12000)

	Type of spindle taper hole		7/24 taper, No. 40
	Spindle bearing inner diameter	mm (in.)	65 (2.56)
	Rapid traverse rate (ipm)	mm/min	X, Y: 20000 (787,40) Z: 12000 (472,44)
Feedrate	Feedrate mm/min (ipm)		X, Y, Z: 1-5000 (0.01-196.85)
	Jog feedrate	mm/min (ipm)	0-1260 (0-50) 15 steps



Gambar 3.4.1 CNC Milling MORI SEIKI MV-40M

3.4.2 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210

Alat uji kekasaran atau *surface roughness tester* digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan dari suatu proses pemesinan. Alat uji kekasaran yang digunakan adalah *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210 ditunjukkan pada Gambar 3.4.2 sebagai berikut :



Gambar 3.4.2 Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-210

Spesifikasi *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210 dapat dilihat pada Tabel 3.4.2 dibawah ini :

Tabel 3.4.2 *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-210

Drive unit	
Speed	Measuring : 0.25 mm/s, 0.5 mm/s (0.1"/s, 0.2"/s) Returning : 0.8 mm/s (0.3"/s)
Measuring range (x-axis)	12.5 mm
Mass	190 g
Standar pole	Code No. 178-395
Measuring range	350 μm (-200 μm to + 150 μm)
Stylus	Diamond cone
Skid radius	40 mm
Roughness parameters	Ra, Ry, Rz, Rq, S, Sm, Pc, R3z, Mr, Rt, Rk, Rpk, Mrl, Mr2, A1, A2, vo (use-difined)
Roughness standart	JIS, DIN, ISO, ANSI

3.5 Material Penelitian

3.5.1 Pahat

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat *Insert Carbide End Mill*.



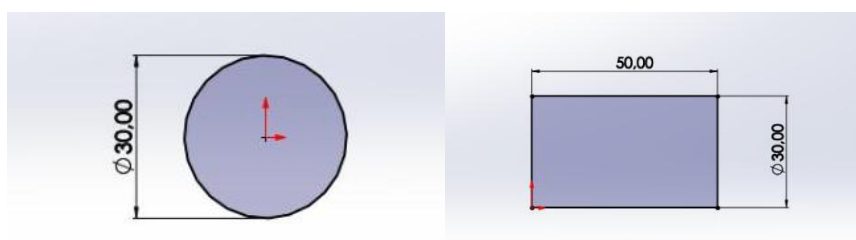
Gambar 3.5.1 *Insert Carbide End Mill*

Tabel 3.5.1 Spesifikasi Pahat

Bahan	Cutter HSS		Cutter Carbide	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75 – 100	25 – 45	185 – 230	110 – 140
Baja karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 – 215	90 – 120
Baja karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 – 185	75 – 110
Besi cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
Kuningan	85 – 100	45 – 70	185 – 215	120 – 150
Alumunium	70 – 110	30 – 451	140– 215	60– 90

3.5.2 Material

Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bahan baja karbon menengah yaitu baja AISI 1045. Pemilihan baja AISI 1045 karena baja ini banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan komponen – komponen permesinan. Spesimen baja AISI 1045 yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan ukuran panjang 50mm dengan diameter 30 mm.



Gambar 3.5.2 Ukuran Benda Kerja

3.6 Variabel Faktor

Terdapat beberapa variabel proses atau faktor yang berpengaruh pada proses CNC *milling*. Dalam hal ini terdapat tiga variabel faktor yaitu, *feed rate*, kedalaman pemakanan, dan putaran spindle.

Tabel 3.6 Variabel Faktor

Level	Kedalaman Pemakanan (mm) (A)	<i>Feed Rate</i> (mm/menit) (B)	Putaran <i>Spindle</i> (RPM) (C)
1	0.18	60	700
2	0.22	90	800
3	0.26	120	900

3.7 Pengambilan Data Kekasaran Permukaan

Nilai kekasaran permukaan benda kerja diukur dengan menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ 210 yang telah dilakukan proses permesinan CNC Milling MORI SEIKI MV-40M pada tiap variasi parameter *feed rate*, kedalaman pemakanan, dan putaran spindle yang telah ditetapkan. Pengambilan data nilai kekasaran permukaan benda kerja dilakukan secara vertikal dengan pengambilan data sebanyak 3 kali pada benda kerja

Benda Kerja yang dihasilkan dari mesin CNC Milling permukaannya tidak dapat rata atau halus sama sekali, tetapi akan meninggalkan bekas berupa lembah dan puncak yang disebut kekasaran permukaan. Kekasaran rata – rata secara aritmatik (R_a) dihitung berdasarkan nilai rata – rata dari nilai absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

3.8 Analisis Data

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode permukaan respon (*Response surface methodology*). Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data adalah sebagai berikut :

1) Rancangan *Box – Behken*

Metode rancangan percobaan dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box – Behken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga mempersingkat waktu eksperimen.

Tabel 3.8 Rancangan Percobaan Dengan *Box-Behken Design*

No	Kedalaman Pemakanan (mm)	Feed Rate (mm/menit)	Putaran Spindle (RPM)
1	0.18	60	800
2	0.26	60	800
3	0.18	120	800
4	0.26	120	800
5	0.18	90	700
6	0.26	90	700
7	0.18	90	900
8	0.26	90	900
9	0.22	60	700
10	0.22	120	700
11	0.22	60	900
12	0.22	120	900
13	0.22	90	800
14	0.22	90	800
15	0.22	90	800

2) Pembentukan Model

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel proses dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

Jika $k = 3$ penduga untuk model orde kedua menjadi (Pratama, 2017)

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien, langkah pertama yang dilakukan adalah mengolah data eksperimen menggunakan software komputer sehingga didapatkan

nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien tersebut dimasukkan kedalam persamaan tersebut di atas.

3) Pengujian Model

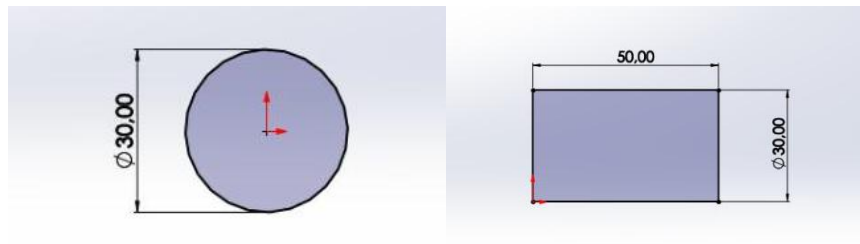
Pengujian dilakukan dengan kesesuaian model, pengujian kesesuaian model tersebut antara lain *Uji Lack of Fit*, uji parameter serentak, dan uji koefisien determinasi (R^2). Setelah dilakukan pengujian kesesuaian model dilakukan pengujian residual untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi *Normally and Independently Distributed* atau IIDN ($0, \sigma^2$). Pengujian yang dilakukan terhadap residual antara lain uji identik, uji independen, dan uji distribusi normal.

4) Menentukan kondisi optimum dari model orde kedua yang sesuai.

Penentuan kondisi optimum dilakukan pendekatan fungsi *desirability* yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi respon. Metode ini mempunyai empat cara untuk menyelesaikan optimasi respon dan masing – masing cara hanya cocok untuk kasus tertentu yaitu *The Large is Better*, *The Smaller is Better*, *Nominal The Best*, dan *Constrain*. Metode optimasi yang cocok untuk permasalahan ini adalah metode *The Smaller is Better* untuk kekasaran permukaan karena pada metode *The Smaller is Better* nilai minimum dari respon adalah hasil yang paling diinginkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengambilan Data



Gambar 4.1 Ukuran Benda Kerja

1. Penentuan Desain Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap perencanaan sebelum dilakukan percobaan dengan tujuan agar percobaan yang dilakukan akan mencapai sasaran yang tepat sesuai tujuan yang diinginkan. Tahap ini meliputi :

- Identifikasi faktor – faktor yang berpengaruh pada proses.
- Penentuan variabel faktor pada proses.
- Penetapan level – level faktor.
- Perencanaan eksperimen.

2. Pelaksanaan Percobaan

- Mempersiapkan peralatan, benda kerja, dan mesin CNC *Milling*.
- Mempersiapkan benda kerja sesuai ukuran.
- Persiapkan *tool* yang akan dipakai
- Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan dikerjakan dengan ketentuan yang sudah divariasikan.
- Pasang pisau frais pada rumah pahat pada mesin CNC *Milling*.
- Pasang benda kerja pada ragum mesin CNC *Milling* dan kemudian kencangkan ragum.
- Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC *Milling*.
- Hidupkan mesin CNC *Milling* dan lakukan *setting point*.

- Proses pemotongan benda kerja sesuai dengan nilai parameter proses pada program, untuk penyayatan benda kerja sesuai dengan kombinasi dari masing – masing percobaan.
- Melepaskan benda kerja dari alat pencekam dan mengeringkan benda kerja setelah proses pemotongan selesai, lalu oleskan oli pada benda kerja untuk menghindari karatan.
- Matikan dan bersihkan mesin CNC *Milling* serta bersihkan peralatan yang digunakan dalam penelitian.
- Selanjutnya mengukur kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan alat ukur kekasaran yaitu *surface roughness tester*.

3. Proses Pengukuran Kekasaran Benda Kerja

Data kekasaran permukaan benda kerja diperoleh dari pengukuran pada permukaan benda kerja secara langsung. Adapun langkah – langkah dari pengukuran kekasaran permukaan adalah sebagai berikut :

- Lakukan pengukuran kekasaran permukaan di meja rata.
- Menyiapkan peralatan pendukung lainnya yang digunakan dalam proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 a. *V-Block*



Gambar 4.1 b. *Holder dial*

Tabel 4.1 Alat Pendukung Dalam Pengukuran Kekasaran Dan Kegunaannya

Gambar	Nama Alat	Kegunaan
4.1 a	<i>V-Block</i>	Sebagai tempat duduk benda kerja

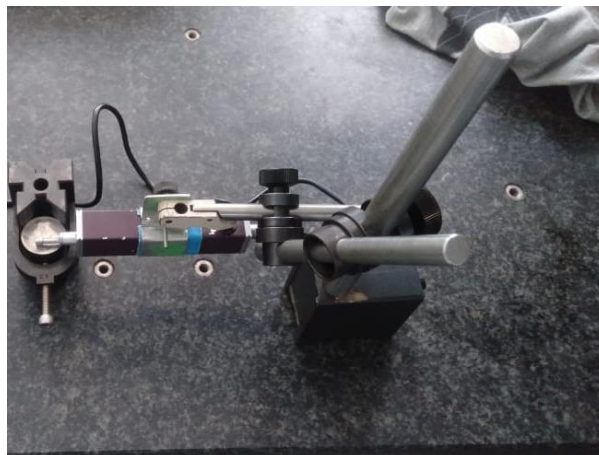
		saat proses pengukuran
4.1 b	<i>Holder dial</i>	Sebagai tempat dudukan untuk meletakkan alat ukur kekasaran.

- Sebelum melakukan pengukuran kekasaran, lakukan kalibrasi alat ukur terlebih dahulu agar hasil pengukuran kekasaran permukaan yang dilakukan dapat semaksimal mungkin, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1.1 Kalibrasi Alat Ukur Kekasaran

- Letakkan benda kerja hasil proses pemesian bubut CNC MORI SEIKI MV-40M pada *V-Block* dan letakkan alat ukur kekasaran *Surface roughness tester* pada *Holder dial*, kemudian atur ketinggian alat ukur dengan benda kerja dapat ditunjukkan pada gambar 3.8.2. sebagai berikut :



Gambar 4.1.2 *Setting* Ketinggian Benda Kerja Dan Alat Ukur Kekasaran.

- *Setting* dengan hati – hati ujung sensor dari *Surface roughness tester* pada permukaan benda kerja hasil proses *CNC Milling MORI SEIKI MV-40M*
- Aktifkan *Surface roughness tester* untuk melakukan proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja.
- Nilai kekasaran permukaan dapat dilihat pada layar *Display Surface roughness tester*. Lalu catat hasil pengukuran kekasaran permukaan pada tabel yang telah disediakan.
- Kemudian lakukan pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen benda kerja yang lain.
- Skema proses pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.3 sebagai berikut :



Gambar 4.1.3 Skema Proses Pengukuran Kekasaran Benda Kerja.

4.2 Pengambilan Data Hasil Kekasaran

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengkombinasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada mesin *CNC MORI SEIKI MV-40M*. Adapun parameter-parameter proses yang diduga berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan adalah *feed rate* (A) dengan level nilai 60 mm/menit, 90 mm/menit dan 120 mm/menit, kedalaman pemakanan (B) dengan level nilai 0,18 mm, 0,22 mm dan 0,26 mm dan putaran spindel (C) dengan level nilai 700 RPM, 800 RPM dan 900 RPM. Pengolahan data yang dilakukan dengan cara perhitungan eksperimen metode *respon surface* dengan menggunakan

software analisis. Berikut data hasil percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

4.2.1 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 1

Tabel 4.2.1 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 1

No	Kedalaman Pemakanan (mm)	<i>Feed Rate</i> (mm/menit)	Putaran <i>Spindle</i> (RPM)	Nilai Kekasaran 1 (μm)
1	0.18	60	800	1.154
2	0.26	60	800	1.514
3	0.18	120	800	1.950
4	0.26	120	800	1.739
5	0.18	90	700	2.119
6	0.26	90	700	1.992
7	0.18	90	900	1.195
8	0.26	90	900	1.717
9	0.22	60	700	1.449
10	0.22	120	700	2.085
11	0.22	60	900	2.145
12	0.22	120	900	1.532
13	0.22	90	800	1.564
14	0.22	90	800	1.851
15	0.22	90	800	1.675

4.2.2 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 2

Tabel 4.2.2 Pengambilan Data Hasil Kekasaran Replikasi 2

No	Kedalaman Pemakanan (mm)	<i>Feed Rate</i> (mm/menit)	Putaran <i>Spindle</i> (RPM)	Nilai Kekasaran 2 (μm)
1	0.18	60	800	1.184
2	0.26	60	800	1.640
3	0.18	120	800	1.935

4	0.26	120	800	1.752
5	0.18	90	700	2.116
6	0.26	90	700	2.024
7	0.18	90	900	1.225
8	0.26	90	900	1.691
9	0.22	60	700	1.449
10	0.22	60	700	2.090
11	0.22	60	900	2.147
12	0.22	120	900	1.520
13	0.22	90	800	1.539
14	0.22	90	800	1.853
15	0.22	90	800	1.674

4.2.3 Nilai Kekasaran Keseluruhan

Tabel 4.2.3 Nilai Kekasaran Keseluruhan

Replikasi 1 (μm)	Replikasi 2 (μm)	Nilai Kekasaran Keseluruhan (μm)
1.154	1.184	1.169
1.514	1.640	1.577
1.950	1.935	1.943
1.739	1.752	1.746
2.119	2.116	2.118
1.992	2.024	2.008
1.195	1.225	1.210
1.717	1.691	1.704
1.449	1.449	1.449
2.085	2.090	2.088
2.145	2.147	2.146
1.532	1.520	1.526

1.564	1.539	1.552
1.851	1.853	1.852
1.675	1.674	1.675

4.3 Proses Software Analisis

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Entry Direction	Jer	RunOrder	PtType	Blocks	Kedalaman Pemakanan	Feed Rate	Putaran Spindel	Respon
1	1	1	2	1	0,18	60	800	1,169
2	2	2	2	1	0,26	60	800	1,577
3	3	3	2	1	0,18	120	800	1,943
4	4	4	2	1	0,26	120	800	1,746
5	5	5	2	1	0,18	90	700	2,118
6	6	6	2	1	0,26	90	700	2,008
7	7	7	2	1	0,18	90	900	1,210
8	8	8	2	1	0,26	90	900	1,704
9	9	9	2	1	0,22	60	700	1,449
10	10	10	2	1	0,22	120	700	2,088
11	11	11	2	1	0,22	60	900	2,146
12	12	12	2	1	0,22	120	900	1,526
13	13	13	0	1	0,22	90	800	1,552
14	14	14	0	1	0,22	90	800	1,852
15	15	15	0	1	0,22	90	800	1,675
16								

Gambar 4.3. Proses Nilai Kekasaran Menggunakan Software Analisis

Dari data diatas didapatkan hasil menggunakan metode *respon surface* dan tabel Anova. Berikut ini adalah hasil dari gambar 4.3

Response Surface Regression: Respon versus Kedalaman Pe; Feed Rate; ...

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Respon

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,8283	12,8885	0,375	0,723
Kedalaman Pemakanan	0,3969	49,4673	0,008	0,994
Feed Rate	0,1199	0,0533	2,248	0,074
Putaran Spindel	-0,0210	0,0246	-0,854	0,432
Kedalaman Pemakanan* Kedalaman Pemakanan	-39,5312	89,9920	-0,439	0,679
Feed Rate*Feed Rate	-0,0000	0,0002	-0,146	0,890
Putaran Spindel*Putaran Spindel	0,0000	0,0000	0,905	0,407
Kedalaman Pemakanan*Feed Rate	-0,1260	0,1153	-1,093	0,324
Kedalaman Pemakanan*Putaran Spindel	0,0378	0,0346	1,092	0,325
Feed Rate*Putaran Spindel	-0,0001	0,0000	-2,275	0,072

S = 0,276677 PRESS = 5,49857

R-Sq = 71,68% R-Sq(pred) = 0,00% R-Sq(adj) = 20,72%

Analysis of Variance for Respon

Source	DF	Seq SS	Adj SS
Regression	9	0,96897	0,968967
Linear	3	0,30492	0,500505
Kedalaman Pemakanan	1	0,04425	0,000005
Feed Rate	1	0,11568	0,386755
Putaran Spindel	1	0,14499	0,055891
Square	3	0,08506	0,085062
Kedalaman Pemakanan*Kedalaman Pemakanan	1	0,01885	0,014771
Feed Rate*Feed Rate	1	0,00357	0,001628
Putaran Spindel*Putaran Spindel	1	0,06264	0,062640
Interaction	3	0,57898	0,578981
Kedalaman Pemakanan*Feed Rate	1	0,09151	0,091506
Kedalaman Pemakanan*Putaran Spindel	1	0,09120	0,091204
Feed Rate*Putaran Spindel	1	0,39627	0,396270
Residual Error	5	0,38275	0,382750
Lack-of-Fit	3	0,33726	0,337264
Pure Error	2	0,04549	0,045486
Total	14	1,35172	

Source	ADJ MS	F	P
Regression	0,107663	1,41	0,370
Linear	0,166835	2,18	0,209
Kedalaman Pemakanan	0,000005	0,00	0,994
Feed Rate	0,386755	5,05	0,074
Putaran Spindel	0,055891	0,73	0,432
Square	0,028354	0,37	0,778
Kedalaman Pemakanan*Kedalaman Pemakanan	0,014771	0,19	0,679
Feed Rate*Feed Rate	0,001628	0,02	0,890
Putaran Spindel*Putaran Spindel	0,062640	0,82	0,407
Interaction	0,192994	2,52	0,172
Kedalaman Pemakanan*Feed Rate	0,091506	1,20	0,324
Kedalaman Pemakanan*Putaran Spindel	0,091204	1,19	0,325
Feed Rate*Putaran Spindel	0,396270	5,18	0,072
Residual Error	0,076550		
Lack-of-Fit	0,112421	4,94	0,173
Pure Error	0,022743		
Total			

Estimated Regression Coefficients for Respon using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	4,82825
Kedalaman Pemakanan	0,396875
Feed Rate	0,119871
Putaran Spindel	-0,0210488
Kedalaman Pemakanan*	-39,5312
Kedalaman Pemakanan	
Feed Rate*Feed Rate	-2,33333E-05
Putaran Spindel*Putaran Spindel	1,30250E-05
Kedalaman Pemakanan*Feed Rate	-0,126042
Kedalaman Pemakanan*Putaran Spindel	0,0377500
Feed Rate*Putaran Spindel	-1,04917E-04

(Sumber Software Analisis)

4.4 Metode Anova

➤ Hipotesis :

H_0 : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari ketiga variabel faktor

H_1 : Terdapat pengaruh yang signifikan dari ketiga variabel faktor

➤ Kriteria Uji :

Tolak H_0 : jika $F_{hitung} > F_{tabel}$

Terima H_1 : jika $F_{hitung} < F_{tabel}$

➤ $\alpha = 0.05$ (5%)

➤ Statistik Uji :

F_{hitung} : 1.141 (dari hasil software minitab diatas)

F_{tabel} : 3.74 (dari Tabel distribusi F α 0.05)

➤ Analisa :

Karena F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} , maka dapat disimpulkan bahwa cukupnya bukti untuk menerima H_0 , yang artinya tidak ada pengaruh yang signifikan dari ketiga variabel faktor.

4.5 Uji Lack Of Fit

➤ Tabel Estimated Regression Coefficients for Respon menunjukkan hasil taksiran parameter model pada gambar 4.3. Selain taksiran parameter model, tabel menunjukkan pula hasil Hipotesis :

H_0 : tidak ada lack of fit

H_1 : ada lack of fit

➤ Daerah penolakan :

Hipotesis awal (H_0) akan ditolak bila p – value kurang dari α . Sebaliknya, hipotesis awal akan gagal ditolak apabila p-value melebihi α .

➤ $\alpha = 0.05$ (5%)

➤ Interpretasi Hasil Uji Lack of Fit pada Analisis Response Surface

Pada hasil gambar 4.3, tabel ANOVA menunjukkan p-value hasil uji lack of fit bernilai 0.173. Apabila menggunakan α sebesar 5 % , maka keputusannya

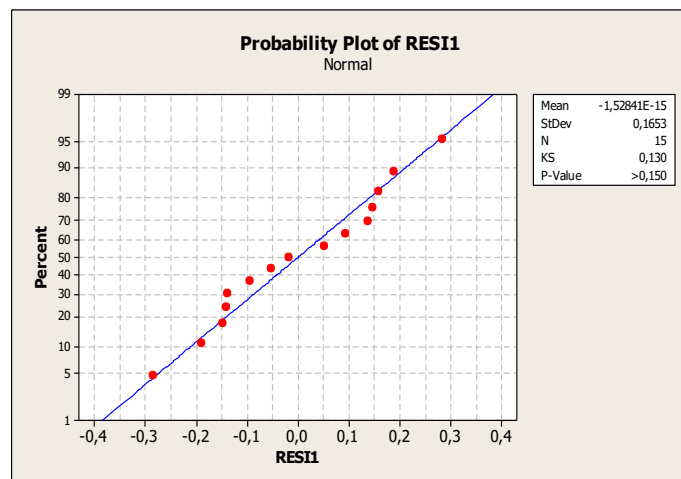
dapat berupa gagal menolak hipotesis awal yang mengatakan tidak ada lack of fit. Artinya, model yang telah dibuat sesuai dengan data.

uji parameter model dengan menggunakan statistik t yang dikonversikan ke dalam p-value. Berdasarkan hasil analisis, modelnya adalah:

$$Y = 4.82825 + 0.396875 + 0.119871 - 0.0210488 - 39.5312 - 2.33333 + 1.30250 - 0.126042 + 0.0377500 - 1.04917$$

Untuk memeriksa kecukupan model, kita tidak hanya melihat lack of fit, tetapi harus pula melakukan analisis residual. Ada 3 hal yang dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respons, dan membuat plot antara residual dengan order.

4.6 Uji Kenormalan Residual



Gambar 4.6 Plot Distribusi Normal Residual Model Regresi Linear Sederhana. (Sumber Software Analisis)

➤ Hipotesis

H_0 : Residual berdistribusi normal.

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal.

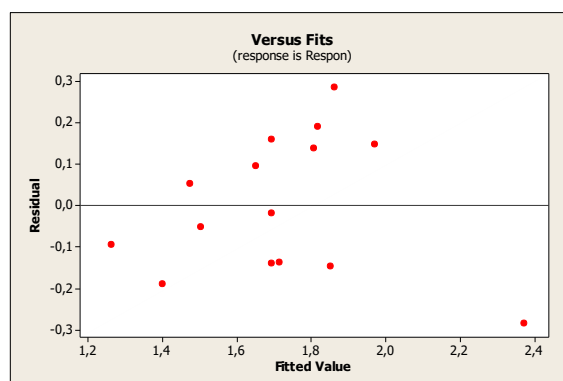
➤ Daerah Penolakan

Daerah penolakan $KS > KS_{1-\alpha}$ pada sejumlah pengamatan (n) tertentu. Apabila statistik Kolmogorov – Smirnov dikonversikan ke dalam p-value, maka daerah penolakannya adalah $p - value < \alpha$.

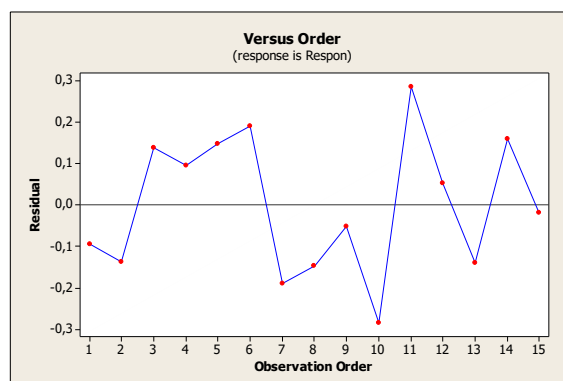
➤ Analisa

Pada uji Kolmogorov-Smirnov, kita akan menggunakan α sebesar 0.05. dari sini, kita dapat mengetahui nilai statistik Kolmogorov-Smirnov pada tabel kuantil uji statistik Kolmogorov-Smirnov. Berdasarkan tabel kuantil uji statistik Kolmogorov-Smirnov untuk $\alpha = 0.05$ dan jumlah pengamatan sebanyak 15 pengamatan adalah 0.338 (uji 2 arah). Nilai ini akan dijadikan patokan untuk mengambil kesimpulan berdasarkan uji kenormalan data yang telah dilakukan.

Pada gambar 4.6 menunjukkan pula hasil statistik Kolmogorov-Smirnov dan p-value untuk uji distribusi normal. Nilai statistik Kolmogorov-Smirnov adalah 0.130 dan p-value uji normal residual grafik melebihi 15%. Oleh karena itu, kesimpulan hasil uji kenormalan residual adalah residual model regresi linear yang dibuat telah mengikuti distribusi normal. Jadi, asumsi kenormalan residual suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi linear sehingga model regresi yang telah dibuat bisa digunakan.



Gambar 4.6.1 Plot Residual Dengan Taksiran Model. (Sumber Software Analisis)

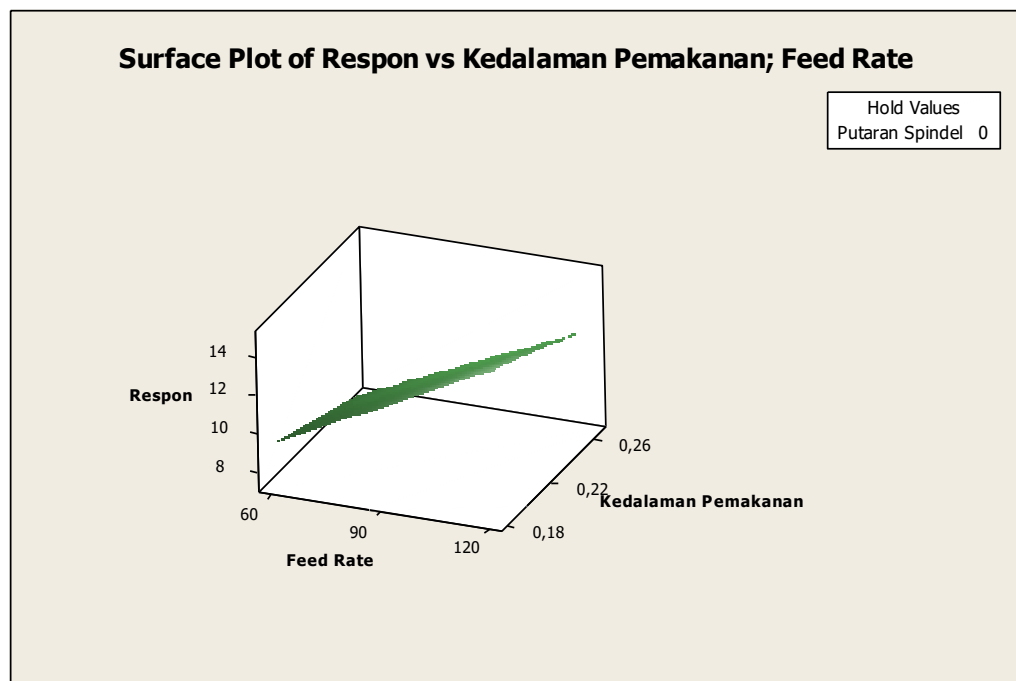


Gambar 4.6.2 Plot Residual Dengan Order Model. (Sumber Software Analisis)

Analisis residual selanjutnya adalah memeriksa plot antara residual taksiran model dan order model. Analisis data yang telah dilakukan telah membuat kedua plot. Hasil plot ditunjukkan dalam grafik seperti gambar 4.6.1. dan gambar 4.6.2. pada kedua output, kita telah mengetahui bahwa titik – titik telah membentuk pola acak. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model regresi yang telah dibuat cukup tepat dengan data.

4.7 Grafik Surface Plot

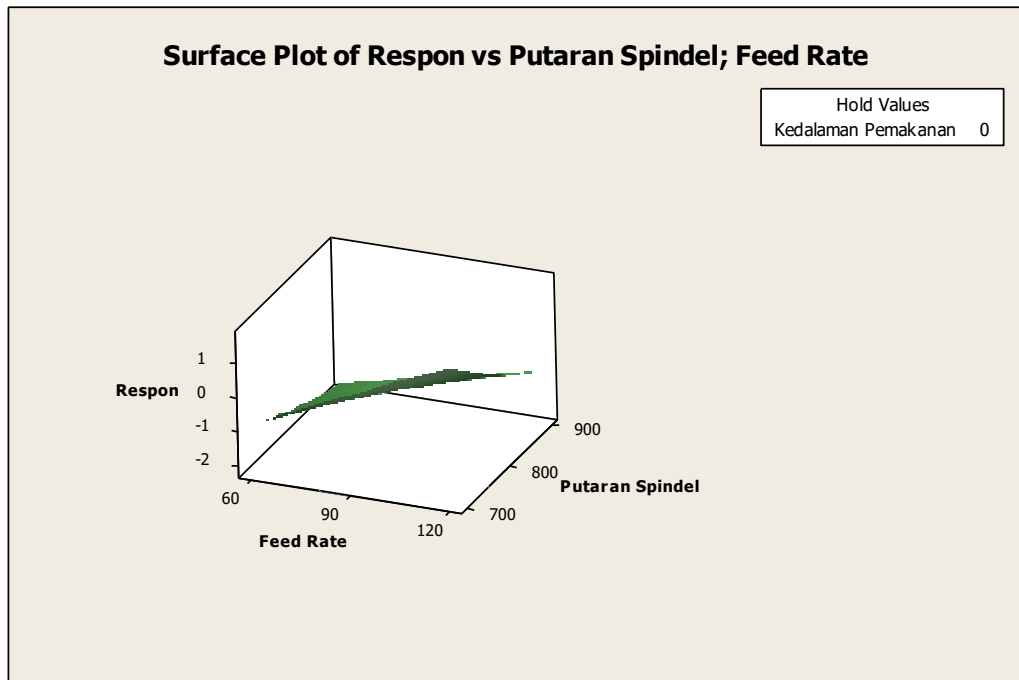
4.7.1 Kedalaman Pemakanan Dan *Feed Rate*



Gambar 4.7.1 Grafik Surface Plot Of Respon Vs Kedalaman Pemakanan Dan *Feed Rate* (Sumber Software Analisis)

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa semakin tinggi *feed rate* maka nilai kekasaran yang didapatkan semakin baik. Sedangkan untuk kedalaman pemakanannya tidak ada pengaruh yang signifikan pada grafik ini.

4.7.2 Putaran Spindel Dan *Feed Rate*

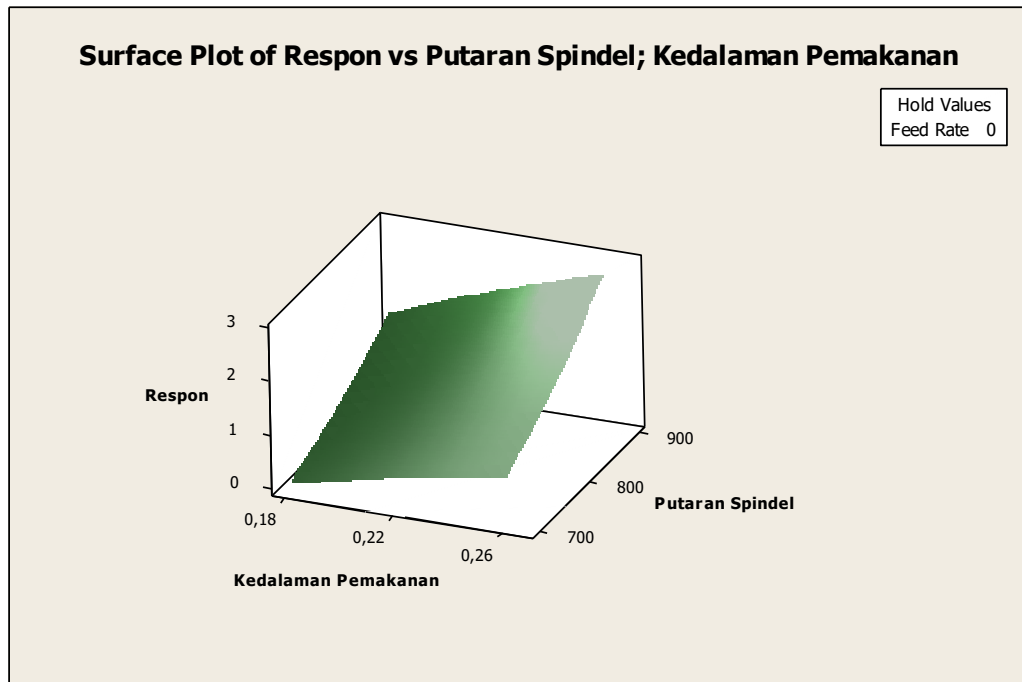


Gambar 4.7.2. Grafik Surface Plot Of Respon Vs Putaran Spindel Dan *Feed Rate*

(Sumber Software Analisis)

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa Semakin tinggi *feed rate* maka semakin baik nilai respon kekasaran permukaannya, sedangkan untuk putaran spindel semakin tinggi RPM nya maka nilai respon permukaannya kurang baik. Nilai respon yang baik terjadi pada saat putaran spindel diantara 700 – 800.

4.7.3 Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemakanan



Gambar 4.7.3. Grafik Surface Plot Of Respon Vs Putaran Spindel Dan Kedalaman Pemakanan (Sumber Software Analisis)

Dari grafik diatas dapat kita simpulkan bahwa semakin rendah tingkat kedalaman pemakanannya maka nilai respon yang dihasilkan semakin baik, sedangkan untuk putaran spindel semakin tinggi tingkat putaran spindelnya maka nilai respon yang dihasilkan juga menjadi kurang baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan oleh peneliti pada bab sebelumnya mengenai judul Analisis Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses CNC *Milling* Baja AISI 1045 Menggunakan Metode Respon Surface, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis yang telah dilakukan terhadap nilai kekasaran permukaan dari ketiga variabel faktor yaitu *feed rate*, kedalaman pemakanan, dan putaran spindle. Untuk *feed rate* memberikan kontribusi paling berpengaruh dari ketiga variabel faktor. Sedangkan untuk kedalaman pemakanan dan putaran spindle tidak sebaik *feed rate* dalam memberikan pengaruh terhadap respon yang dihasilkan.
2. Pengaturan setting parameter pada proses permesinan CNC *Milling* untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang paling rendah pada material baja AISI 1045 dapat diperoleh dengan variasi parameter kedalaman pemakanan 0.18 mm (faktor A level 1), *feed rate* 60 mm/menit (faktor B level 1 dan putaran spindle 800 RPM (faktor C level 2) dengan nilai kekasaran yang dihasilkan 1.169 μm .

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, dapat dikemukakan beberapa saran – saran yang akan diberikan sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lagi dengan cara menambahkan variabel bebas seperti variasi media pendingin dan material alat potong. Dan dapat ditambahkan lagi variabel terikat yang nantinya akan diteliti seperti Laju pembuangan material (MRR).
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang lain selain metode RSM sebagai perbandingan penelitian terhadap respon yang dihasilkan, seperti metode Taguchi, Desain faktorial dan metode – metode baru.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fitria, N. (2015). *Optimalisasi Parameter Regresi Response Surface Methodology Dalam Laba Usaha Pedagang Buah dan Aplikasinya Menggunakan Matlab*. Semarang.
2. Gupta. (2011). Aplikasi Metode Taguchi Pada Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Keausan Pahat HSS Pada Proses bubut Material St 37.
3. Kurniawan, Z. (2013). Optimasi Laju Pengerjaan Material Dan Kekasaran Permukaan Proses EDM Sinking Baja AISI 4140 Dengan Menggunakan Metode Taguchi-Fuzzy.
4. Mardiansyah, A. (2014). *ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA DENGAN VARIASI JENIS MATERIAL DAN PAHAT POTONG*. Bengkulu.
5. Pratama, M. Y. (2017). *Analisis Parameter Pemotongan Dan Debit Pendingin CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Box Behnken Design*. Jember.
6. Purwanti, E. P., & Pilarian, F. (2013). Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel SUS 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface.. Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA UNY Yogyakarta ISBN : 978.
7. Raul, Widiyanti, & Poppy. (2016). "Pengaruh Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Pada Mesin Bubut Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja St 41". Teknik Mesin.
8. Santoso, K., & Suhadirman. (2019). " Analisa Pengaruh Heat Treatment Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja". Seminar Nasional Industri dan Teknologi, Politeknik Negeri Bengkalis , 160.