

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN  
KECEPATAN MAKAN TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS TEPI BAJA ST 37**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata Satu  
pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas IBA**

**Disusun Oleh:**

**Ammar Wahyu Agung Saputra  
21320004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
PALEMBANG  
2025**

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ammar Wahyu Agung Saputra

Npm : 21320004

Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN  
KECEPATAN MAKAN TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS TEPI BAJA ST 37

Dengan ini menyatakan bahwa hasil ppenulisan skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila dikemudian hari ternyata penulis Skripsi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib Universitas IBA Palembang .

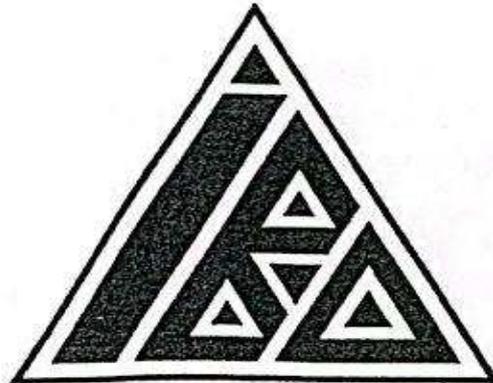
Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari siapapun dan oleh siapapun.

Palembang, Juli 2025



Ammar wahyu Agung Saputra

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN  
KECEPATAN MAKAN TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS TEPI BAJA ST 37**



**SKRIPSI**

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Ujian Sarjana Strata Satu pada  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA**

**Mengetahui:**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ir. Harliyanto Haruno, M.T.**  
**NIK. 03 24 514**

**Ketua Program Studi  
Teknik Mesin**

A handwritten signature in black ink, written over a purple stamp. The stamp is a smaller version of the Universitas IBA logo, with the text 'FAKULTAS TEKNIK' and 'UNIVERSITAS IBA' printed below it.

**Reny Afriany, S.T., M.Eng.**  
**NIK. 02 05 171**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN      AGENDA NO      : .....

FAKULTAS TEKNIK                      DITERIMA TGL      : .....

UNIVERSITAS IBA PALEMBANG      PARAF                      : .....

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN  
KECEPATAN MAKAN TERHADAP KEKASARAN  
PERMUKAAN PADA PROSES FRAIS TEPI BAJA ST 37**

NAMA MAHASISWA                      : Ammar Wahyu Agung Saputra  
NPM    : 21320004  
SPESIFIKASI                                : A. Kecepatan Spindel  
    B. Kecepatan Makan  
    C. Kekasaran Permukaan  
    D. Proses Frais  
    E. Baja ST 37

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
Reny Afriany, S.T., M.Eng.  
NIK. 02 05 171

  
Dr. Arie Yudha Budiman, S.T., M.T  
NIK. 03 24 508

Menyetujui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin

  
Reny Afriany, S.T., M.Eng.  
NIK. 02 05 171

## PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini dengan judul : Analisa Pengaruh Kecepatan Spindel Dan Kecepatan Makan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Frais Tepi ST 37

Penyusun : Ammar Wahyu Agung Saputra

NPM : 21320004

Program Stud : Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana (ujian komprehensif) dan diterima sebagai bagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA.

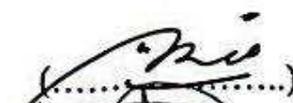
### TIM PENGUJI

Ketua: Reny Afriany, S.T., M.Eng

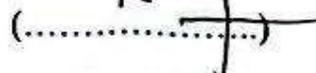
(.....)

Anggota:

1. Dr. Arie Yudha Budiman, S.T. M.T

(.....)

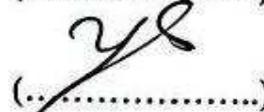
2. Ir. Asmadi, M.T

(.....)

3. Ir. Ratih Diah Andayani, M.T

(.....)

4. Yeny Pusvyta, S.T., M.T

(.....)

Ditetapkan di: Palembang

Tanggal 12 Juli 2025

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh Kecepatan spindel dan kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan pada proses frais tepi dengan material baja ST 37. Permukaan yang halus merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kualitas hasil pemesinan karena berpengaruh langsung terhadap ketahanan aus, gesekan, dan performa komponen mesin. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi Kecepatan spindel (360 rpm, 580 rpm dan 875 rpm) serta kecepatan makan (40 mm/menit, 185 mm/menit, dan 285 mm/menit), sementara variabel terikatnya adalah kekasaran permukaan ( $R_a$ ). Proses pemesinan dilakukan menggunakan mesin frais vertikal dengan pahat *endmill* HSS berdiameter 10 mm. Pengukuran kekasaran dilakukan menggunakan alat *Surface Roughness Tester* tipe SJ-310. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan Putaran spindel cenderung menurunkan nilai kekasaran permukaan, yang mengindikasikan kualitas permukaan lebih halus. Sebaliknya, Kecepatan Makan yang tinggi menyebabkan kekasaran meningkat. Kombinasi Putaran spindel tertinggi (875 rpm) dengan Kecepatan makan terendah (40 mm/menit) memberikan hasil permukaan paling halus. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan parameter pemesinan yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir permukaan hasil frais.

**Kata Kunci:** Kecepatan Spindel, Kecepatan makan, Kekasaran Permukaan, Proses Frais, Baja ST 37.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisa Pengaruh Kecepatan Spindel dan Kecepatan Makan terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Frais Tepi Baja ST 37” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas IBA Palembang.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang, yang telah memberikan dukungan moral dan fasilitas selama penulis menempuh pendidikan.
2. Ibu Reny Afriany, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Arie Yudha Budiman, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, yang juga telah memberikan waktu, perhatian, dan bimbingan yang sangat berarti dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang, atas ilmu, motivasi, dan dedikasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
5. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tak ternilai harganya.
6. Teman-teman mahasiswa dan teman seperjuangan, atas kerja sama, motivasi, dan semangat yang telah membantu selama proses penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajian. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya ini di masa mendatang.

Palembang, Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN AGENDA.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumus Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Peneliian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Mesin frais .....	4
2.2 Klasifikasi Proses Frais .....	10
2.3 Parameter Pada Mesin Frais .....	10
2.4 Pahat.....	11
2.4.1 Jenis Pahat.....	11
2.5 Kekasaran Permukaan .....	13
2.5.1 Permukaan.....	14
2.5.2 Alat Ukur Kekasaran Permukaan .....	14
2.5.3 Parameter Kekasaran Permukaan .....	16
2.6 Parameter Pemotongan .....	18

2.7 Laju Pemakanan/Gerak makan .....	18
2.8 Waktu Pemotongan .....	19
2.9 Volume Pemotongan .....	19
2.10 Baja .....	19
2.10.1 Klasifikasi Baja ST 37 .....	20
2.10.2 Baja ST 37.....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Diagram Alir .....	24
3.2 Alat Dan Bahan .....	24
3.2.1 Mesin Frais Optium .....	25
3.2.2 Pahat Potong .....	26
3.2.3 Alat Ukur Kekasaran Permukaan .....	26
3.2.4 Material Plat.....	27
3.3 Spesimen .....	28
3.4 Proses <i>Finishing</i> & Pengujian kekasaran .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>30</b>
4.1 Cara pengolahan data Ra .....	30
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
5.1 Pembahasan.....	34
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
6.1 Kesimpulan .....	42
6.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin Frais Horizontal.....	5
Gambar 2.2 Mesin Frais Vertical .....	5
Gambar 2.3 Mesin Frais Universal .....	6
Gambar 2.4 Klasifikasi Proses Frais .....	10
Gambar 2.5 <i>Konfigurasi Kekasaran Permukaan</i> .....	14
Gambar 2.6 <i>Roughness Tester</i> .....	15
Gambar 2.7 Profil Kekasaran Permukaan .....	16
Gambar 2.8 Baja ST 37 Bentuk Plat .....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	24
Gambar 3.2 Mesin Frais Optium.....	25
Gambar 3.3 <i>endmill</i> HSS.....	26
Gambar 3.4 <i>Surface Roughness Tester</i> .....	26
Gambar 3.5 Spesimen 100 x 100 x 25 mm .....	28
Gambar 3.6 Proses pengambilan nilai kekasaran permukaan.....	32
Gambar 5.1 Nilai kekasaran permukaan dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 40.....	34
Gambar 5.2 Nilai kekasaran permukaan dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 185.....	35
Gambar 5.3 Nilai kekasaran permukaan dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 285.....	36
Gambar 5.4 Nilai Rata-rata pada Kecepatan rpm 360 .....	37
Gambar 5.5 Nilai Rata-rata pada Kecepatan rpm 580 .....	38
Gambar 5.6 Nilai Rata-rata pada Kecepatan rpm 875 .....	39
Gambar 5.7 Nilai Keseluruhan kekasaran permukaan Variasi rpm dan $v_f$ .....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Acuan Alat Ukur.....	17
Tabel 3.1 Spesifikasi Dari <i>Surface Roughness Tester</i> .....	27
Tabel 3.2 Komposisi Baja ST 37.....	27
Tabel 4.1 Hasil uji pada Kecepatan rpm 360 .....	31
Tabel 4.2 Hasil uji pada Kecepatan rpm 580 .....	32
Tabel 4.3 Hasil uji pada Kecepatan rpm 875 .....	33
Tabel 5.1 Nilai keseluruhan variasi $v_f$ dan Kecepatan rpm .....	34
Tabel 5.2 Nilai Rata-rata dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 40 (mm/menit).....	35
Tabel 5.3 Nilai Rata-rata dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 185 (mm/menit).....	36
Tabel 5.4 Nilai Rata-rata dengan Kecepatan rpm dan $v_f$ 285 (mm/menit).....	37
Tabel 5.5 Nilai Rata-Rata pada Kecepatan rpm 360 .....	38
Tabel 5.6 Nilai Rata-Rata pada Kecepatan rpm 580 .....	39
Tabel 5.7 Nilai Rata-Rata pada Kecepatan rpm 875 .....	40

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat menuntut proses produksi yang tidak hanya cepat, tetapi juga mampu menghasilkan kualitas produk yang tinggi dan presisi. Salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah proses frais (*milling*). Proses ini digunakan untuk membentuk dan memotong benda kerja dengan menggunakan pahat yang berputar. Salah satu keunggulan dari proses frais adalah kemampuannya menghasilkan permukaan yang rata, membuat alur (slot), serta membentuk geometri yang kompleks dengan tingkat presisi yang baik.

Kualitas hasil pemesinan tidak hanya ditentukan oleh jenis mesin atau material yang digunakan, tetapi juga oleh parameter-parameter pemesinan itu sendiri. Banyak faktor yang memengaruhi hasil akhir proses frais, di antaranya Putaran spindel (putaran pahat) dan kecepatan makan (*feed rate*). Kedua parameter ini sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) benda kerja.

Kekasaran permukaan merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas hasil pemesinan. Permukaan yang halus dapat meningkatkan performa mekanis suatu komponen, mengurangi gesekan, serta memperpanjang umur pakai. Sebaliknya, permukaan yang kasar dapat menyebabkan konsentrasi tegangan, keausan yang lebih cepat, serta tidak sesuai untuk aplikasi presisi tinggi. Oleh karena itu, pengendalian kekasaran permukaan menjadi salah satu fokus utama dalam proses pemesinan.

Material ST 37 adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam dunia industri, khususnya untuk konstruksi, rangka mesin, dan komponen struktural lainnya. Material ini dikenal mudah dikerjakan dan relatif

ekonomis, tetapi tetap memiliki kekuatan yang cukup untuk berbagai kebutuhan. Karena itu, ST 37 sering dijadikan objek dalam berbagai penelitian pemesinan.

Peningkatan kecepatan spindel umumnya dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus karena potongan per gigi menjadi lebih kecil dan rata. Namun, jika kecepatan terlalu tinggi, pahat bisa mengalami keausan lebih cepat dan menimbulkan panas berlebih, yang justru dapat menurunkan kualitas permukaan. Sebaliknya, peningkatan kecepatan makan memang dapat mempercepat proses pemotongan, tetapi berisiko meninggalkan jejak potongan yang lebih kasar karena jumlah material yang dipotong per gigi menjadi lebih besar.

Melalui penelitian ini, dilakukan analisis mengenai pengaruh variasi kecepatan spindel dan kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan pada proses frais terhadap material ST 37. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dalam mengoptimalkan parameter pemesinan, sehingga mampu menghasilkan kualitas permukaan yang baik tanpa mengorbankan efisiensi waktu dan umur pahat

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, masalah yang akan diteliti pada skripsi ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan pada proses frais Tepi material ST 37.
2. Bagaimana pengaruh kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan pada proses frais Tepi material ST 37.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin frais Vertikal tipe Optimum.
2. Pahat yang digunakan adalah pahat *endmill* HSS ukuran Diameter 10mm

3. Kedalaman pemotonga yang dilakukan adalah 1mm.
4. Spesimen menggunakan plat baja ST 37.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan spindel terhadap nilai kekasaran permukaan pada hasil *finishing* proses frais ST 37.
2. Menganalisis pengaruh Kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan pada proses frais ST 37.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis:

1. Memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai pengaruh parameter pemesinan, khususnya kecepatan spindel dan kecepatan makan, terhadap kualitas permukaan hasil frais pada material baja ST 37.
2. Menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, peneliti dalam bidang teknik mesin, khususnya yang berkaitan dengan proses pemesinan dan pengendalian kualitas permukaan.
3. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses produksi di industri manufaktur, terutama dalam pengaturan parameter mesin frais untuk menghasilkan komponen dengan kekasaran permukaan yang sesuai standar.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Mesin Frais

Mesin *Frais* adalah mesin perkakas yang digunakan untuk memotong atau mengikis material, biasanya logam, dengan menggunakan alat potong berputar yang disebut kuku frais. Mesin ini berfungsi untuk menghasilkan bentuk atau ukuran tertentu pada benda kerja, seperti membuat permukaan datar, alur, profil, atau bahkan bentuk yang lebih kompleks. Mesin frais dapat digunakan pada berbagai jenis bahan seperti logam, plastik, dan kayu, tergantung pada jenis alat potong yang digunakan. (Li & Shi, 2020)

Proses pemotongan pada mesin frais dilakukan dengan cara menggerakkan alat potong berputar yang memotong benda kerja yang dipasang pada meja mesin. Gerakan ini dapat berupa gerakan linear (mendatar atau vertikal), atau kombinasi keduanya, tergantung pada jenis mesin dan desain benda kerja. (Chen et al., 2019)

Menurut Daryanto (2006: 33), mengatakan bahwa mesin frais adalah mesin yang digunakan untuk memotong atau mengikis material, terutama logam, dengan menggunakan alat potong yang berputar. Mesin ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai bentuk, ukuran, dan permukaan yang halus pada benda kerja. Mesin frais bisa digunakan untuk mengolah bahan kerja dalam bentuk datar, alur, profil, atau bentuk rumit lainnya. Mesin ini merupakan salah satu alat yang sangat penting dalam proses manufaktur, terutama untuk industri yang membutuhkan presisi tinggi dalam pembuatan komponen-komponen mesin. Beberapa macam mesin *Frais*:

##### 1. Mesin Frais *horizontal*

Mesin Frais *Horizontal* adalah jenis mesin frais yang memiliki sumbu utama alat potong (*spindle*) yang mendatar atau *horizontal*. Dalam mesin frais *horizontal*, alat potong berputar pada posisi mendatar, dan meja mesin dapat bergerak secara *vertikal* atau *horizontal* untuk memposisikan benda kerja sesuai dengan kebutuhan pemotongan.



Gambar 2.1 Mesin Frais horizontal

## 2. Mesin frais vertikal

Mesin frais Vertikal adalah jenis mesin frais yang memiliki sumbu utama alat potong (*spindle*) yang tegak lurus terhadap meja mesin. Pada mesin frais vertikal, alat potong berputar pada posisi vertikal, dan meja mesin dapat bergerak secara horizontal atau vertikal untuk memposisikan benda kerja sesuai dengan kebutuhan pemotongan. Mesin ini sangat populer karena kemampuannya untuk melakukan berbagai jenis pemotongan dan pembentukan dengan presisi tinggi



Gambar 2.2 Mesin Frais vertikal

## 3. Mesin frais universal

Mesin Frais Universal adalah jenis mesin frais yang menggabungkan kemampuan dari mesin frais vertikal dan mesin frais horizontal. Mesin ini dapat

digunakan untuk berbagai aplikasi pemotongan dengan fleksibilitas lebih tinggi karena sumbu alat potong (*spindle*) dapat diposisikan dalam berbagai arah, baik vertikal maupun horizontal. Mesin frais universal sangat cocok untuk melakukan berbagai jenis pemotongan pada benda kerja dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi.



Gambar 2.3 mesin Frais universal

Komponen-komponen mesin Frais terdiri dari:

1. Meja mesin (*table*)

Tempat untuk meletakkan benda kerja yang akan diproses. Meja mesin dapat bergerak ke arah horizontal (kiri-kanan) dan vertikal (depan-belakang) untuk memposisikan benda kerja pada posisi yang tepat selama pemesinan.

2. Kaki mesin (*Base*)

Menyokong dan menopang seluruh bagian mesin frais. Kaki mesin merupakan struktur utama yang memberikan stabilitas dan kekuatan agar mesin tetap kokoh saat digunakan.

3. Kolom (*Column*)

Sebagai penopang vertikal untuk berbagai komponen mesin lainnya, termasuk spindle, milling head, dan sistem penggerak.

#### 4. Dudukan meja atau sadel (*Saddle*)

Menyokong dan menggerakkan meja mesin secara *horizontal*, baik dari kiri ke kanan maupun dari depan ke belakang.

#### 5. *Spindle*

Menyediakan gerakan putar untuk alat potong (*milling cutter*). *Spindle* menghubungkan kepala frais (*milling head*) dengan alat potong dan memindahkan putaran dari motor mesin ke *cutter*.

#### 6. *Milling Head*

Menampung *spindle* dan *milling cutter*, serta memungkinkan pergerakan alat potong ke atas dan ke bawah (*vertikal*) atau gerakan *horizontal*.

#### 7. Arbor

Arbor adalah komponen yang digunakan untuk menahan dan menyokong alat potong seperti *milling cutter*. Arbor menghubungkan spindle dengan alat potong dan memastikan alat potong berputar dengan stabil.

#### 8. Kepala Sumbu (*Vertical and Horizontal Heads*)

Pada mesin frais vertikal, kepala sumbu memungkinkan spindle bergerak dalam arah vertikal, sementara pada mesin frais horizontal, kepala sumbu memungkinkan pergerakan horizontal.

#### 9. *Feed Mechanism* (Penggerak)

Sistem penggerak yang memungkinkan meja mesin bergerak secara otomatis dalam arah yang diinginkan, baik secara horizontal maupun vertikal.

#### 10. *Clamping Devices*

Digunakan untuk menahan dan mengunci benda kerja pada meja mesin dengan aman dan stabil selama proses pemesinan.

#### 11. *Lubrication System* (Sistem Pelumasan)

Menyediakan pelumasan yang diperlukan untuk komponen-komponen mesin yang bergerak, seperti spindle, penggerak, dan mekanisme lainnya.

#### 12. Motor Penggerak (*Drive Motor*)

Menggerakkan *spindle* dan alat potong dengan kecepatan yang diperlukan untuk pemotongan.

#### 13. Tangan Pengendali (*Handwheel*)

Digunakan untuk menggerakkan komponen mesin secara manual, seperti meja mesin atau kepala frais, untuk penyesuaian posisi atau kedalaman pemotongan.

#### 1. Prinsip Kerja mesin fris secara umum adalah:

1. Pemilihan dan Penempatan Pisau Frais: Pisau frais dipasang pada spindle mesin dan disesuaikan sesuai kebutuhan pemotongan.
2. Penjepitan Benda Kerja: Benda kerja dijepit dengan kuat pada meja mesin menggunakan alat penjepit (*clamping*).
3. Proses Pemotongan: Pisau frais yang berputar memotong material dari benda kerja saat benda kerja bergerak menuju pisau atau alat potong bergerak menuju benda kerja.
4. Penghilangan *Chip* dan Pendinginan: *Chip* yang dihasilkan selama pemotongan dihilangkan, dan sistem pendinginan digunakan untuk menjaga suhu dan meningkatkan keawetan alat potong.
5. Penyelesaian dan Penghalusan: Proses finishing dilakukan untuk memperhalus hasil pemotongan dan memastikan dimensi serta toleransi yang tepat.

#### 2. Gerakan-gerakan yang dapat dilakukan pada mesin fris:

1. Gerakan Pemotongan: Gerakan yang dilakukan oleh alat potong, yaitu berputar pada *spindle*.
2. Gerakan Translasi (Pergerakan Meja): Meja mesin bergerak dalam arah horizontal dan vertikal untuk memposisikan benda kerja dengan benar terhadap alat potong.

3. Gerakan *Feeding*: Proses pemberian makan (*feed*) pada benda kerja, di mana benda kerja atau alat potong bergerak secara terkontrol dalam gerakan *linear*.

3. Metode dalam proses pemotongan benda kerja pada mesin frais:

*Peripheral Milling* (Pemotongan Arah Radial): Alat potong berputar sejajar dengan benda kerja, memotong pada sisi pisau. Digunakan untuk pemotongan permukaan datar atau alur lebar.

1. *End Milling* (Pemotongan Arah End Mill): Pemotongan dilakukan baik di sisi maupun ujung pisau frais. Digunakan untuk membuat bentuk lebih kompleks, seperti alur dan kontur.
2. *Profile Milling* (Pemotongan Profil): Alat potong mengikuti kontur atau bentuk tertentu pada benda kerja, digunakan untuk membuat bentuk atau profil yang rumit.
3. *Slot Milling* (Pemotongan Alur): Untuk membuat alur berbentuk slot, seperti T-slot atau keyway, yang digunakan untuk pemasangan komponen lainnya.
4. *Contour Milling* (Pemotongan Kontur): Pemotongan mengikuti bentuk atau kontur benda kerja untuk menghasilkan permukaan melengkung atau 3D.
5. *High-Speed Milling*: Pemotongan dengan kecepatan tinggi, menggunakan alat potong tajam untuk menghasilkan permukaan halus dan meningkatkan efisiensi.
6. *Roughing* (Pemotongan Kasar): Tahap awal untuk menghilangkan material dalam jumlah besar, menghasilkan permukaan kasar.
7. *Finishing* (Pemotongan Halus): Tahap akhir untuk menghasilkan permukaan halus dan presisi dengan menggunakan alat potong tajam dan kecepatan rendah.

## 2.2 Klasifikasi Proses Frais

Proses frais dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis. Klasifikasikan ini berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja.

Klasifikasi proses fris tersebut antara lain:

### 1. Frais Perifer (*Peripheral Milling*)

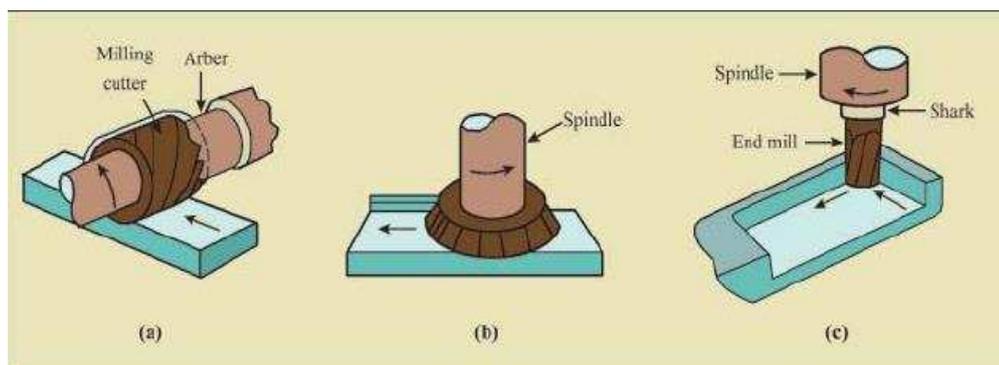
Pemotongan dilakukan di sepanjang sisi alat potong (*milling cutter*), bukan di ujung pisau. Alat potong berputar sejajar dengan permukaan benda kerja.

### 2. Frais Muka (*Face Milling*)

Pemotongan dilakukan di sisi depan pisau frais yang berputar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Pemotongan terjadi baik di sisi maupun di ujung pisau.

### 3. Frais Jari (*Side Milling*)

Pemotongan dilakukan di sisi alat potong, digunakan untuk memotong sisi benda kerja atau membuat permukaan sisi yang rata. (Ivanov et al., 2025)



Gambar 2.4 Klasifikasi proses fris

Keterangan:

- a. Proses *Peripheral milling*
- b. Proses *face milling*
- c. Proses *end milling*

### 2.3 Parameter pada mesin frais

Maksud dari parameter yang dapat di atur adalah parameter yang dapat diatur langsung oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin Frais. Parameter yang dimaksud adalah putaran spindel ( $n$ ), Gerak makan ( $f$ ), kedalaman potong ( $a$ ). Putaran spindel bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi handle pengaturan putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur Gerak makan sesuai dengan table  $f$  yang ada di mesin. Gerak makan ini pada proses frais ada dua macam yaitu Gerak makan per gigi ( $\text{mm/gigi}$ ), dan Gerak makan perputaran ( $\text{mm/putaran}$ ). Kedalaman potong diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pisau.

Putaran spindel ( $n$ ) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pisau dan material benda kerja. Kecepatan potong adalah hal yang paling penting, dan dalam banyak kasus kecepatan potong adalah parameter yang paling penting dalam operasi pemesinan. Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada saat proses penyayatan atau pemotongan benda kerja. (Rozaq & Iswanto, 2017)

Dampak Permukaan Benda Kerja akibat Kecepatan Spindel Tinggi

- Suhu di area potong meningkat, tetapi dalam batas tertentu ini dapat membantu mengurangi kekasaran. Namun jika terlalu tinggi bisa menyebabkan deformasi plastik lokal atau keausan pahat cepat.
- Permukaan benda kerja menjadi lebih bersih dan rata, karena efek gesekan dan gerakan pahat menjadi lebih halus.
- Jumlah material yang dibuang per satuan waktu meningkat, tapi kualitas permukaan tetap lebih baik jika dikombinasikan dengan kecepatan makan yang sesuai.

### 2.4 Pahat

Pahat adalah alat pemotong yang digunakan untuk mengubah bentuk, ukuran, atau permukaan benda kerja dengan cara mengikis atau memotong material. Pahat digunakan dalam berbagai jenis proses pemesinan, seperti pemesinan frais. (Proses et al., 2017) Ada beberapa sifat yang harus dimiliki oleh pahat yaitu:

1. Keras
2. Tahan gesekan
3. Tahan panas
4. Ulet
5. Ekonomis

#### **2.4.1 Jenis pahat**

##### Baja karbon

Baja karbon mengandung karbon dengan kadar bervariasi, biasanya antara 0,3% hingga 1,5%. Kadar karbon yang lebih tinggi meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap keausan, tetapi juga membuat baja karbon lebih rapuh.

1. HSS (*High speed steels*)

Pahat potong HSS memiliki kecepatan potong 20-30 m/menit. HSS ditemukan pada tahun 1898 dengan unsur panduan *khrom* dan *tungsten*

2. Paduan Cor Nonferro

Pahat yang digunakan untuk memotong paduan cor nonferro harus tahan terhadap keausan yang lebih rendah, karena banyak paduan nonferro (seperti aluminium atau tembaga) lebih lunak dibandingkan baja.

3. Karbida

Pahat karbida memiliki kekerasan yang sangat tinggi, bahkan lebih keras daripada baja atau baja alat (HSS). Kekerasan ini memungkinkan pahat untuk memotong material keras seperti baja, paduan keras, dan material lainnya tanpa mengalami keausan yang cepat.

4. Keramik

Pahat Keramik adalah alat pemotong yang terbuat dari bahan keramik, terutama keramik berbasis oksida atau keramik berbasis nitride, yang digunakan dalam proses pemesinan logam. Pahat ini menjadi populer dalam industri pemesinan karena kemampuannya untuk memotong material dengan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap keausan, suhu ekstrem, dan ketangguhan yang baik.

5. CBN (*Cubic Boron Nitride*)

**Pahat CBN (*Cubic Boron Nitride*)** adalah alat pemotong yang sangat ideal untuk aplikasi pemesinan material keras yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap keausan, suhu ekstrem, dan presisi tinggi. Dengan kekerasannya yang luar biasa, pahat CBN mampu memotong material yang sangat keras seperti baja keras dan paduan logam lainnya, memberikan hasil pemotongan yang lebih cepat dan presisi tinggi. Meskipun lebih mahal dan lebih rapuh dibandingkan dengan pahat berbahan karbida atau HSS, pahat CBN menawarkan produktivitas yang sangat tinggi, umur pakai yang panjang, dan kualitas pemotongan yang superior.

6. Intan

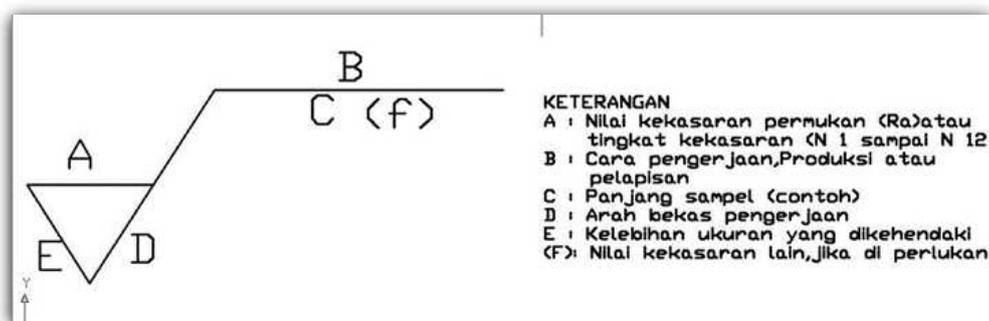
Pahat Intan adalah alat pemotong yang sangat efektif untuk pemesinan material keras, abrasif, dan presisi tinggi berkat kekerasannya yang luar biasa. Pahat ini sangat cocok untuk aplikasi pemotongan yang membutuhkan toleransi dimensi yang ketat dan kualitas permukaan yang halus. Meskipun pahat intan memiliki harga yang lebih tinggi dan sangat sensitif terhadap suhu dan beban mendadak, keunggulannya dalam hal ketahanan terhadap keausan, umur pakai yang Panjang. (Moy & Jafri, 2023)

## 2.5 Kekasaran permukaan

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah melalui proses pemesinan, baik itu proses bubut, sekrap, *milling*, akan mengalami perubahan pada bentuk dan permukaan walaupun hal tersebut terkadang tidak dapat hanya dilihat dengan kasat mata, namun apabila diperhatikan dengan seksama menggunakan alat bantu maka akan terlihat perubahan yang terjadi pada permukaan tersebut setelah mengalami

proses pemesinan. Yang dimaksud dengan kekasaran permukaan ialah penyimpangan pada rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan. (Pardede, 2022)

Dalam dunia industri, permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan ( $R_a$ ) 0,025  $\mu\text{m}$ . (PUTRA, 2021) Kekasaran permukaan mempunyai lambang konfigurasi yang universal dan memudahkan dalam pembacaannya seperti pada gambar 2.6 berikut yang menerangkan simbol simbol kekasaran permukaan



Gambar 2.5 Konfigurasi Kekasaran permukaan

### 2.5.1 Permukaan

Permukaan ialah suatu batas titik yang memisahkan sebuah benda padat dengan keadaan disekitarnya. Setiap proses pengerjaan akan menghasilkan suatu ciri tertentu pada permukaan benda kerja yang dihasilkan, dengan demikian dapat diartikan bahwa dari setiap hasil pemesinan akan merubah bentuk permukaan benda kerja. Sedangkan karakteristik permukaan memegang peran penting dalam perancangan komponen mesin, hal ini tidak dapat dikesampingkan, karena bentuk permukaan tersebut akan berhubungan dengan gesekan, pelumasan, perekatan dua atau lebih komponen mesin dan lain-lain. Kekasaran permukaan sebuah produk tidak harus memiliki nilai yang kecil atau halus, tetapi sebuah produk terkadang

memerlukan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai fungsinya.

Seperti halnya pada toleransi ukuran, bentuk, dan posisi karakteristik permukaan harus dapat diterjemahkan kedalam gambar teknik agar kemauan perancang dapat dipenuhi. Oleh sebab itu, orang berusaha membuat berbagai definisi atau berbagai parameter guna menandai / mengidentifikasi konfigurasi suatu permukaan. Dinamakan parameter sebab definisi tersebut harus bisa diukur dengan besaran/unit tertentu yang mungkin harus dilakukan dengan memakai alat ukuran khusus yang dirancang untuk keperluan tersebut. (Soesanti, 2016)

### 2.5.2 Alat ukur kekasaran permukaan

*Roughness Tester* ialah alat pengukuran kekasaran permukaan, setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. *Roughness* atau kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional. Ra didefinisikan sebagai rata-rata aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah dan rata-rata. (Yuda, 2007)



Gambar 2.6 *Roughness Tester*

Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk diamond untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat *indicator* pengukur kekasaran benda uji. Prinsip kerja dari alat ini adalah

dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan *mikroprocessor*. *Roughness tester* dapat digunakan dilantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau dimanapun.

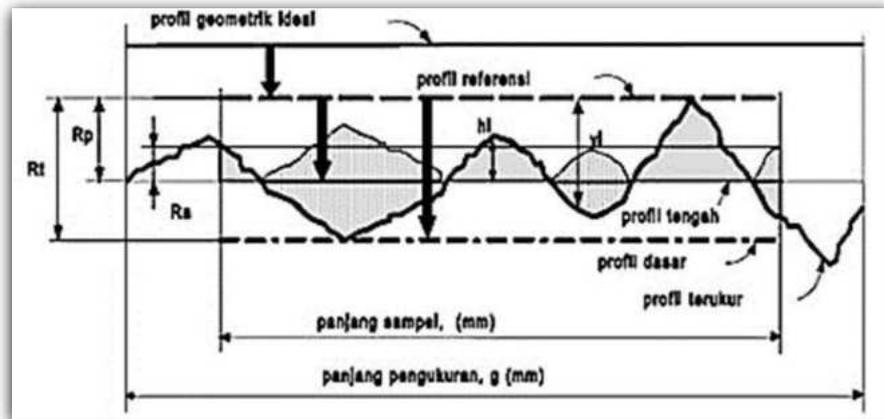
Ketika mengukur kekasaran permukaan dengan *roughness tester*, sensor ditempatkan pada permukaan dan kemudian meluncur sepanjang permukaan seragam dengan mengemudi mekanisme di dalam *tester*. Sensor mendapatkan kekasaran permukaan dengan probe tajam *built-in*. Instrumen *roughness tester* ini kompatibel dengan empat standar yaitu ISO, DIN, ANSI, dan JIS.

Untuk melakukan pengujian menggunakan alat uji ini dapat dikatakan simple dan cepat sehingga efisien, cara pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tentukan dan bersihkan lokasi yang akan dilakukan pengujian, atau siapkan material yang akan diuji.
2. Siapkan alat uji roughness tester dan setting alat uji sesuai dengan kebutuhan pengujian, lalu tekan tombol power pada alat uji hingga angka pada alat uji muncul.
3. Lalu tempelkan sensor yang ada pada alat uji pada material atau object yang diuji, posisi dalam pengujian dapat dilakukan dari berbagai posisi horizontal, vertical ataupun data, yang nantinya alat uji tersebut akan melakukan pengukuran menggunakan sebuah sensor transducer yang kemudian diolah menggunakan mikroprocessor.
4. Hasil dari dari pengolahan data alat uji *roughness tester* tersebut nantinya akan muncul pada layar display yang tertera pada alat uji.

### **2.5.3 Parameter Kekasaran Permukaan**

Untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan, sensor alat ukur akan bergerak mengikuti lintasannya pada permukaan profil benda kerja sepanjang lintasan yang dimiliki oleh alat ukur. Setelah pembacaan oleh sensor selesai maka nilai kekasaran permukaan akan dikalkulasi sesuai dengan tingkat kekasaran yang telah dideteksi sepanjang lintasan yang diukur. Bagian panjang permukaan yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel. Pada gambar 2.4 ditunjukkan bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain, seperti :



Gambar 2.7 Profil kekasaran permukaan (Sumber: Rochim, 2007)

1. Profil geometric ideal ialah garis permukaan sempurna yang dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
2. Profil referensi / puncak / acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidakraturan bentuk permukaan.
3. Profil alas adalah garis yang berada dibawah yang menyinggung terendah.
4. Profil tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam. Dari gambar diatas, dapat didefinisikan sebagai beberapa parameter kekasaran permukaan, yaitu:
5. Kekasaran rata-rata aritmatik ( $R_a$ ) merupakan nilai rata-rata aritmatik antara garis tengah dan garis terukur.

Kelas kekasaran permukaan seperti diatas menjelaskan tentang tingkatan nilai kualitas kekasaran permukaan, dari yang paling kecil atau bagus yaitu N1 yang memiliki harga  $R_a$  0,025  $\mu\text{m}$ , hingga yang paling besar atau yang paling buruk N12 yang memiliki harga  $R_a$  50  $\mu\text{m}$ .

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L y(x) dx$$

$$R_a \text{ awal} = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3} (\mu\text{m}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R_a \text{ tengah} = \frac{Ra4+Ra5+Ra6}{3} (\mu\text{m}) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$R_a \text{ ujung} = \frac{Ra7+Ra8+Ra9}{3} (\mu\text{m}) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Ra = \frac{Ra\ awal + Ra\ tengah + Ra\ ujung}{3} (\mu m) \dots \dots \dots (2.4)$$

Tabel 2.1 Acuan alat ukur (Rochim, 2007)

Kekasaran Ra ( $\mu m$ )	Kelas kekasaran	Panjang Sampel ( $\mu m$ )
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

## 2.6 Parameter Pemotongan

Kecepatan spindel adalah jumlah putaran yang dilakukan oleh spindel atau pahat dalam satu menit (RPM). Kecepatan spindel ini sangat dipengaruhi oleh material benda kerja dan jenis pahat yang digunakan.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

n: putaran spindel (putaran/menit)

V<sub>c</sub>: kecepatan potong (m/menit)

D: diameter pahat frais (mm)

## 2.7 Laju pemakanan/Gerak makan

pemakanan dalam proses frais adalah jarak penyayatan dalam satu menit yang dihitung dari besarnya sayatan persegi (f<sub>z</sub>) dikaliakn dengan jumlah mata potong yang dikalikan kecepatan putaran pisau frais dalam satuan menit.

$$V_f = f_z \cdot z \cdot N \dots \dots \dots (2.6)$$

f<sub>z</sub> = Laju pemakanan (mm/gigi)

$z$  = Jumlah gigi Pada pahat

$V_f$  = Kecepatan makan (mm/menit)

$N$  = Putaran Spindel (rpm)

## 2.8 Waktu Pemotongan

$$T_c = \frac{L}{V_f} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

- $t_c$  = Waktu pemotongan (menit)
- $L$  = Panjang pemotongan (mm)
- $V_f$  = Kecepatan pemakanan (mm/min)

## 2.9 Volume Pemotongan

$$MRR = a \cdot f \cdot V_c \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

- $MRR$  = Laju penghilangan material (mm<sup>3</sup>/min atau cm<sup>3</sup>/min)
- $a$  = Kedalaman potong (mm)
- $f$  = Lebar pemotongan / feed (mm)
- $V_c$  = Kecepatan potong (mm/min)

## 2.10 Baja

Baja ST 37 adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa dan konstruksi. Baja ini memiliki kandungan karbon yang rendah, yaitu sekitar 0,17% hingga 0,20%, yang membuatnya memiliki sifat yang mudah dibentuk dan diproduksi. Baja ST 37 sering digunakan dalam pembuatan komponen struktur ringan, rangka, dan

peralatan yang tidak memerlukan ketahanan terhadap beban atau suhu ekstrem yang sangat tinggi.

Sifat sifat penting baja antara lain sebagai berikut:

#### 1. Kekuatan

Kekuatan baja adalah kemampuan bahan untuk menahan beban atau tekanan tanpa mengalami deformasi permanen atau kerusakan.

#### 2. Kekerasan

Kekerasan baja mengacu pada ketahanan material terhadap deformasi permanen, baik itu goresan atau penekanan.

#### 3. Kelenturan

Kelenturan adalah kemampuan baja untuk mengalami deformasi elastis (pembengkokan) tanpa patah atau retak.

#### 4. Kekakuan

Kekakuan adalah kemampuan material untuk menahan perubahan bentuk atau deformasi saat diberi beban. Baja yang lebih kaku tidak akan mudah melentur atau berubah bentuk ketika dikenakan gaya.

#### 5. Ketangguhan

Ketangguhan adalah kemampuan material untuk menyerap energi dan menunjukkan deformasi plastis sebelum gagal, yaitu gabungan dari kekuatan dan kelenturan.

#### 6. Kelelahan

Kelelahan adalah fenomena di mana material mengalami kerusakan atau kegagalan akibat siklus pembebanan berulang yang berulang kali, meskipun beban tersebut lebih kecil dari batas kekuatan tarik material. (Julisman, 2015)

### 2.10.1 klasifikasi baja

Klasifikasi baja sangat bergantung pada komposisi kimia, proses pengolahan, dan penggunaannya. Setiap jenis baja memiliki sifat yang berbeda yang menjadikannya cocok untuk aplikasi tertentu. Pemilihan baja yang tepat harus mempertimbangkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, keausan, serta kemampuan untuk dibentuk dan dilas. (Julisman, 2015)

### 2.10.2 Baja ST 37

Baja ST 37 adalah jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam aplikasi konstruksi dan manufaktur. Baja ini dikenal dengan nama S235JR dalam standar Eropa (EN 10025) dan memiliki kandungan karbon sekitar 0,17% - 0,20%, memberikan sifat mekanik yang baik serta kemudahan dalam pengolahan. Baja ST 37 termasuk dalam kategori baja struktural dengan kekuatan tarik 370 MPa, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan kekuatan sedang



Gambar 2.8 Baja ST 37 bentuk plat

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang menjadi objek pengamatan dalam suatu penelitian. Variabel merupakan unsur penting yang menentukan arah dan hasil dari penelitian, karena melalui variabel inilah hubungan sebab-akibat dapat dianalisis dan disimpulkan. Dalam penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel tetap.

#### **Variabel Bebas**

Variabel bebas adalah variabel yang secara sengaja dimanipulasi atau diubah oleh peneliti untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel lainnya. Dalam penelitian ini, variabel bebas terdiri dari:

- Kecepatan spindel ( $n$ )
- Kecepatan makan ( $vf$ )

Variabel ini diterapkan pada spesimen baja ST 37 dalam proses pemesinan frais, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan.

#### **Variabel Terikat**

Variabel terikat merupakan variabel yang diamati dan diukur sebagai hasil dari perubahan variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat adalah:

- Kekasaran permukaan benda kerja ( $R_a$ )

Nilai  $R_a$  diamati untuk menentukan seberapa besar pengaruh variasi kecepatan spindel dan kecepatan makan terhadap kualitas permukaan hasil frais.

#### **Variabel Tetap**

Variabel tetap adalah variabel yang dijaga agar tetap konstan selama proses penelitian berlangsung, dengan tujuan agar hasil pengamatan tidak dipengaruhi oleh faktor luar selain variabel bebas. Adapun variabel tetap dalam penelitian ini adalah:

- Material spesimen: Baja ST 37

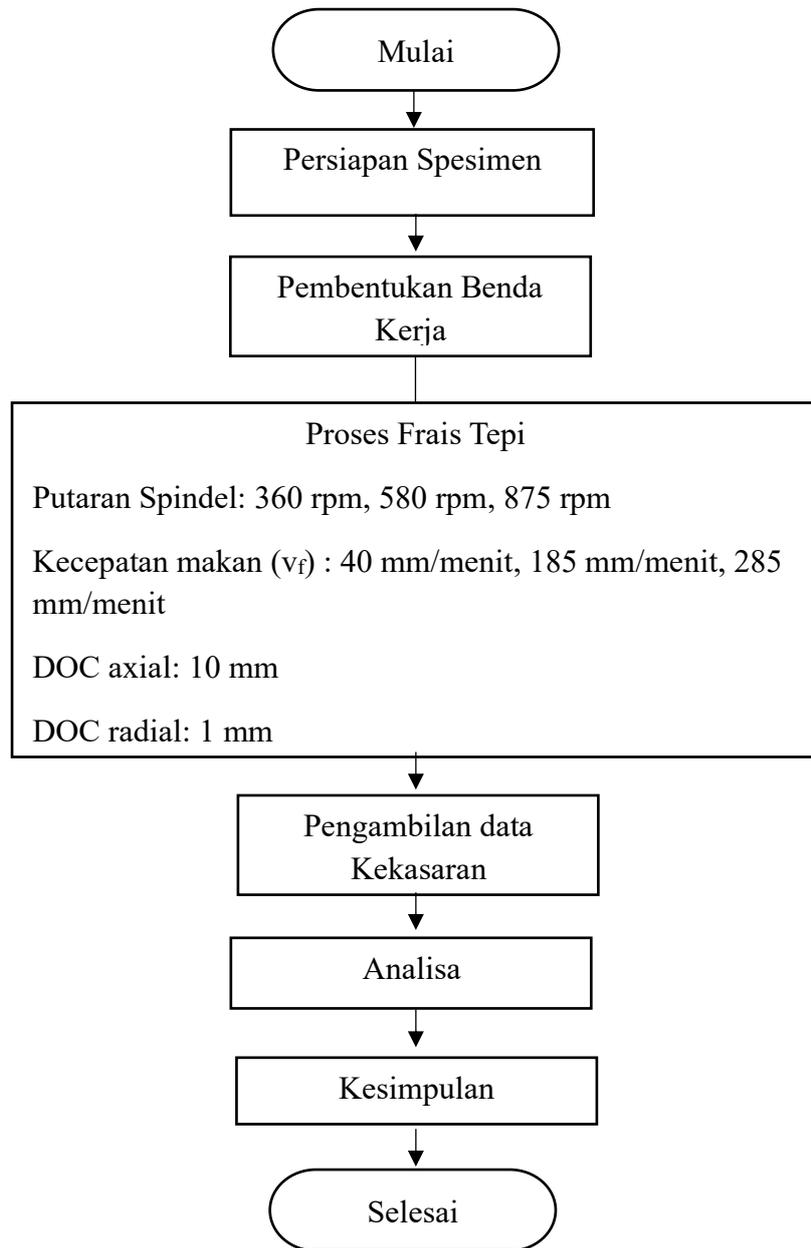
- Dimensi dan massa spesimen
- Jenis pahat dan mesin frais yang digunakan

Penelitian ini skripsi yang menulis susun dilaksanakan pada bulan april 2025 di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.

Berdasarkan teori dan penelitian – penelitian menyebabkan kekasaran permukaan sebagai berikut:

1. Getaran mesin
2. Defleksi material
3. Pencairan pedinggin
4. Kecepatan potong
5. Jenis pahat
6. feed (Laju pemakanan) mm/gigi
7. Dalam pemakanan
8. Gaya pemotongan

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin frais Vertikal jenis Optimum
2. Pahat *endmill* HSS ukuran Diameter 10mm

3. Alat ukur kekasaran permukaan *Roughness Tester Mitutoyo Type SJ-310*

4. Material baja ST 37

### 3.2.1 Mesin Frais Optimum

Penelitian ini menggunakan mesin frais Optium yang ada di laboratorium Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang, bisa dilihat pada gambar 3.2 Adapun spesifikasi mesin frais Optimum antara lain:

- *Electrical Connection* 400V 3Ph 50Hz
- *Table Size LxW (mm)* 1650 x 360
- *Feed Motor X,Y,Z* 1.8 Kw
- *Load Capacity (Max)* 400 kg
- *T-Slot Siza/Dist./No* 18 mm/80mm/3
- *Vert. Motor Spindle* 4 Kw
- *Hori. Motor Spindle* 5.5 Kw
- *Coolant Pump* 90 W
- *Spindle Taper* ISO 50 Din 2080
- *Speed* RPM 60 – 1,750
- *Weight (kg)* 2800
- *Gear Stages* 12 Steps



Gambar 3.2 Mesin frais Optimum

### 3.2.2 Pahat Potong

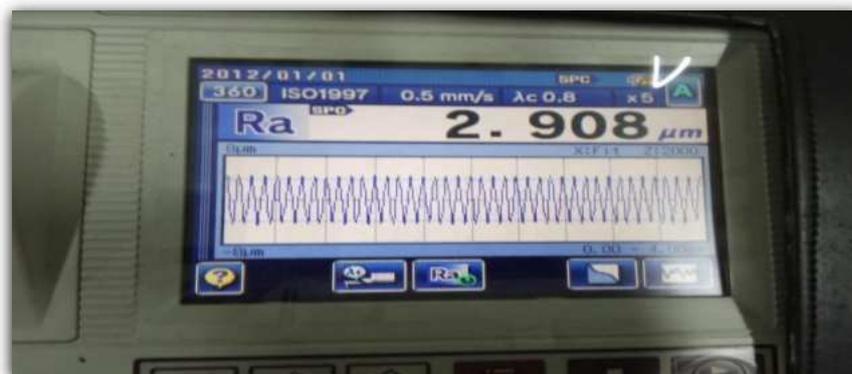
Pada penelitian ini pahat potong yang di gunakan adalah jenis *endmill* HSS. Pemilihan jenis pahat potong material ini di sebabkan oleh material pahat poton tersebut banyak digunakan dalam proses pemesinan dibengkel-bengkel milling atau mesin. Pahat potong *endmill* HSS dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 *endmill* HSS

### 3.2.3 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Surface Roughness Tester* type SJ-310 yang berada di laboratorium Universitas IBA Palembang. Cara menggunakan alat ukur ini adalah dengan menempelkan sensor dari alat ukur ke titik benda kerja yang akan diukur nilai kekasaran permukaannya. Setelah sensor tertempel dengan benar tekan tombol start dan tunggu beberapa saat sampai nilai kekasaran permukaan tampil pada layar alat ukur seperti pada gambar 3.4. Spesifikasi *surface roughness tester* dapat dilihat pada tabel 3.1



Gambar 3.4 *Surface Roughness Tester*Tabel 3.1 Spesifikasi dari *Surface Roughness Tester Type SJ-310*

SPECIFICATIONS/CONFIGURATION						
Model No.	SJ-310					
Order No. (inch/mm)	178-571-01A	178-571-02A	178-573-01A	178-573-02A	178-575-01A	178-575-02A
Drive unit	Standard type (178-230-2)		Retractable type (178-235)		Transverse tracing type (178-233-2)	
Detector	0.75mN type (178-296)	4mN type (178-390)	0.75mN type (178-296)	4mN type (178-390)	0.75mN type (178-387)	4mN type (178-386)
Display unit	Standard type with printer					
Detector: Tip angle	60°	90°	60°	90°	60°	90°
Stylus tip radius	2µm	5µm	2µm	5µm	2µm	5µm
Detector measuring force	0.75mN	4mN	0.75mN	4mN	0.75mN	4mN
Standard accessories	12AAM475 Connecting cable 12AAA217 Nosepiece for plane surface 12AAA218 Nosepiece for cylinder 12AAA216 Supporting leg 12BAK700 Calibration stage 12BAG834 Stylus pen 12BAL402 Protection sheet 270732 Printer paper (5 pieces) 12BAL400 Carrying case 178-602 Roughness reference specimen (Ra 3µm), AC adapter, Philips screwdriver, Strap for stylus pen, Operation manual, Quick reference manual, Warranty				12AAM475 Connecting cable 12AAE643 Point-contact adapter 12AAE644 V-type adapter 12BAK700 Calibration stage 12BAG834 Stylus pen 12BAL402 Protection sheet 270732 Printer paper (5 pieces) 12BAL400 Carrying case 178-606 Roughness reference specimen (Ra 1µm), AC adapter, Philips screwdriver, Strap for stylus pen, Operation manual, Quick reference manual, Warranty	

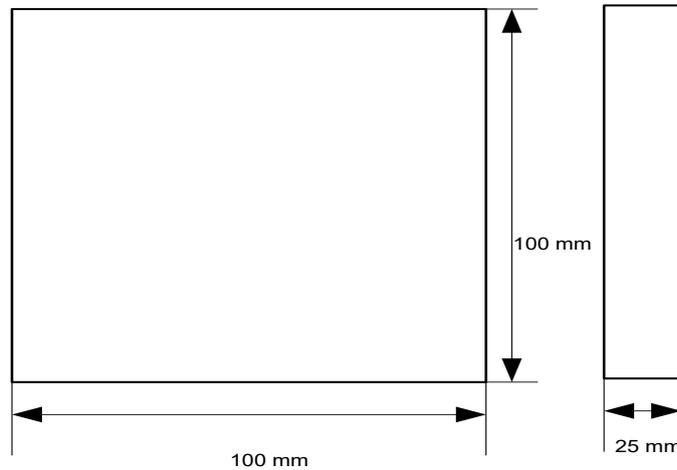
### 3.2.4 Material Plat

Material pelat yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah jenis baja ST 37. Pemilihan jenis material ini dikarenakan jenis material ini banyak di gunakan di bengkel *milling* atau mesin yang ada di Palembang. Komposisi dari bahan material inidapat dilihat pari table 3.2

Tabel 3.2 Komposisi Baja ST 37

Jenis Kadar	Persentase (%)
Carbon (c)	0,17
Silicon (si)	0,30
Manganese (Mn)	0,20 - 0,50
Fosfor (p)	0,05
Belerang (s)	0,05

### 3.3 Spesimen



Gambar 3.5 Spesimen 100 x 100 x 25 mm

Ukuran Spesimen

Lebar = 100 mm

Panjang = 100 mm

Tebal = 25 mm

### 3.4 Proses *Finishing* & Proses pengambilan data Kekasaran

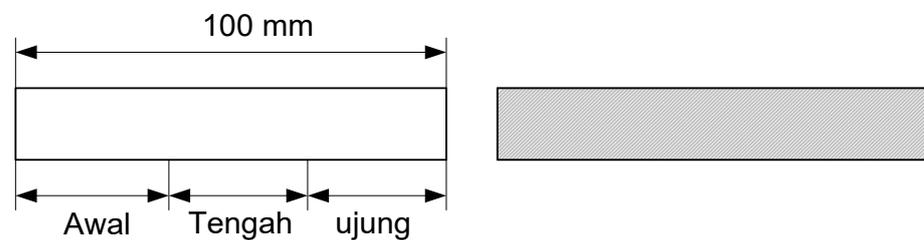
#### 1. Prosedur *Finishing* Benda Kerja

1. Memasang Benda Kerja di atas meja mesin menggunakan ragum.
2. memasang *cutter* pada spindle.
3. Mengatur Parameter Pemotongan, putaran *spindle* (rpm) dan kecepatan makan
4. Nyalakan mesin dan pastikan pisau berputar dengan lancar.
5. Melakukan proses pemotongan, setelah proses selesai, hentikan pemotongan dan matikan mesin.

#### 2. Proses pengambilan data Kekasaran

Untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan diperlukan beberapa tahap proses sebagai berikut:

1. Membersihkan permukaan benda kerja dari debu dan kotoran agar hasil pengukuran tidak terganggu.
2. Meletakkan benda kerja pada permukaan yang rata dan stabil untuk menghindari getaran saat pengukuran.
3. Menghidupkan alat Surface Roughness Tester.
4. Menempatkan sensor pada permukaan benda kerja dengan posisi yang tegak lurus dan tepat.
5. Menekan tombol start untuk memulai proses pengukuran di mulai dari posisi awal, tengah dan ujung, dengan masing masing posisi di ambil 3 titik pengujian.



Gambar 3.6 Proses pengambilan nilai kekasaran permukaan

6. Membaca dan mencatat hasil pengukuran Ra yang muncul di layar alat.

## BAB IV

### HASIL DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Cara mengolah data Ra

Nilai kekasaran permukaan pada setiap spesimen diuji di tiga titik, yaitu bagian awal, bagian tengah, dan bagian ujung lintasan pemotongan. Masing-masing titik dilakukan tiga kali pengukuran, dan hasil akhirnya dihitung dengan rata-rata sebagai berikut:

$$Ra_{awal} = \frac{Ra1+Ra2+Ra3}{3} (\mu m) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Ra_{tengah} = \frac{Ra4+Ra5+Ra6}{3} (\mu m) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Ra_{ujung} = \frac{Ra7+Ra8+Ra9}{3} (\mu m) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Ra = \frac{Ra_{awal}+Ra_{tengah}+Ra_{ujung}}{3} (\mu m) \dots\dots\dots(2.4)$$

Peningkatan kecepatan spindel (rpm) secara umum menurunkan nilai kekasaran permukaan (Ra). Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.3, terlihat bahwa pada kecepatan spindel 875 rpm, nilai Ra cenderung lebih rendah dibandingkan pada 580 rpm dan 360 rpm, terutama pada kecepatan makan yang lebih rendah.

Tabel 4.1 Hasil uji nilai kekasaran pada Putaran Spindel 360

No	V <sub>f</sub> kecepatan makan (mm/menit)	Putaran Spindel (n) rpm	Posisi pengambilan Data Kekasaran	Nilai uji kekasaran			$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )	
				1	2	3	$\overline{Ra}$	$\overline{Ra}$
1	40	360	awal	1,025	1,470	1,055	1,183	1,470
			tengah	1,193	2,420	1,915	1,843	
			ujung	1,254	1,345	1,552	1,384	
2	185		awal	1,209	2,200	2,866	2,092	1,889
			tengah	1,048	1,200	2,837	1,695	
			ujung	1,223	1,934	2,486	1,881	
3	285		awal	1,873	2,691	1,784	2,116	2,090
			tengah	2,161	1,955	1,085	1,734	
			ujung	1,902	2,642	2,721	2,422	

Tabel 4.2 Hasil uji nilai kekasaran pada Putaran Spindel 580

No	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	Putaran Spindel (n) rpm	Posisi pengambilan Data Kekasaran	Nilai uji kekasaran			$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )	
				1	2	3	$\overline{Ra}$	$\overline{Ra}$
1	40	580	awal	2,193	0,483	0,899	1,192	1,212
			tengah	1,051	0,539	1,645	1,078	
			ujung	1,314	1,107	1,679	1,367	
2	185		awal	1,039	1,859	1,906	1,601	1,725
			tengah	2,420	2,462	1,477	2,120	
			ujung	1,446	1,509	1,403	1,453	
3	285		awal	1,774	2,721	2,157	2,217	2,056
			tengah	2,082	2,033	1,513	1,876	
			ujung	2,085	1,988	2,147	2,073	

Tabel 4.3 Hasil uji nilai kekasaran pada Putaran Spindel 875

No	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	Putaran Spindel (n) rpm	Posisi pengambilan Data Kekasaran	Nilai uji kekasaran			$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )	
				1	2	3	$\overline{Ra}$	$\overline{Ra}$
1	40	875	awal	1,311	0,921	0,921	1,051	1,083
			tengah	0,920	0,903	1,234	1,019	
			ujung	1,321	1,296	0,918	1,178	
2	185		awal	0,681	1,599	1,256	1,179	1,609
			tengah	1,004	2,078	1,947	1,676	
			ujung	1,643	1,658	2,615	1,972	
3	285		awal	0,902	2,722	2,872	2,165	1,922
			tengah	2,079	1,843	2,284	2,069	
			ujung	1,216	1,361	2,020	1,532	

**BAB V**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**5.1 Pembahasan**

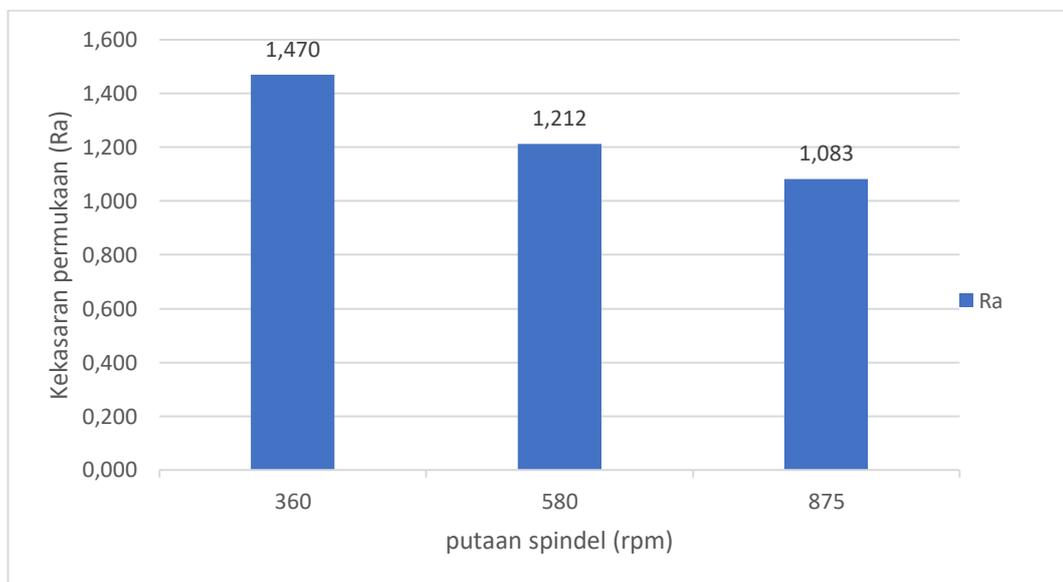
hasil pengujian didapat data hasil kekasaran permukaan yang kemudian di hitung nilai kekasarannya yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.1 Nilai Rata-rata keseluruhan Kekasaran permukaan variasi ( $V_f$ ) dan variasi putaran spindel

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
1	360	40	1,470
2		185	1,889
3		285	2,090
4	580	40	1,212
5		185	1,725
6		285	2,056
7	875	40	1,083
8		185	1,609
9		285	1,922

Tabel 5.2 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan Spindel dan  $V_f$   
40

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
1	360	40	1,470
4	580		1,212
7	875		1,083

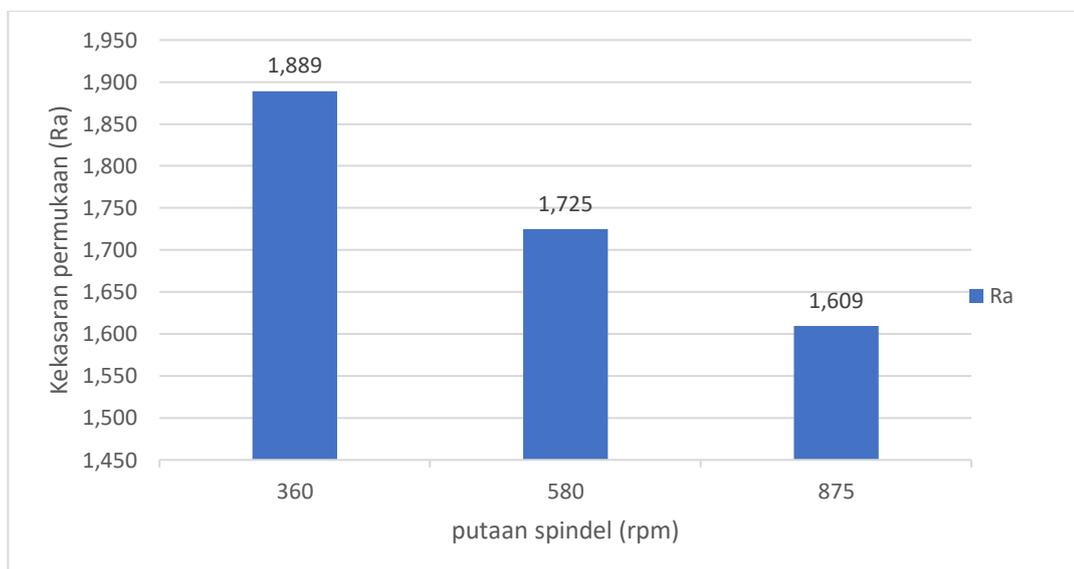


Gambar 5.1 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan Spindel dan  $V_f$  40

Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan (Ra) menurun seiring dengan bertambahnya putaran spindel. Pada putaran 360 rpm, kekasaran permukaan mencapai nilai tertinggi yaitu 1,470  $\mu\text{m}$ . Kemudian pada putaran 580 rpm, nilai Ra menurun menjadi 1,212  $\mu\text{m}$ , dan pada putaran 875 rpm, kekasarannya semakin rendah dengan nilai 1,083  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.3 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan spindel dan Vf 185

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
2	360	185	1,889
5	580		1,725
8	875		1,609

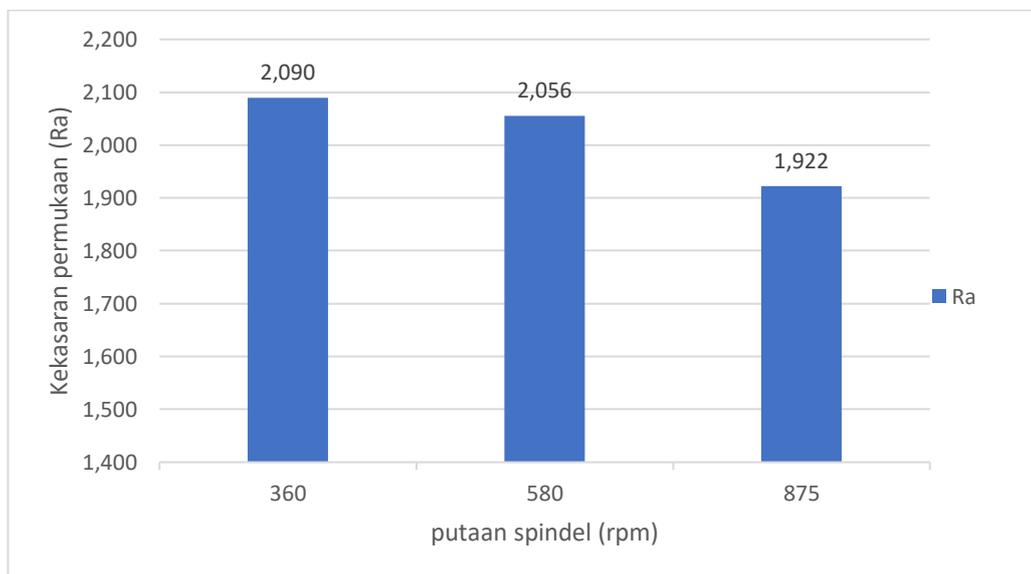


Gambar 5.2 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan spindel dan Vf 185

grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan (Ra) menurun secara bertahap seiring dengan meningkatnya putaran spindel. Pada putaran 360 rpm, Ra berada pada nilai tertinggi yaitu 1,889  $\mu\text{m}$ . Ketika putaran meningkat menjadi 580 rpm, nilai Ra menurun menjadi 1,725  $\mu\text{m}$ , dan pada putaran 875 rpm, kekasaran permukaan turun lebih lanjut menjadi 1,609  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.4 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan sepuindel dan Vf 285

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
3	360	285	2,090
6	580		2,056
9	875		1,922

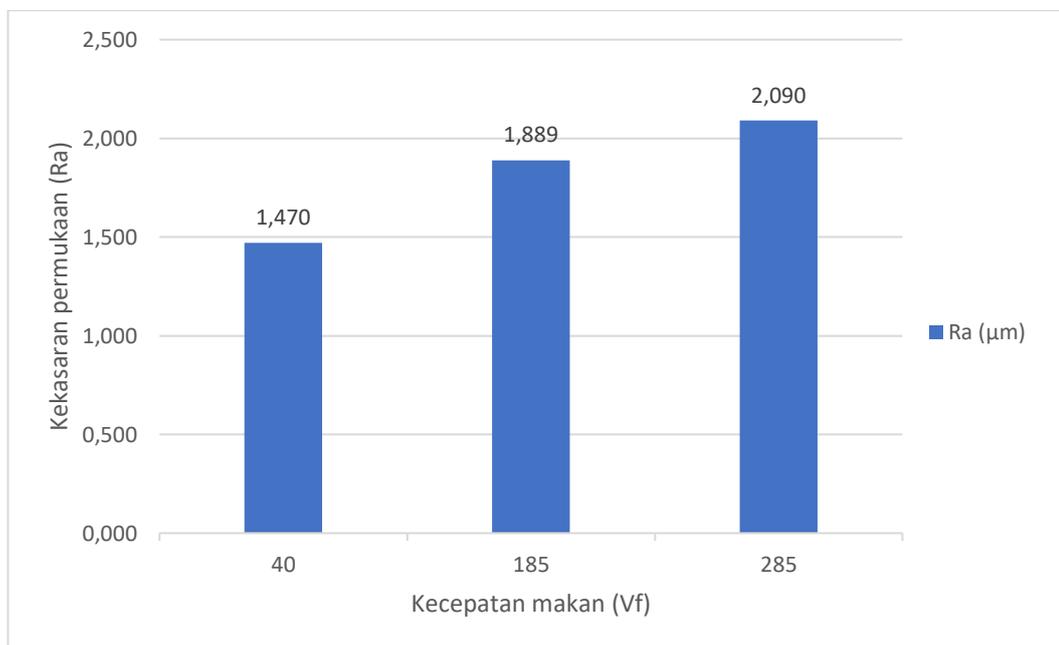


Gambar 5.3 Nilai Rata-rata Kekasaran permukaan dengan Kecepatan sepuindel dan Vf 285

Dari grafik, terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan (Ra) mengalami sedikit penurunan seiring dengan peningkatan putaran spindel. Pada putaran 360 rpm, kekasaran permukaan mencapai nilai tertinggi sebesar 2,090  $\mu\text{m}$ . Saat putaran spindel meningkat menjadi 580 rpm, nilai Ra turun sedikit menjadi 2,056  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya, pada putaran tertinggi yaitu 875 rpm, nilai kekasaran permukaan menurun lebih lanjut menjadi 1,922  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.5 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Kecepatan spindel 360

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
1	360	40	1,470
2	360	185	1,889
3	360	285	2,090

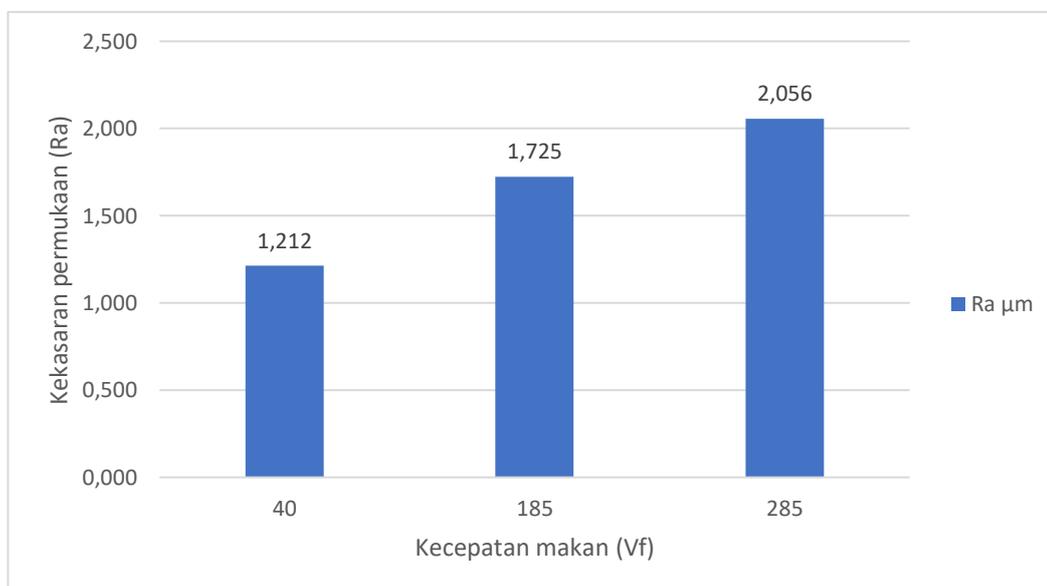


Gambar 5.4 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Kecepatan spindel 360

Berdasarkan grafik, dapat diamati bahwa nilai kekasaran permukaan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan makan. Pada kecepatan makan terendah (40 mm/menit), nilai Ra adalah 1,470  $\mu\text{m}$ . Ketika kecepatan makan meningkat menjadi 185 mm/menit, Ra naik menjadi 1,889  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya, pada  $V_f$  tertinggi yaitu 285 mm/menit, kekasaran permukaan mencapai 2,090  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.6 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Kecepatan spindel 580

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_r$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
4	580	40	1,212
5	580	185	1,725
6	580	285	2,056

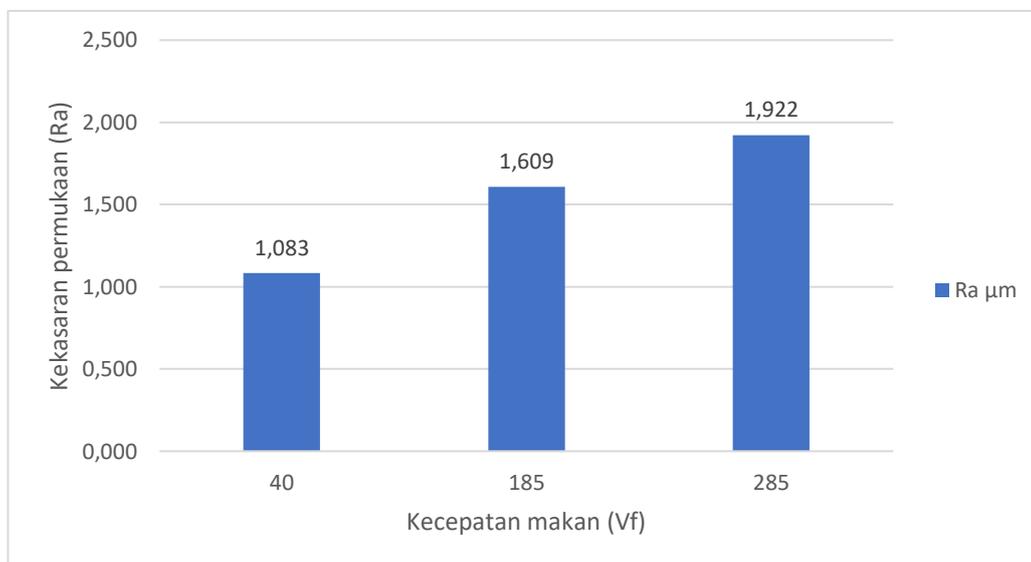


Gambar 5.5 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Kecepatan spindel 580

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kekasaran permukaan meningkat seiring bertambahnya kecepatan makan. Pada kecepatan makan 40 mm/menit, nilai Ra adalah 1,212  $\mu\text{m}$ . Saat kecepatan makan meningkat menjadi 185 mm/menit, nilai Ra naik menjadi 1,725  $\mu\text{m}$ . Pada kecepatan makan tertinggi, yaitu 285 mm/menit, nilai kekasaran mencapai 2,056  $\mu\text{m}$ .

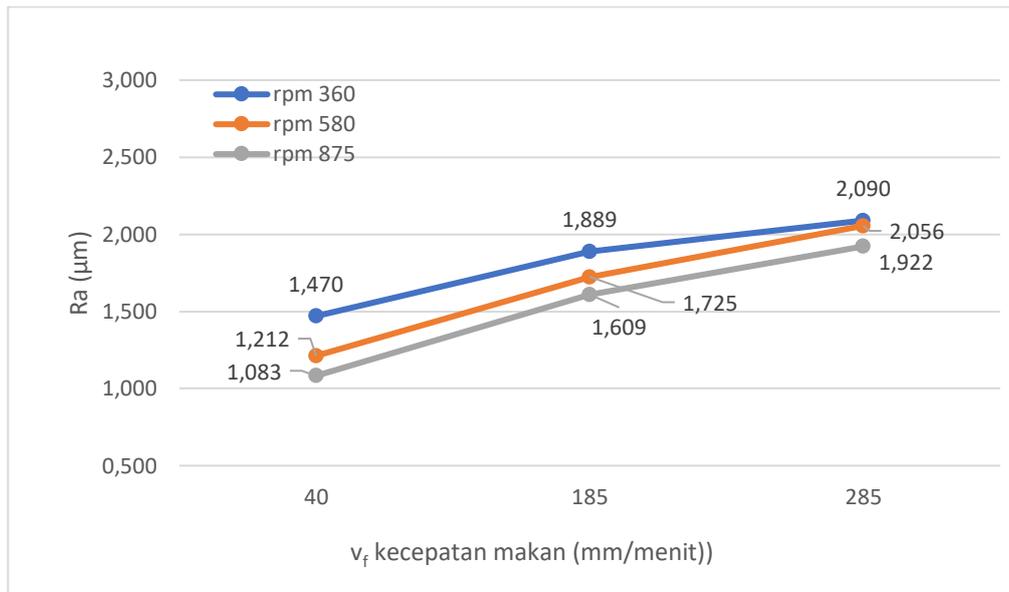
Tabel 5.7 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Kecepatan spindel 875

No	Putaran Spindel (n) rpm	$v_f$ kecepatan makan (mm/menit)	$\overline{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
7	875	40	1,083
8	875	185	1,609
9	875	285	1,922



Gambar 5.6 Nilai Rata-rata Kekasaran pada Rpm 875

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekasaran permukaan meningkat secara bertambahnya kecepatan makan. Pada kecepatan makan 40 mm/menit, Ra terendah tercatat sebesar 1,083  $\mu\text{m}$ . Saat kecepatan makan dinaikkan ke 185 mm/menit, Ra meningkat menjadi 1,609  $\mu\text{m}$ . Kemudian pada kecepatan makan tertinggi, yaitu 285 mm/menit, nilai kekasaran mencapai 1,922  $\mu\text{m}$ .



Gambar 5.7 Nilai Rata-rata keseluruhan Kekasaran permukaan variasi ( $V_f$ ) dan variasi Rpm

Pada Kecepatan spindel 360 rpm, nilai  $R_a$  meningkat dari 1,470  $\mu\text{m}$  pada  $V_f$  40 mm/menit, menjadi 1,889  $\mu\text{m}$  pada  $V_f$  185 mm/menit, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 2,090  $\mu\text{m}$  pada  $V_f$  285 mm/menit. Pada putaran 580 rpm, di mana  $R_a$  bertambah dari 1,212  $\mu\text{m}$  ( $V_f$  40 mm/menit) menjadi 2,056  $\mu\text{m}$  ( $V_f$  285 mm/menit). Pada putaran tertinggi yaitu 875 rpm,  $R_a$  meningkat dari 1,083  $\mu\text{m}$  menjadi 1,922  $\mu\text{m}$ .

pada kecepatan makan yang sama, nilai kekasaran permukaan cenderung menurun dengan bertambahnya putaran spindel. Sebagai contoh, pada  $V_f$  40 mm/menit, nilai  $R_a$  sebesar 1,470  $\mu\text{m}$  (360 rpm), menurun menjadi 1,212  $\mu\text{m}$  (580 rpm), dan menjadi 1,083  $\mu\text{m}$  (875 rpm). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan putaran spindel memberikan efek positif dalam memperhalus permukaan hasil pemesinan.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap pengaruh variasi Kecepatan spindel ( $n$ ) dan kecepatan makan ( $V_f$ ) terhadap kekasaran permukaan ( $R_a$ ) pada proses frais tepi material baja ST 37, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

#### **6.1 Kesimpulan**

1. Peningkatan Kecepatan spindel (rpm) cenderung menurunkan nilai kekasaran permukaan ( $R_a$ ) Hasil ini dapat terjadi karena pada Kecepatan spindel yang lebih tinggi, gaya potong menjadi lebih stabil dan interaksi antara pahat dan benda kerja menjadi lebih halus, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih rata., sedangkan peningkatan kecepatan makan ( $V_f$ ) justru meningkatkan nilai  $R_a$ . Hal ini menunjukkan bahwa kualitas permukaan hasil pemesinan sangat dipengaruhi oleh kombinasi kedua parameter tersebut.
2. Kombinasi parameter pemotongan yang paling optimal untuk menghasilkan permukaan halus pada material baja ST 37 adalah dengan menggunakan Kecepatan spindel tinggi (875 rpm) dan kecepatan makan rendah (40 mm/menit), yang menghasilkan nilai  $R_a$  terendah sebesar 1,083  $\mu\text{m}$ .

#### **6.2 Saran**

1. Untuk menghasilkan kualitas permukaan yang baik pada proses frais, disarankan menggunakan Kecepatan spindel tinggi dan kecepatan makan rendah agar nilai kekasaran permukaan dapat diminimalkan.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengeksplorasi pengaruh variabel lain seperti jenis pahat, dan penggunaan pendingin untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif dalam peningkatan kualitas permukaan pemesinan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansyori, A. (2015). *Kata kunci :Mesin frais, Umur Pahat, Kecepatan Potong dan Gerak makan*. 6, 28–35.
- Chapman, W. A. J., & Wright, J. D. (2006). *Workshop Technology Part 1*. Butterworth-Heinemann.
- Daryanto. (2006). *Mesin perkakas bengkel*. Rineka Cipta.
- Paridawati. (2015). *Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran*. January.
- Wirawan Sumbodo. (2008). Teknik Produksi Mesin Industri. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 2, Issue Mi).
- Chen, W., Tong, Z., Huo, D., Zhong, W., & Jiang, X. (2019). A forward closed-loop virtual simulation system for milling process considering dynamics processing-machine interactions. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5–8), 2317–2328.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-019-04057-7>
- Ivanov, V., Evtuhov, A., Dehtiarov, I., & Trojanowska, J. (2025). Fundamentals of Manufacturing Engineering Using Digital Visualization. *Springer Tracts in Mechanical Engineering, Part F3570*, 1–110. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-74360-3>
- Julisman. (2015). Analisa sifat mekanik permukaan baja st 37 dengan proses pack carburizing menggunakan arang kelapa sawit sebagai media karbon padat. *Material*, 15–29, 6.
- Li, Z., & Shi, Y. (2020). Tool orientation optimization for disk milling process based on torque balance method. *Symmetry*, 12(1).  
<https://doi.org/10.3390/SYM12010060>
- Moy, R. F., & Jafri, M. (2023). Pengaruh Putaran Spindel dalam Membubut Baja Karbon Tinggi Menggunakan Pisau Bubut HSS terhadap Kekasaran Permukaan dan Keutuhan Pisau Bubut. *Traksi*, 23(1), 75–86.

- Pardede, M. L. (2022). Pengaruh Variasi Pemakaian Cairan Pendingin (Coolant) Terhadap Kekasaran Permukaan Besi As Putih St 41 Hasil Pembubutan Silindris Engsel. *Jurnal Persegi Bulat*, 1(2), 17–26.  
<https://doi.org/10.36490/jurnalpersegibulat.v1i2.473>
- Proses, P., Nitriding, P., Perubahan, T., Dan, K., Difusi, L., Pahat, P., High, B., & Steel, S. (2017). *S\_FIS\_1103178\_Chapter1*. 1–4.
- PUTRA, R. O. A. (2021). *Pengaruh Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning Pada Material Kuningan, Alumunium Alloy, Baja Karbon Sedang Terhadap Variasi Putaran Spindle*.  
[http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/95512%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/95512/11/NASKAH\\_PUBLIKASI\\_OK.pdf](http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/95512%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/95512/11/NASKAH_PUBLIKASI_OK.pdf)
- Rochim, T. (2007). *Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Permesinan*. ITB.
- Rozaq, M. M., & Iswanto, I. (2017). Analisa Pengaruh Gerak Makan Dan Putaran Spindel Terhadap Keausan Pahat Pada Proses Bubut Konvensional. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 2(1), 13.  
<https://doi.org/10.21070/r.e.m.v2i1.842>
- Soesanti, A. (2016). the Use of Taguchi-Grey-Fuzzy To Optimize Surface Roughness, Cutting Force and Tool Life in Turning of Skd 11. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November, Tm 092501*.
- Yuda, R. T. (2007). *PERENCANAAN DAN PENGUJIAN ALAT UKUR KEKASARANPERMUKAAN (SURFACE ROUGHNESS TESTER)DENGAN METODE Ra*.

**LAMPIRAN**  
**DOKUMENTASI PEMBUATAN BENDA KERJA**



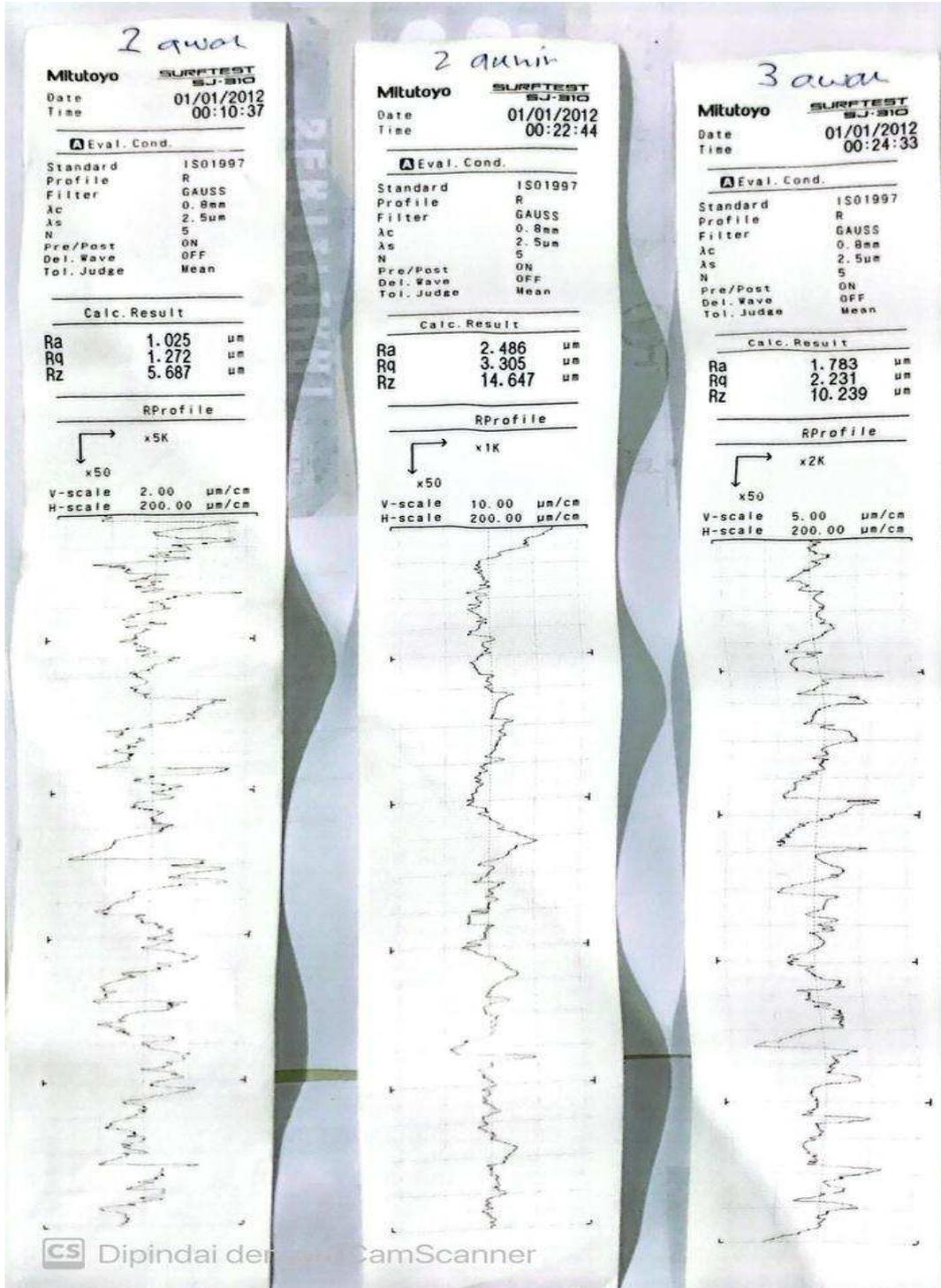




1 Awal

2 Akhir

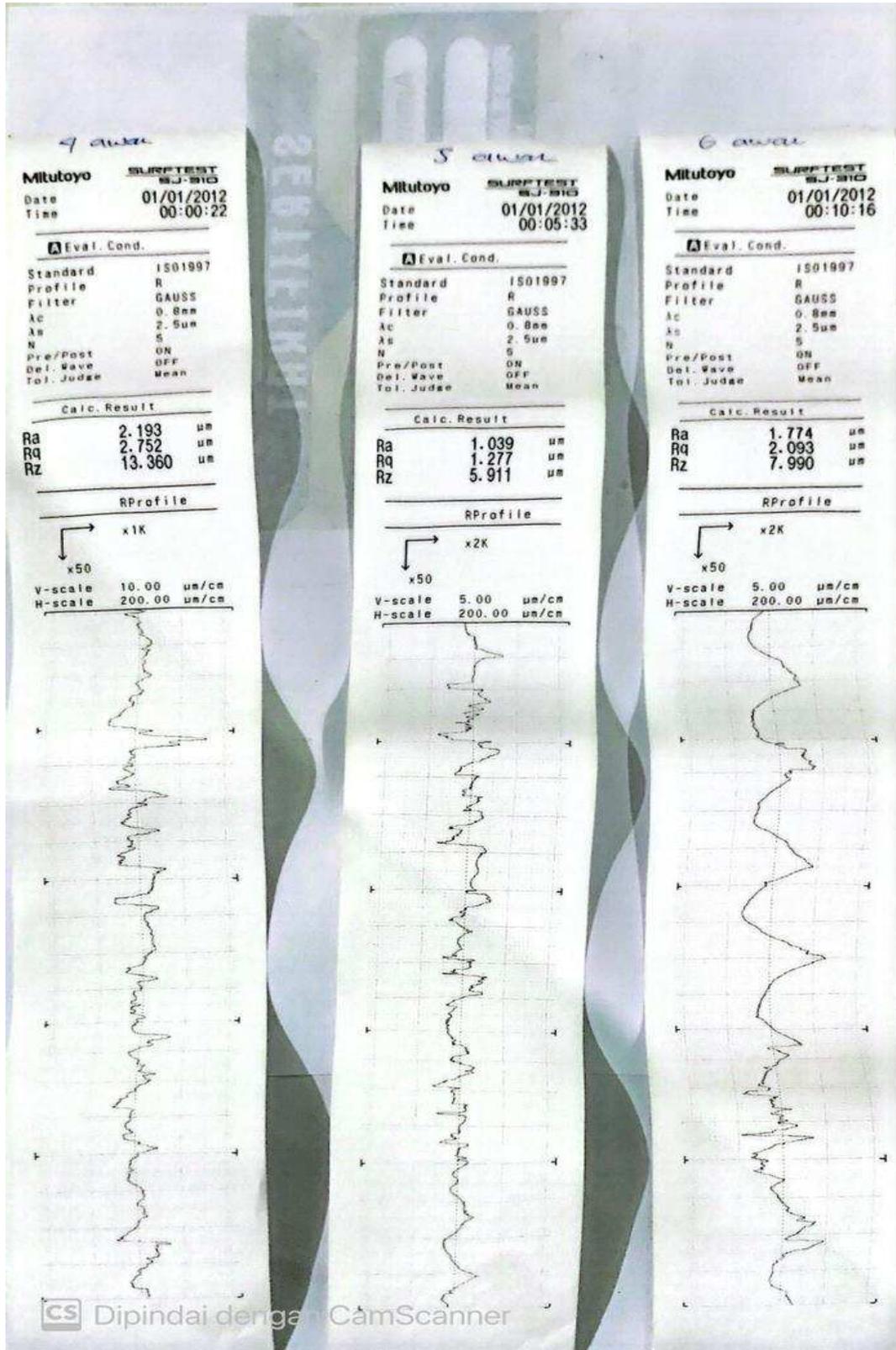
3 Awal



4Awal

2 Awal

5 Awal



7Awal

8Awal

9Awal

