



**OPTIMASI DAN ANALISIS PARAMETER PEMESINAN CNC
MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
ALUMINIUM 7075 PADA KONDISI *WET MACHINING***

SKRIPSI

OLEH:

**SABRINA ANNISABELLA WULANYANUAR
221910101034**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2026**



**OPTIMASI DAN ANALISIS PARAMETER PEMESINAN CNC
MILLING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
ALUMINIUM 7075 PADA KONDISI *WET MACHINING***

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S1 Teknik Mesin.*

SKRIPSI

OLEH:

**SABRINA ANNISABELLA WULANYANUAR
221910101034**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2026**

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, tuhan Yang Maha Esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Skripsi berjudul “Optimasi dan Analisis Parameter Pemesinan CNC *Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075 Pada Kondisi *Wet Machining*” ini penulis persembahkan untuk:

1. Orang tua penulis, Ibu Khotimah, S.Pd. dan Bapak Ponco Susilo Hadiyono yang memberikan kasih sayang, usaha, doa, serta dukungan yang tiada henti. Tidak lupa, kepada Bapak Saryono dan Ibu Sri Makhmulah yang sudah selalu memberikan dukungan penuh;
2. Saudara – saudara penulis, Kak Febby Lidya Zanuba, S.Tr.Kes., dan M. Ridho Akbar Ar- rafi yang selalu mendukung serta memberi masukan. Tidak lupa Proki, kucing hitam yang telah menjadi bagian keluarga;
3. M24 atau Teknik Mesin UNEJ angkatan 2022, yang sudah menjadi rumah penulis di Teknik Mesin Universitas Jember selama 4 tahun terakhir yang nama – nama didalamnya tidak bisa disebutkan satu – persatu.

MOTTO

“Dream, money, power”

Bella, M24

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal itu baik bagimu dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu buruk bagimu. Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui”

Q.S Al – Baqarah:216

“Memento Vivere”

Alm. Alfath Inzan Abdi Ahmadan, M24

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Sabrina Annisabella Wulannyanuar

NIM: 221910101034

Menyatakan dengan sesungguhnya - sungguh bahwa karya ilmiah yang berjudul “Optimasi dan Analisis Parameter Pemesinan CNC *Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075 Pada Kondisi *Wet Machining*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah penulis sebutkan sumbernya, belum diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya plagiat. Penulis bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Februari 2026

Yang Menyatakan,

Sabrina Annisabella Wulanyanuar

NIM. 221910101034

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Optimasi dan Analisis Parameter Pemesinan CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075 Pada Kondisi Wet Machining* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari :

Tanggal :

Tempat :

Pembimbing

Tanda Tangan

Nama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T. (.....)

NIP : 196701231997021001

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir.M Fahrur Rozy Hentihu S.T., M.T., Ph.D. (.....)

NIP : 198003072012121003

2. Penguji Anggota

Nama : Ir.Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T. (.....)

NIP : 196812071995121002

ABSTRACT

Surface roughness is an important indicator of machining quality, particularly for Aluminum 7075, which is widely used in precision industries such as aerospace. Surface quality that meets standards is required to support the coating process in order to achieve optimal adhesion and durability. Roughness values are influenced by CNC milling parameters, especially spindle speed, feed rate, depth of cut, and the use of cutting fluid. This study aims to analyze the effect of variations in these parameters on the surface roughness of Aluminum 7075 under wet machining conditions and to determine the optimal parameter combination for surface roughness used in coating processes. The method employed is Design of Experiment (DoE) with a three-factor, three-level full factorial design, analyzed using ANOVA, linear regression, and a response optimizer. The results show that surface roughness ranges from 0.13 to 0.425 μm . Statistically, no parameter has a significant effect at the 95% confidence level; however, feed rate is the most dominant factor. Theoretically, increasing feed rate and depth of cut tends to increase roughness due to higher cutting forces, vibration, and tool marks, while higher spindle speeds produce smoother surfaces. Parameter interactions are not significant within the research range. The optimal combination is obtained at a spindle speed of 2000 rpm, feed rate of 0.08 mm/tooth, and depth of cut of 0.40 mm, resulting in a roughness of 0.3106 μm . This study can serve as a reference for determining CNC milling parameters of Aluminum 7075 to achieve optimal surface quality for coating processes.

Keyword: Aluminium 7075, Surface Roughness, Respon Optimizer.

RINGKASAN

Kekasaran permukaan merupakan indikator penting untuk menghasilkan kualitas hasil pemesinan, khususnya pada aluminium 7075 yang banyak digunakan pada industri presisi seperti kedirgantaraan. Kualitas permukaan yang sesuai standar diperlukan untuk mendukung proses pelapisan (*coating*) agar memiliki adhesi dan ketahanan optimal. Nilai kekasaran dipengaruhi oleh parameter CNC *milling*, terutama putaran *spindle*, gerak makan (*feed rate*), kedalaman potong (*depth of cut*), serta penggunaan *cutting fluid*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi parameter tersebut terhadap kekasaran permukaan aluminium 7075 pada kondisi *wet machining* serta menentukan kombinasi parameter optimal terhadap kekasaran permukaan yang digunakan untuk proses *coating*. Metode yang digunakan adalah *Design of Experiment* (DoE) dengan rancangan *full factorial* tiga faktor tiga level, dianalisis menggunakan ANOVA, *regresi linear*, dan *response optimizer*. Hasil penelitian menunjukkan kekasaran permukaan berada pada rentang 0,13 – 0,425 μm . Secara statistik tidak terdapat parameter yang berpengaruh signifikan pada tingkat kepercayaan 95%, namun gerak makan merupakan faktor paling dominan. Secara teoritis, peningkatan gerak makan dan kedalaman potong cenderung meningkatkan kekasaran akibat kenaikan gaya potong, getaran, dan jejak pahat, sedangkan putaran *spindle* yang lebih tinggi menghasilkan permukaan lebih halus. Interaksi parameter tidak signifikan dalam rentang penelitian. Kombinasi optimal diperoleh pada putaran *spindle* 2000 rpm, gerak makan 0,08 mm/tooth, dan kedalaman potong 0,40 mm dengan kekasaran 0,3106 μm . Penelitian ini dapat menjadi acuan penentuan parameter CNC *milling* aluminium 7075 untuk memperoleh kualitas permukaan optimal pada proses pelapisan.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi dan Analisis Parameter Pemesinan CNC *Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075 Pada Kondisi *Wet Machining*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis skripsi ini tidak akan berhasil tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih pada:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu;
2. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah berkenan membantu dan membimbing dalam penelitian skripsi ini;
3. Bapak Ir. M. Fahrur Rozy Hentihu, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Ir. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., yang berkenan memberikan kritik dan saran pada skripsi ini;
4. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc. dan Bapak Ir. Dwi Djumharyanto, M.T. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan saran akademik;
5. Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Richi Ilham Saryono dan Bagus Aldi Saryono yang sudah banyak mengajarkan saya dalam proses pengambilan data – data skripsi;
8. PT. Surya Gemilang Buana yang memberikan fasilitas untuk melakukan penelitian;
9. Sidqi Aqdam Himaya, sebagai teman, sahabat, sekaligus *partner* penulis dalam berbagai hal sejak menjadi mahasiswa baru. Yang sudah menemani dalam segala proses perkuliahan hingga skripsi ini selesai, yang

memberikan pengalaman manis dan pahit. Terimakasih sudah menjadi bagian dari perjalanan ini;

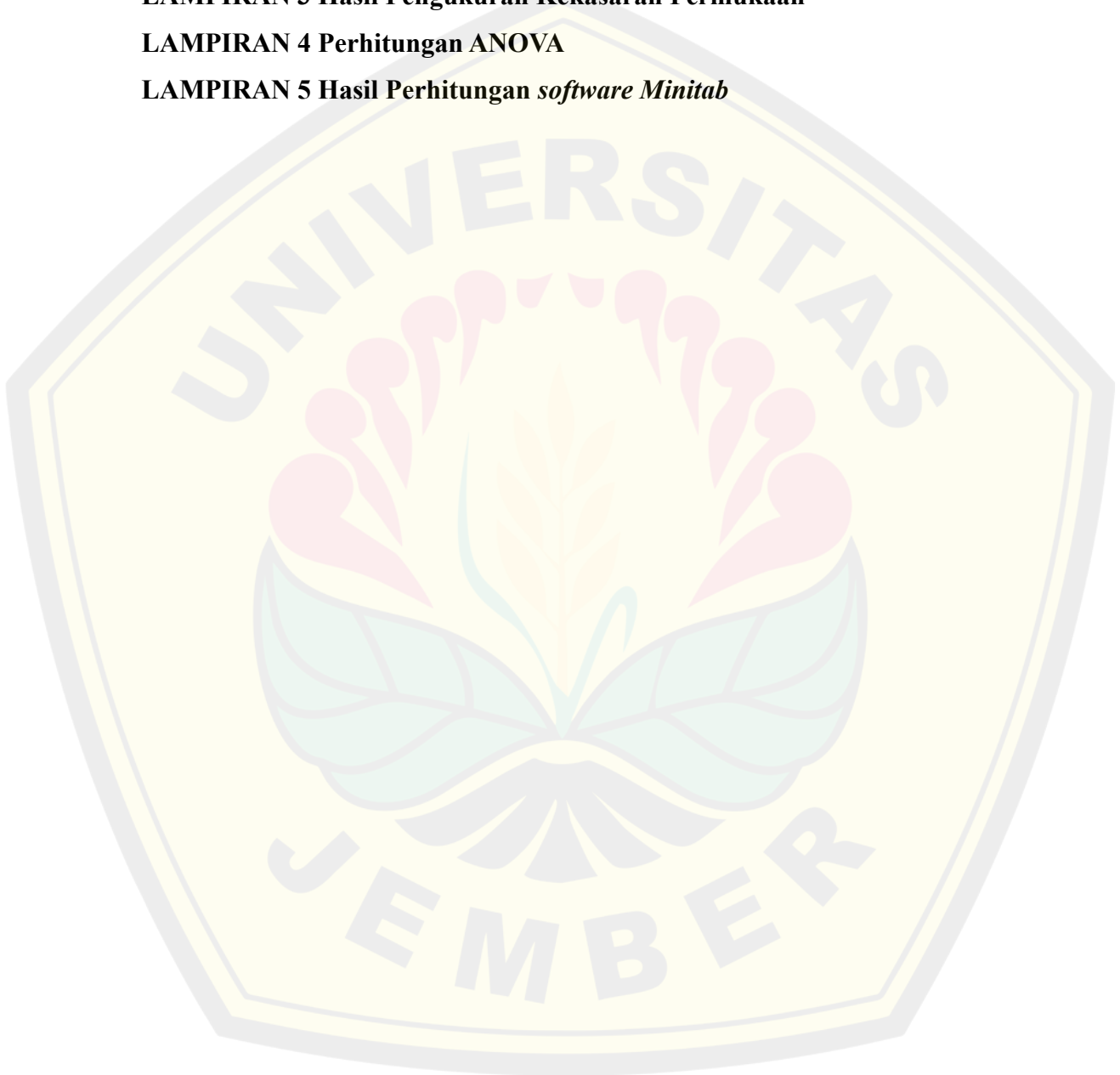
10. Shafara Yuni Nurlita, satu – satunya sahabat penulis yang selalu memberikan dukungan, masukan, dan selalu menemani penulis di masa – masa perkuliahan. Terimakasih sudah selalu kuat untuk menjalani hari – hari berat di kota Jember;
11. Afwan Dzirori Putra Adam dan M. Zaky Rizqullah Nurosidi, yang menemani penulis di masa – masa sulit dimanapun dan kapanpun, yang selalu menjadi yang terdepan ketika penulis membutuhkan bantuan;
12. Kak Fernanda Savero, S.T., selaku bapak PROAKSI yang memberikan banyak hal – hal yang tidak bisa didapatkan dalam bangku perkuliahan;
13. Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM), yang sudah mewadahi penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik;
14. Alm. Alfath Inzan Abdi Ahmadan, yang sudah berpulang dahulu tanpa sempat menikmati masa – masa perkuliahan ataupun melihat pemandangan Kawah Ijen. Terimakasih Pim, telah memberikan pelajaran tak terlupakan dalam hidup ini;
15. Teman – teman di Teknik Mesin, *Topdog*, Sekjen Daffa, Dimas, Ubed, Azriel, teman – teman BPH, teman – teman *marketing* AMU, Kakak – kakak M19 sampai M23, serta adik – adik M25 dan M26 yang namanya tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih banyak telah menjadi bagian dari perjalanan ini;
16. Vina, Auliana, Shahnaz, Fauzan, Faris, dan Novia, teman – teman SMA penulis yang senantiasa mendukung untuk bertahan di Teknik Mesin;
17. Yudha, Vani, Marsha, Dinda, dan Silvana, teman – teman SMP penulis yang sampai sekarang masih selalu memberikan banyak dukungan;
18. Sabrina Annisabella Wulanyanuar, yang tidak pernah menyerah, konsisten, dan selalu menikmati masa – masa penyusunan skripsi ini hingga selesai;
19. Terakhir, kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan selama pengerjaan skripsi yang tidak bisa disebutkan satu – persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN ORISINILITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN.....	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Landing Gear</i>	5
2.2 <i>Proses Milling</i>	7
2.2.1 Mesin CNC	7
2.2.2 Parameter CNC Milling	8
2.2.3 Penelitian Terdahulu.....	9
2.3 Kekasaran Permukaan.....	10
2.3.1 R_a (<i>Arithmetical Mean Roughness</i>)	11
2.3.2 R_z (<i>Mean Peak-to-Valley Heigh</i>).....	11
2.3.3 R_t (<i>Total Height of the Profile</i>)	11
2.3.4 R_q (<i>RMS</i>)-Root Mean Square Roughness	12
2.4 Metode <i>Design of Experiment</i> (DoE).....	12

2.4.1 <i>Full Factorial Design</i>	13
2.4.2 Interaksi Antar Faktor.....	13
2.5 ANOVA (Analysis of Variance)	14
2.6 Hipotesis	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Metode Penelitian.....	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.3 Alat dan Bahan	16
3.3.1 Alat.....	16
3.3.2 Bahan.....	17
3.4 Variabel Penelitian.....	18
3.5 Rancangan Data Penelitian.....	19
3.6 Diagram Alir Penelitian	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Data Hasil Uji Kekasaran Permukaan	22
4.2 Pengujian Asumsi Statistik	23
4.2.1 Uji Normalitas (<i>Normal Probability Plot</i>)	23
4.2.2 Uji Homogenitas Varians (Versus Fits)	23
4.2.3 Distribusi Sisaan (Histogram)	24
4.2.4 Uji Independensi (<i>Versus Order</i>).....	24
4.3 Analisis Varians (ANOVA).....	25
4.3.1 Penentuan Signifikansi (Analisis p - value).....	25
4.3.2 <i>Model Summary</i> (Kekuatan Model).....	27
4.4 Analisis Grafik <i>Design of Experiment</i>	29
4.5 Model Regresi Linear	31
4.6 Optimasi Parameter	32
4.6.1 Hasil <i>Response Optimizer</i>	32
4.6.2 Analisis Rentang Prediksi	33
4.6.3 Pemilihan Parameter	33
4.7 Validasi Model	33
BAB 5 PENUTUP	35

5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN 1 Proses Pemesinan	
LAMPIRAN 2 Proses Pengukuran Kekasaran Permukaan	
LAMPIRAN 3 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan	
LAMPIRAN 4 Perhitungan ANOVA	
LAMPIRAN 5 Hasil Perhitungan <i>software Minitab</i>	

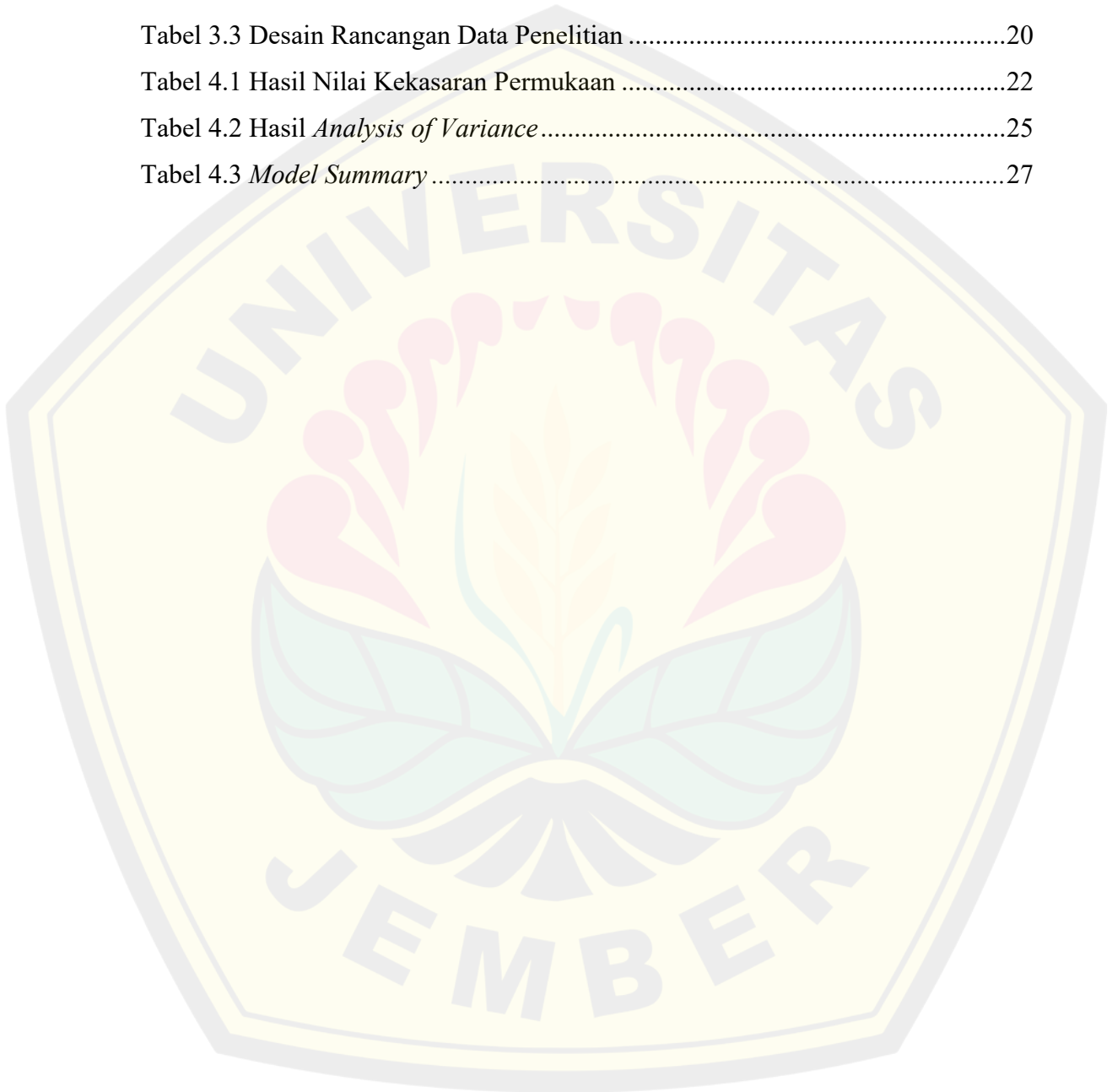


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Komponen <i>Landing Gear</i> , (b) <i>Side Stay Arms</i>	6
Gambar 2.2 Proses Fabrikasi <i>Side Stay Arms</i>	6
Gambar 2.3 CNC <i>Milling</i> Mori Seiki NVX5060	8
Gambar 2.4 Profil Kekasaran Permukaan	11
Gambar 3.1 <i>Surface Roughness Tester</i>	17
Gambar 3.2 Skema Pemesinan.....	18
Gambar 3.3 <i>Endmill Carbide</i> $\varnothing 10$ mm	18
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1 <i>Normal Probability Plot</i>	23
Gambar 4.2 <i>Versus Fits</i>	24
Gambar 4.3 <i>Histogram</i>	24
Gambar 4.4 <i>Versus Order</i>	25
Gambar 4.5 <i>Pareto Chart of the Standardized Effects</i>	28
Gambar 4.6 <i>Main Effects Plot for Surface Roughness</i>	30
Gambar 4.7 <i>Main Effects Plot for Surface Roughness</i>	31
Gambar 4.8 <i>Response Optimizer</i>	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Spesifikasi CNC <i>milling</i> Mori Seiki NVX5060.....	17
Tabel 3.2 Tabel variabel bebas.....	19
Tabel 3.3 Desain Rancangan Data Penelitian	20
Tabel 4.1 Hasil Nilai Kekasaran Permukaan	22
Tabel 4.2 Hasil <i>Analysis of Variance</i>	25
Tabel 4.3 <i>Model Summary</i>	27



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, kemajuan di bidang industri telah menghadirkan berbagai inovasi signifikan dalam proses produksi pada era industri modern. Penggunaan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) menjadi solusi untuk meningkatkan efektivitas proses produksi di sektor industri. Jika dibandingkan dengan mesin konvensional yang masih menggunakan sistem manual, mesin CNC lebih unggul karena sistem kerjanya yang berbasis perintah komputer mampu menghasilkan produk secara efisien dalam skala produksi massal (Firdaus & Susanti., 2021).

Dalam mendukung efektivitas proses pemesinan CNC, pemilihan material kerja menjadi faktor krusial karena sangat mempengaruhi mutu dan ketahanan produk akhir. Salah satu material yang banyak diaplikasikan adalah aluminium 7075, yaitu paduan logam dengan kekuatan tarik tinggi, ketahanan terhadap beban *fatigue* yang baik, serta bobot ringan. Karakteristik ini menjadikan aluminium 7075 banyak digunakan di sektor manufaktur, khususnya pada bidang kedirgantaraan dan militer (Anwar et al., 2015).

Material seperti aluminium 7075 yang sering digunakan dalam lingkungan berat umumnya memerlukan perlakuan pelapisan (*coating*) untuk meminimalisir risiko korosi yang dapat menurunkan umur pakai (Yasin et al., 2023). Agar proses pelapisan efektif dan adhesi pelapis kuat, kondisi permukaan material terutama kekasaran permukaan harus memenuhi standar tertentu. Kekasaran permukaan yang sesuai standar akan mendukung daya lekat lapisan dan memperpanjang umur pakai material. Kondisi kekasaran permukaan ini sangat dipengaruhi oleh parameter proses pemesinan CNC, seperti putaran *spindle*, gerak makan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*).

Jayakumar et al., (2023) melakukan studi eksperimental mengenai pengaruh putaran *spindle*, gerak makan, dan kedalaman potong pada proses *end milling*

aluminium 7075 menggunakan *end mill* karbida padat. Hasil menunjukkan bahwa nilai kerataan permukaan meningkat dari $0,65\ \mu\text{m}$ hingga $2,05\ \mu\text{m}$ seiring dengan peningkatan gerak makan dan kedalaman potong, serta penurunan putaran *spindle*, sedangkan kenaikan suhu berkisar antara $30,6^{\circ}\text{C}$ hingga $36,2^{\circ}\text{C}$ ketika semua parameter input ditingkatkan. Selain itu, Mahendra et al., (2023) meneliti kekasaran permukaan aluminium 7075 dengan fokus pada tiga parameter utama yaitu putaran *spindle*, kedalaman potong, dan kecepatan potong menggunakan metode Taguchi. Eksperimennya menunjukkan bahwa putaran *spindle* berkontribusi paling besar terhadap kekasaran permukaan (55,62%), diikuti kedalaman potong (27,39%) dan kecepatan potong (13,01%).

Penelitian – penelitian sebelumnya belum membahas mengenai pengaruh parameter pemesinan CNC *milling* terhadap kekasaran permukaan aluminium 7075 yang akan digunakan untuk proses pelapisan (*coating*). Padahal, kondisi kekasaran permukaan yang dihasilkan dari kombinasi parameter seperti putaran *spindle*, gerak makan, kedalaman potong, serta penggunaan *cutting fluid* sangat menentukan kualitas adhesi lapisan pada tahap *coating*. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji secara sistematis pengaruh parameter pemesinan CNC *milling* yang meliputi putaran *spindle*, gerak makan, dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan aluminium 7075 sebagai persiapan proses *coating*.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu meningkatkan kualitas permukaan dan daya lekat/adhesi *coating*, sehingga mendukung performa dan umur pakai material pada aplikasi industri presisi tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dituliskan rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi putaran *spindle* terhadap kekasaran pada aluminium 7075?
2. Bagaimana pengaruh variasi kedalaman potong (*depth of cut*) terhadap kekasaran pada aluminium 7075?

3. Bagaimana pengaruh variasi gerak makan (*feed rate*) terhadap kekasaran pada aluminium 7075?
4. Adakah pengaruh interaksi antar variabel terhadap kekasaran permukaan pada aluminium 7075?
5. Menentukan parameter pemesinan optimal untuk memperoleh kekasaran permukaan yang sesuai sebelum proses *coating*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi putaran *spindle*, kedalaman potong (*depth of cut*), gerak makan (*feed rate*) pada proses pemesinan CNC *milling* dalam kondisi *wet machining* terhadap kekasaran permukaan aluminium 7075, serta memastikan kombinasi parameter yang optimal untuk menghasilkan kekasaran permukaan aluminium 7075 yang sesuai sebelum dilakukan proses *coating*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah menentukan kombinasi parameter yang optimal dalam menghasilkan kekasaran permukaan aluminium 7075 yang sesuai standar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi industri manufaktur, khususnya pada sektor kedirgantaraan dan militer yang menuntut kualitas adhesi pelapisan material yang unggul, juga sebagai acuan untuk industri terkait apabila mencari optimasi parameter *milling* dari aluminium 7075. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah bagi studi – studi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak mencakup kajian terhadap proses pelapisan (*coating*) maupun pengujian laju korosi pada spesimen.
2. Penelitian ini tidak membahas mengenai masalah hubungan dengan biaya – biaya dalam penerapan mesin CNC *milling*.

3. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan mengenai proses atau aspek pemrograman pada mesin CNC yang digunakan.
4. Penelitian ini tidak mencakup proses perancangan maupun pembuatan produk. Analisis dilakukan berdasarkan data sekunder dan artikel ilmiah.

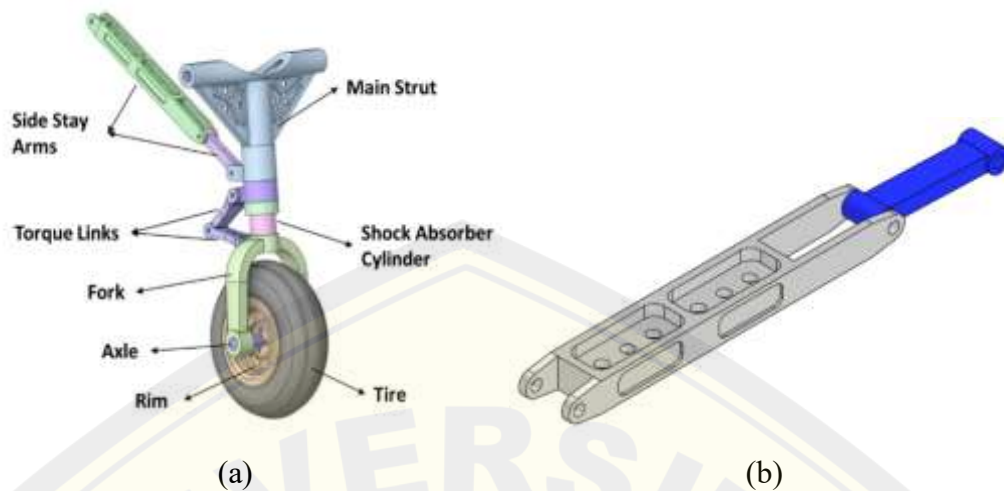


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Landing Gear*

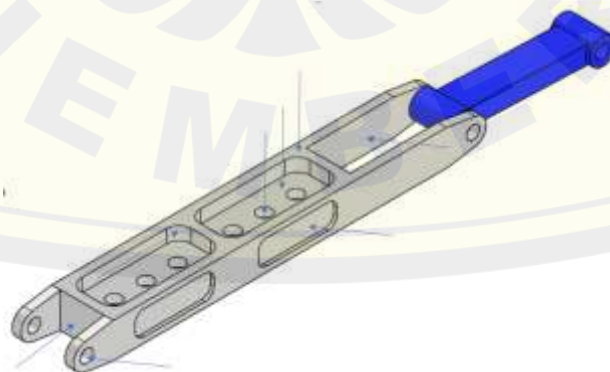
Landing gear merupakan salah satu komponen penyusun pesawat yang memiliki sistem cukup kompleks dan berperan penting dalam keselamatan operasi pesawat. Fungsi yang paling mendasar dari *landing gear* adalah meredam gaya reaksi yang diterima pesawat selama proses pendaratan dan lepas landas. Menurut Kabade & Lingannavar, (2013) komponen *landing gear* menerima berbagai jenis beban selama proses operasi, khususnya saat pendaratan, yang meliputi beban vertikal (*normal force*) yang diakibatkan berat dan dampak pendaratan, beban longitudinal (*drag force*) akibat pengereman, serta berat lateral (*side force*) yang timbul selama *taxiing* dan manuver di darat. Beban – beban tersebut bekerja secara simultan dan ditransmisikan ke berbagai komponen struktural *Nose Landing Gear* (NLG), termasuk *side stay arms*.

Side stay arms merupakan komponen struktural yang berfungsi sebagai elemen penopang dan penstabil lateral pada sistem *nose landing gear*. Komponen ini berperan menahan gaya samping serta gaya aksial yang timbul terutama pada kondisi *taxi* dengan pengereman. Melalui analisis *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan ANSYS *Workbench*, Aydın & Özkol, (2022) mengevaluasi respons tegangan dan deformasi *side stay arms* dengan variasi material Aluminium 7075-T6, Titanium T1-6Al-4V, dan AISI 1035. Hasil analisis menunjukkan bahwa material AISI 1035 menghasilkan deformasi paling rendah, sedangkan Aluminium 7075-T6 memiliki massa paling ringan namun *margin of safety* yang lebih kecil, sehingga pemilihan material *side stay arms* harus mempertimbangkan keseimbangan antara berat, deformasi, dan faktor keamanan struktur. Komponen penyusun *landing gear* ditunjukkan pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 (a) Komponen *Landing Gear*, (b) *Side Stay Arms*
(Sumber: Aydın & Özkol, (2022))

Selain pemilihan material, proses fabrikasi *side stay arms* menjadi aspek yang krusial karena memengaruhi kualitas permukaan akhir yang dihasilkan. Sebagaimana di ditampilkan pada gambar 2.1 bahwa *landing gear*, khususnya *side stay arms* yang memiliki geometri yang kompleks dan menuntut presisi tinggi, sehingga proses pemesinan menggunakan mesin frais konvensional tidak mampu menghasilkan akurasi dimensi dan kekasaran permukaan yang konsisten, sehingga diperlukan mesin CNC untuk memenuhi tuntutan akurasi dimensi sehingga menghasilkan produk akhir yang sesuai kebutuhan. Gambar 2.2 merupakan gambar yang menunjukkan bagian yang akan dilakukan proses *milling* pada *side stay arms*.



Gambar 2.2 Proses Fabrikasi *Side Stay Arms*

2.2 Proses *Milling*

2.2.1 Mesin CNC

Mesin CNC merupakan mesin perkakas yang dikendalikan oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik. Sistem kontrol ini membuat mesin CNC memiliki tingkat ketelitian, ketepatan, fleksibilitas, serta kapasitas produksi yang lebih unggul dibandingkan dengan mesin konvensional (Sunyapa, 2016). Menurut Schmid (2014), *milling* merupakan proses pemesinan di mana gerak potong dilakukan oleh pahat yang berputar, sedangkan benda kerja bergerak secara translasi. Dalam praktiknya terdapat dua metode utama pada proses *milling*, yaitu *conventional milling (up milling)* dan *climb milling (down milling)*.

Pada *conventional milling (up milling)*, arah gerak makan (*feed*) berlawanan dengan arah putar pahat sehingga relatif aman dan umum digunakan, namun berpotensi menimbulkan gesekan dan getaran apabila pahat aus. Sebaliknya, pada *climb milling* pemotongan dimulai dengan ketebalan geram terbesar sehingga gaya potong menekan benda kerja ke bawah dan meningkatkan stabilitas, meskipun metode ini kurang sesuai untuk permukaan benda kerja yang memiliki lapisan oksida atau kerak (Schmid, 2014).

Gambar 2.3 menunjukkan mesin CNC *Milling* Mori Seiki NVX5060 yang merupakan jenis *Vertical Machining Center (VMC)* 3 – axis. Kombinasi desain *bed* yang kokoh dan *roller guide* lebar membuat mesin dapat meminimalkan getaran (*chatter*) yang mudah muncul pada aluminium seri 7000 yang cenderung memunculkan *Built – Up Edge (BUE)*. Selain itu mesin ini memiliki fitur *thermal displacement management* yang membantu kestabilan suhu *spindle*, hal ini membantu mengoptimalkan cairan pendingin yang digunakan.



Gambar 2.3 CNC Milling Mori Seiki NVX5060

2.2.2 Parameter CNC Milling

Dalam konteks pemesinan logam, proses *milling* menjadi salah satu metode penting karena mampu menghasilkan bentuk yang kompleks dengan kualitas permukaan yang baik. Parameter utama yang memengaruhi proses ini adalah putaran *spindle*, gerak makan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*). Berikut merupakan beberapa parameter pemesinan CNC *milling* yang umum dibahas:

1. Kecepatan Potong (*Cutting Speed, v_c*)

Kecepatan potong adalah kecepatan linear antara pahat dan benda kerja pada titik kontak pemotongan yang menentukan nilai laju panas dan keausan pahat. Kecepatan potong dinyatakan dalam satuan meter per menit (*mm/m*).

2. putaran *Spindle* (*Spindle Speed, n*)

Putaran *spindle* adalah jumlah putaran pahat per menit (rpm). Hal berhubungan langsung dengan *cutting speed* dan diameter pahat, semakin besar diameter pahat maka semakin rendah pula putaran yang dibutuhkan untuk mencapai *cutting speed* tertentu.

3. Gerak makan (*Feed rate, f*)

Gerak makan menunjukkan jarak yang ditempuh pahat relatif terhadap benda dalam satuan mm/min atau $mm/tooth$. Nilai *feed rate* dipengaruhi oleh jumlah gigi pahat, putaran *spindle*, dan material benda kerja.

4. Kedalaman Potong (*Depth of cut, a_p*)

Kedalaman potong merupakan salah satu parameter dalam pemesinan yang menunjukkan seberapa dalam pahat masuk ke dalam benda kerja untuk menghilangkan material pada setiap lintasan pemotongan. Besarnya kedalaman potong secara langsung mempengaruhi gaya potong serta lanjut pembuangan material (*Removal rate/MRR*).

Parameter – parameter pemotongan dalam *milling* tidak hanya memengaruhi gaya potong dan umur pahat, tetapi juga menentukan kualitas permukaan hasil pemesinan. Pada material dengan sifat plastis tinggi seperti aluminium 7075, proses *milling* sering menghadapi tantangan berupa kecenderungan terbentuknya BUE. Oleh karena itu, pemilihan parameter pemotongan yang tepat serta penerapan teknologi pelumas dan pendinginan yang sesuai menjadi kunci untuk menghasilkan permukaan yang presisi dan bebas dari cacat.

2.2.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Nama dan Tahun Penelitian	Parameter	Hasil	Pembahasan
(Jayakumar et al., 2023)	n (<i>rpm</i>) = 600, 900, 1200 f (<i>mm/rev</i>) = 50, 80, 110 a_p (<i>mm</i>) = 0,3; 0,6; 0,8	$n = 600$ <i>rpm</i> $f = 50$ <i>mm/rev</i> $a_p = 0,53$ <i>mm</i> $R_a = 0,556$ μm . $T = 30,60^\circ C$	Putaran <i>spindle</i> rendah, Gerak makan tinggi, dan kedalaman potong tinggi akan menaikkan angka kekasaran permukaan.

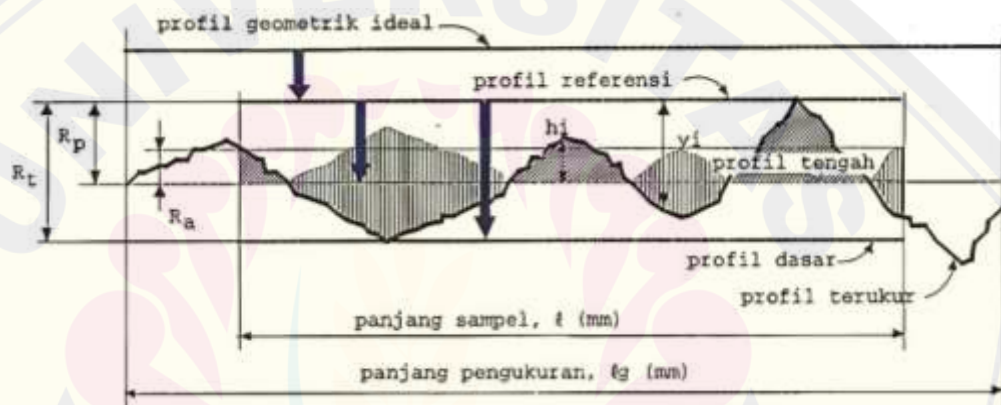
(Mahendra et al., 2023)	$n \text{ (rpm)} = 3184, 3450, 3715$ $a_p \text{ (mm)} = 0,2; 0,4; 0,6$ $V_c \text{ (mm/min)} = 120, 130, 140$	$n = 3184 \text{ rpm}$ $a_p = 0,2 \text{ mm}$ $V_c = 120 \text{ mm/min}$ $R_a = 0,239 \mu\text{m}$	-
(Kosarac et al., 2020)	$V_c \text{ (m/min)} = 100, 150, 200$ $f \text{ (mm/min)} = 0,05; 0,1; 0,15$ $a_p \text{ (mm)} = 0,25; 0,5; 0,75$ Cooling & Lubricant = Emulsion, udara, dry cutting	$V_c = 100 \text{ m/min}$ $f = 0,05 \text{ mm/min}$ $a_p = 0,25 \text{ mm}$ Cooling = udara $R_a = 0,138 \mu\text{m}$	-
(Anwar et al., 2015)	$n \text{ (rpm)} = 4200, 4600, 5000$ $f \text{ (mm/rev)} = 900, 950, 1000$ $a_p \text{ (mm)} = 0,10; 0,15; 0,25$	$n = 5000 \text{ rpm}$ $f = 1250 \text{ mm/rev}$ $a_p = 0,28 \text{ mm}$ $R_a = 0,364 \mu\text{m}$	Putaran <i>spindle</i> tinggi dan gerak makan rendah menghasilkan R_a lebih rendah meskipun kedalaman potong ditingkatkan.

2.3 Kekasaran Permukaan

Salah satu indikator geometri yang baik pada komponen adalah tingkat kualitas permukaan. Dibandingkan proses pembentukan lain, pemesinan lebih unggul karena dapat memberikan hasil produk yang presisi baik dari segi ukuran maupun kualitas permukaannya (Anshori et al., 2018).

Kekasaran permukaan merupakan salah satu bentuk penyimpangan yang muncul akibat kondisi pemotongan dalam proses pemesinan. Faktor ini sangat menentukan kualitas spesimen yang dihasilkan. Tingkat kualitas permukaan memiliki peran penting dalam perancangan komponen mesin, terutama pada bagian

yang berhubungan dengan gesekan, pelumas, keausan, serta ketahanan terhadap kelelahan material. Pengukuran kekaasaran dilakukan untuk menilai kualitas hasil permukaan benda kerja setelah melalui proses pemesinan, di mana tekstur yang terbentuk berasal dari pola sayatan berulang maupun acak yang memengaruhi tingkat kekasaran (*surface roughness*). Kekasaran ini muncul akibat jejak goresan *endmill* pada spesimen selama proses pemotongan berlangsung. Goresan – goresan tersebut terus terbentuk setiap kali *endmill* bersentuhan dengan benda kerja dan dapat diamati pada topografi permukaan (Nurhabibi & Mursadin, 2023). Gambar 2.4 menunjukkan profil kekasaran permukaan.



Gambar 2.4 Profil Kekasaran Permukaan (sumber: Saputro, 2014)

2.3.1 R_a (Arithmetical Mean Roughness)

Parameter R_a adalah nilai rata – rata aritmatika dari deviasi profil permukaan terhadap garis tengah (*mean line*) dalam satu panjang pengukuran.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |h(x)| dx \dots\dots\dots 2.1$$

2.3.2 R_z (Mean Peak-to-Valley Height)

R_z Adalah jarak rata – rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam panjang pengukuran.

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (Z_{pi} + Z_{vi}) \dots\dots\dots 2.2$$

2.3.3 R_t (Total Height of the Profile)

R_t adalah jarak vertikal maksimum antara puncak tertinggi dan lembah terdalam keseluruhan panjang pengukuran

$$R_t = Z_p + Z_v \dots \dots \dots 2.3$$

2.3.4 R_q (RMS) – Root Mean Square Roughness

Parameter R_q adalah akar rata – rata kuadrat deviasi profil terhadap garis tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L [y(x)]^2 dx} \dots \dots \dots 2.4$$

Dalam konteks *landing gear*, kekasaran permukaan tentu saja menjadi aspek krusial dikarenakan secara langsung memengaruhi ketahanan aus, performa tribologis, dan umur pakai komponen yang bekerja di bawah beban ekstrem, salah satunya *side stay arms*. Solusi untuk permasalahan ini adalah pelapisan atau *coating*. *Chrome plating* telah menjadi standar industri kedirgantaraan dalam proses pelapisan karena kemampuannya memberikan perlindungan terhadap gesekan dan korosi pada berbagai komponen kritis. Permukaan akhir benda kerja setelah proses pemesinan untuk aplikasi *chrome plating* umumnya ditetapkan memiliki kekasaran permukaan sebesar $0,2 - 0,4 \mu m$ yang memungkinkan permukaan untuk mempertahankan mikroretakan tetap terbuka secara fungsional (Sartwell et al., 2000). Menurut Astanin et al., (2017) kekasaran permukaan $0,3 \mu m$ menghasilkan lapisan *chrome* dengan porositas yang masih terkendali dan distribusi tegangan yang lebih merata, sehingga pembentukan mikroretakan tetap berada pada skala yang masih berfungsi secara tribologis.

2.4 Metode *Design of Experiment* (DoE)

Desain Eksperimen (*Design of Experiment/DoE*) merupakan metode yang dikembangkan oleh Sir Ronald Fisher pada tahun 1920. Metode statistik ini diformulasikan untuk merancang, melaksanakan, menganalisis, dan menginterpretasikan eksperimen secara sistematis dengan tujuan mengidentifikasi pengaruh faktor – faktor *input* terhadap respon atau *output* suatu proses. Melalui

DoE, hubungan antar variabel proses utama dan kinerja hasil dapat dikaji secara kuantitatif, sehingga memungkinkan peningkatan hasil dan stabilitas proses, peningkatan kapabilitas proses, serta pengurangan variasi yang memengaruhi konsistensi kualitas produk (Montgomery, n.d., 2001).

2.4.1 Full Factorial Design

Full factorial design merupakan rancangan eksperimen yang mencakup seluruh kombinasi level dari setiap faktor yang diteliti. metode ini memungkinkan analisis pengaruh utama masing – masing faktor serta interaksi antar faktor secara menyeluruh. Pada eksperimen dengan k faktor yang masing – masing memiliki tiga level, jumlah percobaan yang diperlukan adalah sebesar 3^k . Ketika faktor bersifat kuantitatif, level rendah, menengah, dan tinggi dinyatakan dengan nilai -1, 0 dan +1. Notasi ini memudahkan pemodelan regresi yang menghubungkan respons dengan level faktor. Pada rancangan 3^3 dengan faktor x_1 sebagai faktor A, x_2 sebagai faktor B, dan x_3 sebagai faktor C. Masing – masing faktor diuji pada tiga level sehingga jumlah kombinasi yang diperoleh adalah sebanyak 27 percobaan. Rancangan *full factorial* ini dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh faktor secara individual maupun interaksi antar faktor terhadap respon yang diamati, yaitu kekasaran permukaan (R_a). Hubungan antara respon kekasaran permukaan dan ketiga faktor pemesinan dimodelkan menggunakan persamaan regresi sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \varepsilon \dots \dots \dots (2.5)$$

2.4.2 Interaksi Antar Faktor

Dalam *full factorial design*, interaksi antar faktor dianalisis untuk mengetahui apakah pengaruh suatu faktor terhadap respon bergantung pada level faktor lainnya. Interaksi antar faktor A dan B, faktor A dan C, serta faktor B dan C (Montgomery, n.d., 2001).

Interaksi yang signifikan menunjukkan bahwa perubahan respons akibat suatu faktor tidak dapat dievaluasi secara terpisah tanpa mempertimbangkan faktor lainnya. Oleh karena itu, analisis interaksi menjadi bagian penting dalam memahami karakteristik proses pemesinan secara menyeluruh dan dalam menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan kualitas permukaan optimal.

2.5 ANOVA (*Analysis of Variance*)

Metode ANOVA (*Analysis of Variance*) digunakan dalam rancangan *full factorial* untuk menguji signifikansi pengaruh efek utama dan interaksi antar faktor terhadap respon yang diamati. Pengujian dilakukan menggunakan uji F dengan membandingkan variasi akibat faktor terhadap galat eksperimen, sehingga faktor dan kombinasi parameter yang berpengaruh signifikan dapat diidentifikasi (Montgomery, n.d., 2001).

1. Rata – rata Keseluruhan (*Grand Mean*)

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \dots \dots \dots (2.6)$$

2. Jumlah Kuadrat total (*Total Sum of Squares*)

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

3. Jumlah kuadrat Efek Utama

$$SS_x = \sum_{j=1}^x n_j (\bar{y}_{A_j} - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

4. Jumlah Kuadrat Interaksi Dua Faktor

$$SS_{AB} = \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b n_{jk} (\bar{y}_{AB_{jk}} - \bar{y}_{A_j} - \bar{y}_{B_k} + \bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

5. Jumlah Kuadrat Interaksi Tiga Faktor

$$SS_{ABC} = \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b \sum_{l=1}^c n_{jkl} (\bar{y}_{ABC_{jkl}} - \bar{y}_{ABC_{jk}} - \bar{y}_{AC_{jl}} - \bar{y}_{BC_{kl}} + \bar{y}_{A_j} + \bar{y}_{B_k} + \bar{y}_{C_l} - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

6. Jumlah Kuadrat Galat (*Error*)

Dengan Replikasi :

$$SS_E = SS_T - \sum SS_{Faktor \text{ dan Interaksi}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Tanpa Replikasi (*pooling*)

$$SS_E = SS_{Interaksi \text{ yang dipooling}} \dots \dots \dots (2.12)$$

7. Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*)

a) Total

$$df_T = N - 1 \dots \dots \dots (2.13)$$

b) Faktor

$$df_A = a - 1, df_B = b - 1, df_C = c - 1 \dots \dots \dots (2.14)$$

c) Interaksi

$$df_{AB} = (a - 1)(b - 1) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$df_{ABC} = (a - 1)(b - 1)(c - 1) \dots \dots \dots (2.16)$$

8. *Mean Square* (MS)

$$MS = \frac{SS}{df} \dots \dots \dots (2.17)$$

9. Statistik Uji F

$$F = \frac{MS_{\text{Faktor atau Interaksi}}}{MS_E} \dots \dots \dots (2.18)$$

10. Kriteria Keputusan

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau $P\text{-value} < \alpha \rightarrow$ berpengaruh signifikan

Jika tidak $\rightarrow$ tidak signifikan

2.6 Hipotesis

Berdasarkan studi kasus dan studi literatur yang telah dipelajari, disimpulkan bahwa parameter pemesinan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kekasaran permukaan. Peningkatan putaran *spindle* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah, akibat meningkatnya stabilitas pemotongan, mengurangi pembentukan *Built Up Edge* (BUE), dan menghasilkan jejak pahat (*feed mark*) yang lebih rendah. Sebaliknya, peningkatan gerak makan serta keadalaman potong akan meningkatkan kekasaran permukaan dikarenakan terbentuknya *feed mark* yang lebih jelas dan meningkatkan potensi getaran selama proses *milling*.

Namun, dalam praktiknya pengaruh parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan tidak selalu bersifat independen, melainkan dapat dipengaruhi oleh interaksi antar parameter. Pada kondisi tertentu, kombinasi nilai parameter yang tidak ekstrem dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih

rendah dibandingkan dengan nilai parameter tunggal. Oleh karena itu, dapat dihipotesiskan bahwa kombinasi parameter pemesinan tertentu dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan analisis dengan pendekatan *Design of Experiment* untuk menguji pengaruh variasi parameter terhadap kekasaran permukaan aluminium 7075 dalam proses pemesinan CNC *milling*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Surya Gemilang Buana, Jl. Gatot Subroto No. 44 – 45, RT.003/RW.001, Kelurahan Cibodas, Kecamatan Cibodas, Kota Tangerang, Banten dan di Laboratorium Uji Material Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan, dimulai dari bulan September 2025 sampai Maret 2026.

3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. CNC *Milling* Mori Seiki NVX5060

Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi dari CNC *milling* dan gambar 2.2 menunjukkan mesin CNC *milling* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi CNC *milling* Mori Seiki NVX5060

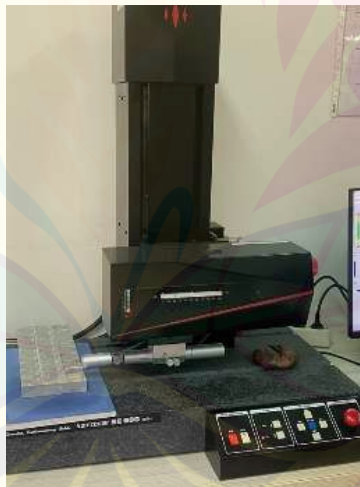
No.	Spesifikasi Teknis	Keterangan / Nilai
1.	Tipe Mesin	<i>Vertical Machining Center (VMC) 3-Axis</i>
2.	Pergerakan Sumbu (Travel)	X = 600 mm; Y = 530 mm; Z = 510 mm.
3.	Kapasitas putaran <i>Spindle</i>	12000 rpm
4.	Kompensasi Thermal	<i>Thermal displacement compensation system</i>
5.	Sistem Pendingin dan Pelumas	Otomatis (<i>automatic coolant & lubrication</i>)

2. Jangka Sorong & Meteran Pita

Jangka sorong dan meteran pita digunakan untuk mengukur spesipem sebelum dan sesudah proses pemesinan.

3. *Surface Roughness Tester*

Surface roughness tester yang digunakan adalah Kosaka Laboratory Ltd. Seri SE 800, dengan panjang pengukuran 10 mm dan kecepatan 0,5 mm/s.

Gambar 3.1 *Surface Roughness Tester*

4. Laptop

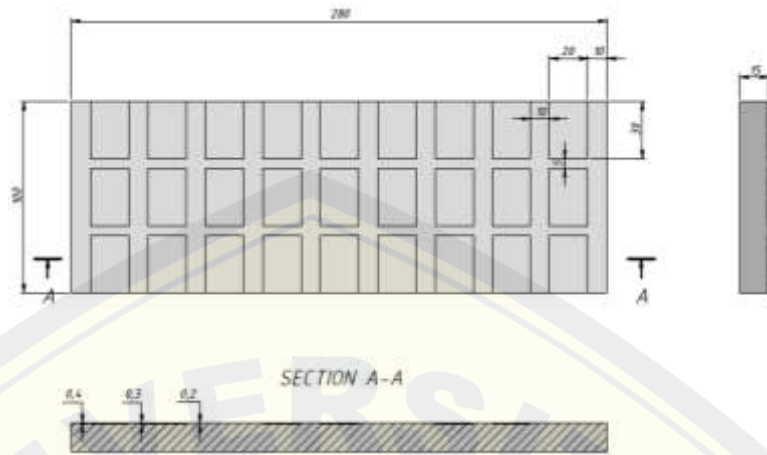
5. *Software Minitab*

3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Aluminium 7075

Gambar 3.1 menunjukkan skema pemesinan pada aluminium 7075 yang akan dilakukan.



Gambar 3.2 Skema Pemesinan

2. Endmill carbide

Pahat *endmill carbide* diameter $\varnothing 10$ mm dengan 4 gigi. Pada Gambar 3.3 merupakan *endmill carbide* yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.3 Endmill Carbide $\varnothing 10$ mm

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah atribut, nilai, atau karakteristik pada objek, individu, atau kegiatan yang menjadi fokus utama penelitian untuk diamati, diukur, dan dianalisis. Variabel berperan penting dalam memperoleh informasi yang relevan, memahami hubungan atau pengaruh antar variabel, serta menjadi dasar

pengumpulan data, pengujian hipotesis, dan penarikan kesimpulan ilmiah (Ridha, 2017).

a. Variabel Bebas

Variabel bebas/independen adalah variabel yang berperan sebagai faktor penyebab terjadinya perubahan pada variabel lain (Nurul Melani Haifa et al., 2025). Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan telah ditetapkan oleh peneliti dan disajikan pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Tabel variabel bebas

Parameter	Level		
	-1	0	+1
Putaran <i>Spindle</i> , n (<i>rpm</i>)	2000	3500	5000
Gerak Makan, f (<i>mm/tooth</i>)	0,04	0,06	0,08
Kedalaman potong, a_p (<i>mm</i>)	0,20	0,30	0,40

b. Variabel Terikat

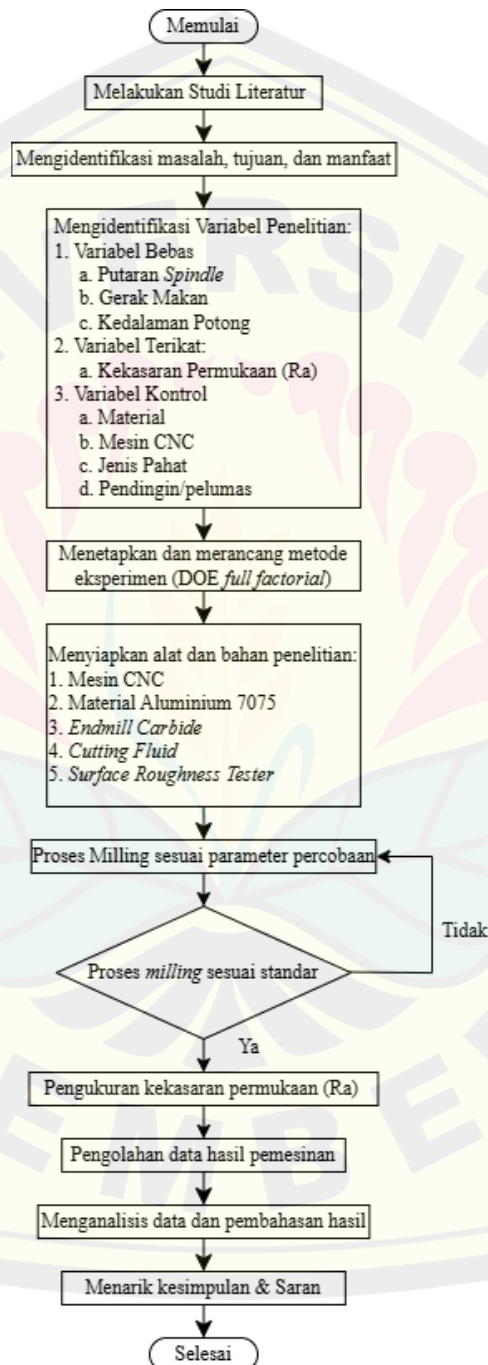
Variabel terikat atau variabel dependen merupakan variabel yang perubahannya tergantung oleh variabel lain. Kekasaran permukaan (R_a) menjadi variabel terikat pada penelitian ini.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang secara sengaja dikendalikan agar tidak memberikan pengaruh pada hubungan antar variabel independen dan variabel dependen (Nurul Melani Haifa et al., 2025). Pada penelitian ini, variabel kontrol yang telah ditetapkan adalah aluminium 7075, mesin CNC, jenis pahat, dan *cutting fluid*.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan langkah – langkah yang diambil untuk mendukung proses penelitian yang akan dibuat. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan pada aluminium 7075 dilakukan pada 27 sampel dengan randomisasi untuk meminimalkan bias sistematis dan memastikan galat eksperimen bersifat acak serta independen (Montgomery, n.d., 2001). Hasil pengukurannya disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Nilai Kekasaran Permukaan

<i>Run</i>	<i>Run asli</i>	Putaran <i>spindle</i> (rpm)	Gerak makan (mm/tooth)	Kedalaman potong (mm)	R_{a1} μm	R_{a2} μm	Rata – Rata $R_a \mu\text{m}$
1	9	2000	0,08	0,40	0.22	0.22	0.22
2	18	3500	0,08	0,40	0.20	0.50	0.35
3	27	5000	0,08	0,40	0.20	0.55	0.38
4	6	2000	0,06	0,40	0.19	0.19	0.19
5	15	3500	0,06	0,40	0.18	0.18	0.18
6	24	5000	0,06	0,40	0.19	0.22	0.21
7	3	2000	0,04	0,40	0.48	0.16	0.32
8	12	3500	0,04	0,40	0.17	0.20	0.19
9	21	5000	0,04	0,40	0.27	0.14	0.21
10	11	3500	0,04	0,30	0.14	0.17	0.16
11	20	5000	0,04	0,30	0.13	0.15	0.14
12	2	2000	0,04	0,30	0.14	0.12	0.13
13	14	3500	0,06	0,30	0.19	0.17	0.18
14	23	5000	0,06	0,30	0.15	0.20	0.18
15	5	2000	0,06	0,30	0.15	0.19	0.17
16	17	3500	0,08	0,30	0.21	0.18	0.20
17	26	5000	0,08	0,30	0.21	0.21	0.21
18	8	2000	0,08	0,30	0.60	0.25	0.43
19	1	2000	0,04	0,20	0.17	0.14	0.16
20	10	3500	0,04	0,20	0.14	0.15	0.15
21	19	5000	0,04	0,20	0.18	0.25	0.22
22	4	2000	0,06	0,20	0.15	0.18	0.17
23	13	3500	0,06	0,20	0.15	0.15	0.15
24	22	5000	0,06	0,20	0.18	0.19	0.19
25	7	2000	0,08	0,20	0.17	0.23	0.2
26	16	3500	0,08	0,20	0.32	0.22	0.27
27	25	5000	0,08	0,20	0.22	0.22	0.22

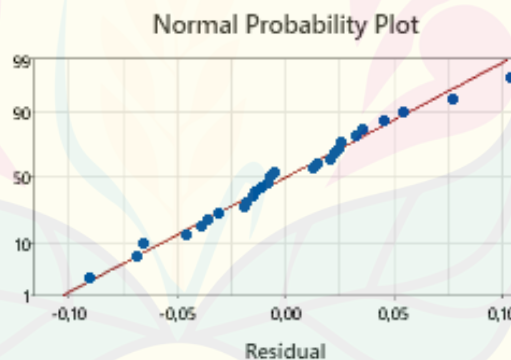
Dari tabel diatas, didapatkan nilai rata – rata kekasaran R_a tertinggi 0,43 μm dan nilai rata – rata kekasaran R_a terendah 0,13 μm .

4.2 Pengujian Asumsi Statistik

Pengujian asumsi dilakukan untuk memastikan bahwa sisaan (*residual*) dari model eksperimen kekasaran permukaan memenuhi kriteria distribusi normal, homogenitas varians, dan independensi, sebagaimana dijelaskan dalam *John Wiley & Sons*, (2013).

4.2.1 Uji Normalitas (*Normal Probability Plot*)

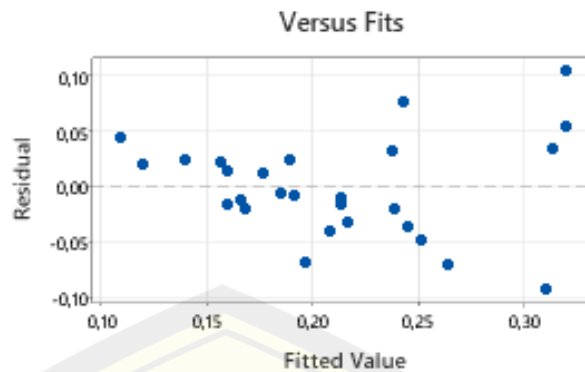
Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa residual pada model linear berdistribusi normal. Galat (*error*) diasumsikan berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan varians konstan. Pemenuhan asumsi ini menjadi dasar penurunan distribusi uji F. Uji normalitas dapat dianalisis melalui *normal probability plot* yang disajikan pada gambar 4.1, dimana titik – titik yang tersebar pada grafik cenderung berada pada garis lurus. Hal ini dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal dan asumsi normalitas terpenuhi.



Gambar 4.1 *Normal Probability Plot*

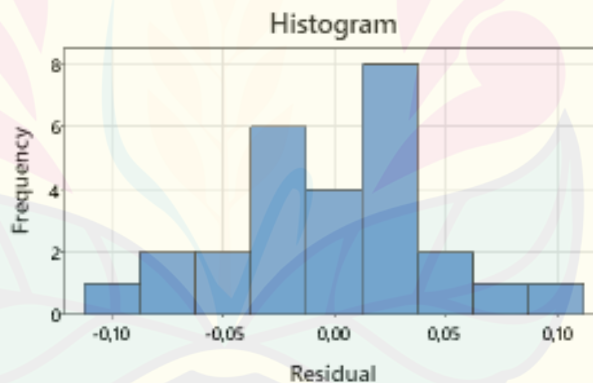
4.2.2 Uji Homogenitas Varians (*Versus Fits*)

Uji homogenitas varians dilakukan untuk mengetahui apakah variasi galat pada model bersifat konstan (homoskedastisitas). Pengujian ini dilakukan dengan melihat plot residual terhadap nilai hasil pendugaan (*fitted values*). Pada gambar 4.2 terlihat bahwa sebaran residual terlihat acak dan tidak membentuk pola tertentu. Hal ini membuktikan bahwa model memiliki varians yang konstan, dimana tingkat ketelitian pengukuran stabil di seluruh rentang parameter pemesinan.

Gambar 4.2 *Versus Fits*

4.2.3 Distribusi Sisaan (*Histogram*)

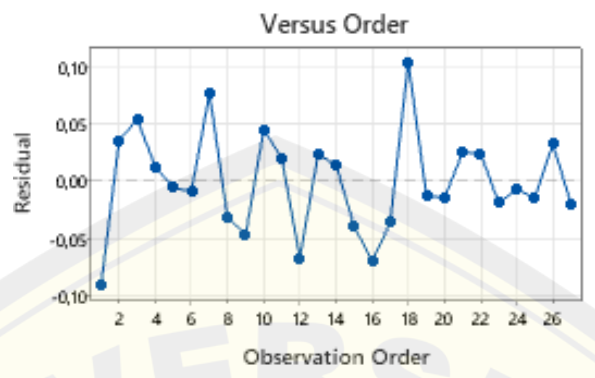
Uji normalitas dapat dilakukan dengan melihat distribusi sisaan (*histogram*). Berdasarkan analisis pada gambar 4.3, histogram menunjukkan pola yang relatif simetris dan mendekati bentuk distribusi normal. Hal ini memperkuat hasil uji normalitas bahwa sisaan model berdistribusi secara normal.

Gambar 4.3 *Histogram*

4.2.4 Uji Independensi (*Versus Order*)

Independensi merupakan asumsi penting dalam analisis varians, dimana galat antar pengamatan harus saling bebas dan tidak berkorelasi. Pemeriksaan dilakukan melalui grafik *residual versus order* yang dapat dilihat pada gambar 4.4. gambar tersebut menunjukkan bahwa sisaan bersifat independen dan tidak dipengaruhi oleh urutan waktu pelaksanaan eksperimen. Hal ini mengonfirmasi

bahwa prosedur pengacakan (*randomization*) pada saat pengambilan data telah dilakukan dengan benar, maka asumsi independen dinyatakan terpenuhi.



Gambar 4.4 *Versus Order*

4.3 Analisis Varians (ANOVA)

Analisis Varians (ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh masing – masing faktor dan interaksi terhadap respon. Pada penelitian ini diterapkan ANOVA *General Linear Model* karena mampu menganalisis pengaruh utama sekaligus interaksi antar parameter secara efektif.

Tabel 4.2 Hasil *Analysis of Variance*

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
Putaran <i>Spindle</i>	2	0,001617	0,000808	0,13	0,884
Gerak Makan	2	0,052406	0,026203	4,08	0,060
Kedalaman Potong	2	0,017917	0,008958	1,39	0,303
Putaran <i>Spindle</i> *Gerak Makan	4	0,001661	0,000415	0,06	0,991
Putaran <i>Spindle</i> *Kedalaman Potong	4	0,009633	0,002408	0,37	0,821
Gerak Makan*Kedalaman Potong	4	0,008078	0,002019	0,31	0,861
<i>Error</i>	8	0,051439	0,006430		
Total	26	0,142750			

Perhitungan ANOVA pada setiap parameter serta interaksi disajikan pada lampiran.

4.3.1 Penentuan Signifikansi (Analisis *p - value*)

Penentuan signifikansi pengaruh parameter pemesinan dilakukan melalui analisis *p – value* dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), di mana hipotesis nol (H_0) ditolak apabila nilai *p – value* < 0,05. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor gerak makan merupakan parameter yang paling mendekati kondisi signifikan

dengan nilai p – $value$ sebesar 0,060. Meskipun nilai tersebut sedikit lebih besar dari batas signifikansi statistik, gerak makan memiliki pengaruh yang relatif lebih dominan terhadap kekasaran permukaan dibandingkan dengan parameter lainnya.

Sementara itu, putaran *spindle* memiliki nilai p – $value$ sebesar 0,884 dan kedalaman potong sebesar 0,303, yang kedua parameter tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan pada rentang yang diuji. Dengan demikian, variasi putaran *spindle* dan kedalaman potong tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan.

Penelitian yang dilakukan oleh Noviana et al., (2025) menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana gerak makan menjadi parameter paling dominan yang memengaruhi kekasaran permukaan. Studi tersebut melaporkan bahwa gerak makan signifikan secara statistik ($p < 0,05$), dengan kontribusi variasi yang sangat besar dan nilai F tinggi, sedangkan putaran *spindle*, kedalaman potong, dan jenis pendingin tidak signifikan ($p > 0,05$). Hal ini memperkuat temuan pada penelitian ini bahwa gerak makan merupakan faktor yang paling berpengaruh, meskipun nilai signifikansinya masih sedikit di batas $\alpha = 0,05$

Selain itu, tidak ditemukannya interaksi yang signifikan antar parameter (p – $value$ mendekati 1) menunjukkan bahwa kombinasi parameter tidak memberikan pengaruh tambahan terhadap kekasaran permukaan. Hasil ini sejalan dengan Isleyen. U. K. et al., (2019) yang menyatakan bahwa pengaruh interaksi tidak signifikan secara statistik.

4.3.2 Model Summary (Kekuatan Model)

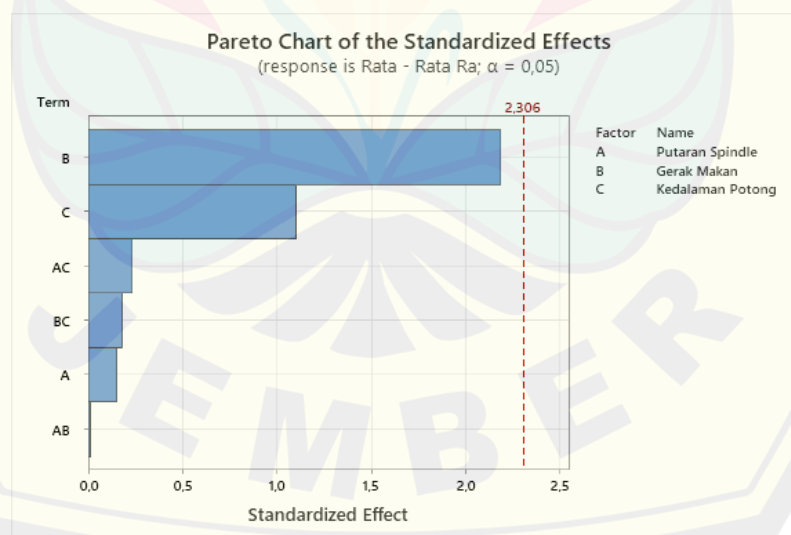
Model summary digunakan untuk menilai seberapa baik model statistik yang dibangun mampu mempresentasikan fenomena nyata yang disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Model Summary

S	$R - sq$	$R - sq (adj)$	$R - sq (pred)$
0,0801864	63,97%	0,00%	0,00%

Berdasarkan hasil *model summary*, nilai S atau dalam analisis regresi disebut *standard error of the regression* menunjukkan besarnya simpangan rata – rata kesalahan prediksi model terhadap data aktual. Nilai ini mempresentasikan akar dari *mean square error* (MSE), sehingga semakin kecil nilai S , maka semakin kecil pula penyimpangan hasil prediksi model terhadap nilai observasi sebenarnya. Pada tabel 4.3 diperoleh nilai S sebesar 0,0801864 yang berarti rata – rata keasalahan model dalam memprediksi kekasaran permukaan adalah sebesar 0,0801864.

Selanjutnya, nilai R -sq mengukur proporsi variasi total pada variabel respon yang mampu dijelaskan oleh model. Nilai R -sq sebesar 63,97% menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 63,97% variasi kekasaran permukaan berdasarkan parameter yang diteliti. Sementara itu, sebesar 36,03% variasi sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel yang dimasukkan dalam model. Adapun nilai R -sq (*adj*) dan R -sq (*pred*) yang sebesar 0%, hal ini terjadi karena jumlah data yang terbatas dan kompleks (*overfitting*). Menurut Peterson, (2023), sebuah model dengan R -square rendah tidak selalu buruk secara ilmiah, terutama ketika tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen, bukan memprediksi nilai baru.



Gambar 4.5 Pareto Chart of the Standardized Effects

Pada gambar 4.2 diatas menyajikan visualisasi kontribusi masing – masing faktor dan interaksinya terhadap respon kekasaran permukaan (R_a) berdasarkan

nilai efek terstandarisasi. Diagram ini merupakan representasi grafis dari hasil analisis ANOVA pada tabel 4.2. Berdasarkan grafik tersebut, faktor B yaitu gerak makan memiliki batang yang paling panjang dibandingkan faktor lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa gerak makan memberikan kontribusi terbesar terhadap variasi kekasaran permukaan, sehingga menjadi parameter yang paling berpengaruh dalam penelitian ini, yang secara eksperimental ditunjukkan bahwa peningkatan gerak makan menghasilkan *feed mark* yang semakin jelas pada permukaan hasil pemesinan.

Garis vertikal berwarna merah pada grafik menunjukkan batas signifikansi statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Faktor atau interaksi yang melewati garis dinyatakan signifikan secara statistik. Pada hasil ini, tidak terdapat faktor maupun interaksi yang melampaui batas signifikansi tersebut, yang mengindikasikan bahwa seluruh parameter berada pada kategori tidak signifikan secara statistik. Namun demikian, gerak makan tetap menunjukkan pengaruh relatif paling dominan dibandingkan putaran *spindle* dan kedalaman potong, sehingga secara praktis memiliki peran paling penting dalam mengendalikan kualitas kekasaran permukaan, meskipun kondisi proses yang stabil akibat penggunaan *cutting fluid* secara kontinu, kekakuan mesin CNC, serta sifat material aluminium yang lunak menyebabkan perbedaan pengaruh antar parameter menjadi kurang signifikan secara statistik.

Secara teoritis, gerak makan menentukan jarak antar jejak pahat pada permukaan hasil pemesinan, di mana peningkatan gerak makan akan meningkatkan nilai kekasaran permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gerak makan merupakan faktor paling dominan dengan $p - value$ sebesar 0,060, sehingga masih sejalan dengan teori pembentukan permukaan, di mana pada pengamatan langsung terlihat bahwa peningkatan gerak makan cenderung memperbesar jejak pemotongan (*feed mark*) yang terbentuk. Teori ini juga didukung oleh penelitian Noviana et al., (2025) yang menjelaskan bahwa kekasaran permukaan secara langsung dipengaruhi oleh gerak makan. Hubungan teoritis menunjukkan bahwa nilai kekasaran rata – rata (R_a) berbanding lurus secara kuadratik terhadap gerak

makan, sehingga peningkatan nilai gerak makan akan meningkatkan tinggi gelombang permukaan yang terbentuk akibat jejak gerak pahat.

Sementara itu, kedalaman potong dan putaran *spindle* tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Widhiantoro, D. (2017) yang menunjukkan bahwa putaran *spindle* dan kedalaman potong tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan, sedangkan gerak makan menunjukkan kecenderungan perubahan nilai kekasaran permukaan. Kondisi tersebut dapat dijelaskan secara ilmiah bahwa kedalaman potong lebih dominan memengaruhi keausan pahat dan gaya potong dibandingkan pembentukan profil permukaan secara langsung, yang pada penelitian ini diperkuat oleh penggunaan pahat *endmill carbide* yang masih baru sehingga keausan belum terjadi secara signifikan serta kedalaman potong yang relatif kecil sehingga tidak menimbulkan defleksi yang parah. Selain itu, rentang putaran *spindle* yang tidak terlalu ekstrem, kestabilan mesin yang mampu mempertahankan *rpm* tinggi, serta penggunaan *cutting fluid* yang memadai dapat menstabilkan proses pemotongan sehingga pengaruh putaran *spindle* terhadap kekasaran permukaan menjadi tidak signifikan, ditambah dengan kekuatan struktur mesin yang mampu meredam *chatter* serta sifat aluminium yang lunak sehingga kecenderungan pembentukan *built – up edge* menjadi lebih rendah pada seluruh variasi putaran.

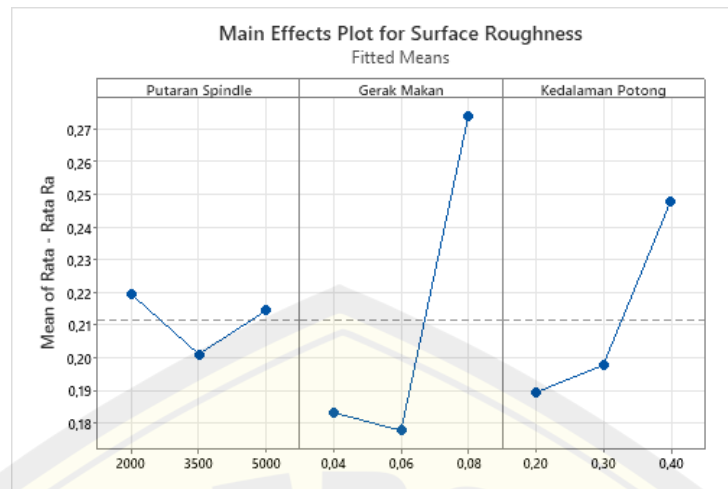
Berdasarkan ANOVA, dapat disimpulkan bahwa parameter pemesinan yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 7075 adalah gerak makan, sedangkan putaran *spindle* dan kedalaman potong tidak memberikan pengaruh signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

4.4 Analisis Grafik *Design of Experiment*

Grafik *Design of Experiment* pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa putaran *spindle* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Kekasaran tertinggi terjadi pada 2000 rpm, diikuti 5000 rpm, dan terendah pada 3500 rpm. Secara teoritis, peningkatan putaran *spindle* menurunkan kekasaran permukaan karena proses pemotongan menjadi lebih stabil, pembentukan geram

lebih teratur, serta berkurangnya *built – up edge* (BUE), terlebih dengan bantuan *cutting fluid* yang menekan suhu pemotongan. Namun, hasil penelitian menunjukkan nilai kekasaran terendah pada 3500 rpm, yang diduga disebabkan oleh ketidak linearan stabilitas pemotongan, keausan pahat, serta interaksi parameter lain dalam kondisi nyata, meskipun secara statistik tidak signifikan, di mana kondisi ini juga dipengaruhi oleh penggunaan *cutting fluid* secara kontinu dan kekakuan mesin yang menjaga stabilitas pemotongan pada seluruh rentang putaran *spindle*.

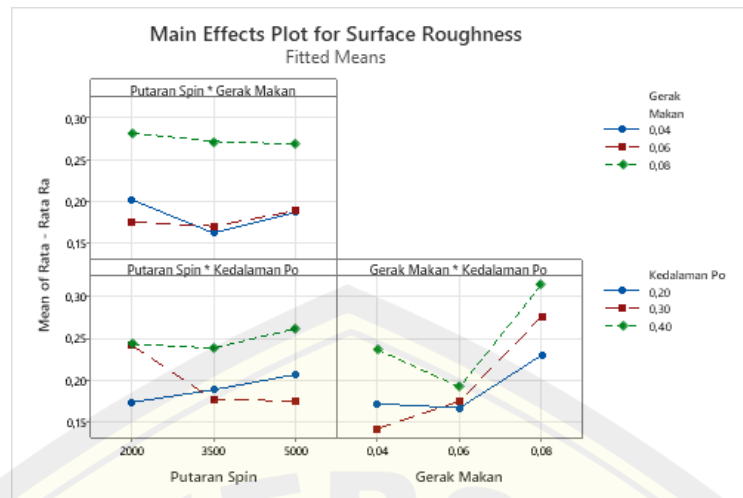
Sejalan dengan parameter putaran *spindle*, gerak makan secara teoritis berbanding lurus dengan kekasaran permukaan. Pada gambar 4.3, kekasaran terendah terjadi pada gerak makan 0,06 mm/tooth diikuti 0,04 mm/tooth, dan tertinggi pada 0,08 mm/tooth. Peningkatan gerak makan memperlebar jarak antar jejak pahat (*feed mark*) sehingga menaikkan kekasaran permukaan. Nilai 0,06 mm/tooth lebih rendah dibandingkan 0,04 mm/tooth diduga karena pada gerak makan yang terlalu kecil proses lebih didominasi gesekan daripada pemotongan (*ploughing*), menimbulkan deformasi plastis, *built – up edge*, serta dipengaruhi interaksi parameter lain, yang dalam penelitian ini juga dipengaruhi oleh kondisi *cutting fluid* yang intensif sehingga meminimalkan mekanisme pembentukan geram. Sementara itu, kedalaman potong menunjukkan kecenderungan sesuai teori, yaitu semakin besar kedalaman potong semakin tinggi kekasaran permukaan akibat peningkatan penampang geram yang memperbesar gaya potong, memicu defleksi pahat dan benda kerja, serta menurunkan stabilitas proses pemotongan, namun pada penelitian ini efek tersebut tidak signifikan karena kedalaman potong yang digunakan relatif kecil serta mesin yang digunakan mampu menahan getaran secara efektif.



Gambar 4.6 Main Effects Plot for Surface Roughness

Grafik interaksi menunjukkan bahwa garis-garis yang terbentuk cenderung sejajar dan tidak saling berpotongan secara ekstrem. Pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan bergantung pada kombinasi yang digunakan. Gerak makan dan kedalaman potong yang tinggi cenderung menghasilkan kekasaran lebih tinggi pada semua putaran *spindle* karena peningkatan gaya potong dan potensi geram. Dengan demikian, meskipun secara statistik interaksi tidak signifikan, secara praktis kombinasi parameter tetap memengaruhi kualitas permukaan, namun pengaruh tersebut tidak cukup besar untuk melampaui batas signifikansi statistik akibat kondisi proses yang relatif stabil dan terkendali.

Dengan demikian, hipotesis awal yang menyatakan bahwa interaksi parameter pemesinan berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan tidak sepenuhnya terbukti pada tingkat kepercayaan 95%.



Gambar 4.7 Main Effects Plot for Surface Roughness

4.5 Model Regresi Linear

Model regresi linear digunakan untuk menggambarkan hubungan matematis antara parameter pemesinan dan respon kekasaran permukaan. Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan *software Minitab*, diperoleh regresi yang merepresentasikan pengaruh putaran *spindle*, gerak makan, dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan. Persamaan regresi linear yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$R_a = 0,2117 + 0,0078x_{12000} - 0,0106x_{13500} - 0,0283x_{2,0,04} - 0,0339x_{2,0,06} - 0,0222x_{3,0,20} - 0,0139x_{3,0,30}$$

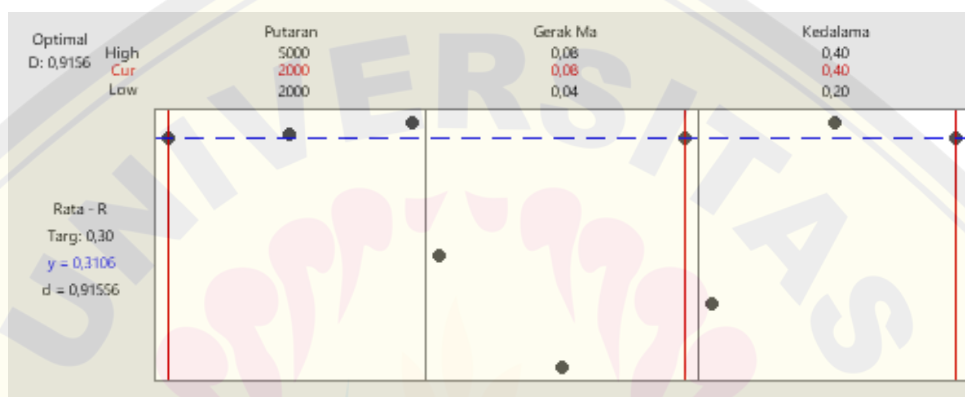
Nilai konstanta sebesar 0,2117 menunjukkan nilai kekasaran permukaan pada kondisi referensi. Koefisien regresi menunjukkan besarnya perubahan kekasaran permukaan akibat penggunaan level parameter tertentu dibandingkan dengan level referensi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa gerak makan memiliki pengaruh relatif lebih besar terhadap perubahan kekasaran permukaan dibandingkan parameter lainnya, ditunjukkan oleh nilai koefisien yang lebih besar. Sementara itu, putaran *spindle* dan kedalaman potong menunjukkan pengaruh yang relatif kecil pada rentang parameter yang diuji. Karena hasil analisis interaksi antar parameter tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, maka model regresi digunakan hanya melibatkan efek utama dari masing – masing parameter. Model regresi ini

selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses optimasi parameter pemesinan dan validasi model untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan yang mendekati target.

4.6 Optimasi Parameter

Nilai prediksi R_a sebesar $0,3106 \mu\text{m}$ menunjukkan tingkat keberhasilan yang sangat tinggi dengan *Composite Desirability* sebesar $0,91556$.



Gambar 4.8 Response Optimizer

4.6.1 Hasil Response Optimizer

Optimasi dilakukan menggunakan fitur *Response Optimizer* pada *software Minitab*. Hasil analisis menunjukkan kombinasi parameter optimum sebagai berikut; putaran *spindle* sebesar 2000 rpm , gerak makan sebesar $0,08 \text{ mm/tooth}$, dan kedalaman potong sebesar $0,40 \text{ mm}$. Kombinasi ini menghasilkan nilai kekasaran permukaan (R_a) sebesar $0,3106 \mu\text{m}$ dengan nilai *Composite Desirability* sebesar $0,91556$, yang menunjukkan tingkat pencapaian target sebesar $91,5\%$.

4.6.2 Analisis Rentang Prediksi

Selain nilai prediksi (*fit*), model juga memberikan rentang ketidakpastian hasil. Interval kepercayaan 95% (*confidence interval*) berada pada rentang $0,1554$ hingga $0,4657 \mu\text{m}$, yang menggambarkan kisaran nilai rata-rata R_a yang diharapkan apabila percobaan diulang. Sementara itu, interval prediksi 95%

(*prediction interval*) berada pada rentang 0,0692 hingga 0,5519 μm , yang menunjukkan variasi hasil untuk satu kali pengujian tunggal di masa mendatang.

4.6.3 Pemilihan Parameter

Pemilihan kombinasi parameter optimum ini selaras dengan hasil analisis sebelumnya. Gerak makan dipilih pada level 0,08 mm/tooth untuk mendapatkan kekasaran yang mendekati 0,3 μm karena gerak makan menjadi parameter yang dominan terhadap nilai kekasaran permukaan. Meskipun putaran *spindle* dan kedalaman potong tidak signifikan secara individual, keduanya tetap ditempatkan pada level tertentu untuk menjaga keseimbangan proses dan mencapai nilai *desirability* yang maksimal.

4.7 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model regresi yang dibangun mampu merepresentasikan kondisi proses pemesinan secara akurat dan dapat digunakan untuk prediksi nilai kekasaran permukaan (R_a). Validasi dilakukan berdasarkan hasil *model summary*, analisis residual, serta kesesuaian antara nilai prediksi dan hasil optimasi.

Nilai koefisien determinasi ($R\text{-sq}$) sebesar 63,97% menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi respon kekasaran permukaan, sehingga model dinilai cukup representatif untuk proses manufaktur nyata. Selain itu, hasil analisis ANOVA menunjukkan tidak adanya pelanggaran asumsi model yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa hubungan antara variabel input dan respon telah dimodelkan dengan baik.

Hasil *Response Optimizer* juga menunjukkan bahwa nilai prediksi R_a sebesar 0,3106 μm pada kombinasi parameter 2000 rpm, 0,08 mm/tooth, dan 0,40 mm memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi dengan *Composite Desirability* sebesar 0,91556, yang menegaskan bahwa *output* utama model adalah kombinasi variabel bebas yang mampu mencapai target respon.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai Optimasi dan Analisis Parameter Pemesinan CNC *Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075 pada Kondisi *Wet Machining*, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Putaran *spindle* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap kekasaran permukaan. Namun, pada praktiknya putaran *spindle* yang lebih tinggi cenderung membuat kekasaran permukaan rendah, hal ini juga dipengaruhi oleh penggunaan *cutting fluid* yang menstabilkan suhu pemotongan serta rentang variasi putaran *spindle* yang tidak terlalu ekstrem, sehingga perubahan putaran *spindle* tidak memberikan dampak dominan terhadap respon kekasaran permukaan.
2. Variasi kedalaman potong tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap kekasaran permukaan. Secara praktik kedalaman potong yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekasaran permukaan akibat bertambahnya penampang geram yang memperbesar gaya potong, memicu defleksi pahat dan benda kerja, serta menurunkan stabilitas proses pemotongan.
3. Gerak makan merupakan parameter yang paling dominan memengaruhi kekasaran permukaan, baik secara statistik maupun praktik. Peningkatan gerak makan menyebabkan jejak pahat (*feed mark*) semakin jelas dan lebar, memicu deformasi plastis, serta meningkatkan kemungkinan terbentuknya *built – up edge* yang berdampak pada meningkatnya kekasaran permukaan.
4. Hasil analisis secara statistik menunjukkan tidak terdapatnya pengaruh interaksi yang signifikan antara putaran *spindle*, gerak makan, dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan. Namun pada kenyataannya pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan dipengaruhi oleh kombinasi antar parameter. Gerak makan dan kedalaman potong yang tinggi cenderung menghasilkan kekasaran lebih besar pada berbagai putaran *spindle* akibat peningkatan gaya potong, getaran, dan ketidakstabilan proses.

5. Optimasi parameter yang sesuai untuk proses *coating side stay arms landing gear* pada kekasaran permukaan $0,3 \mu m$ didapatkan pada kombinasi putaran *spindle* 2000 rpm, kedalaman potong 0,40 mm, serta gerak makan 0,08 dengan $R_a = 0,3106 \mu m$.

5.2 Saran

Pada kesimpulan di atas, beberapa saran yang akan disampaikan di bawah ini dapat dijelaskan:

1. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan rentang variasi parameter pemesinan yang lebih luas, terutama pada putaran *spindle*, gerak makan, dan kedalaman potong. Hal ini bertujuan untuk memperoleh pengaruh parameter yang lebih signifikan serta memungkinkan munculnya efek interaksi antar parameter yang mungkin tidak terdeteksi pada rentang parameter yang sempit.
2. Disarankan untuk melakukan penelitian pada kondisi pemotongan lain, seperti *dry machining* atau *minimum quantity lubricant* (MQL), guna mengetahui pengaruh kondisi pemotongan terhadap kekasaran permukaan secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, M., Hartono, P., & Lesmanah, U. (2018). Analisis Perbandingan Kekasaran Permukaan Pada Proses Turning. *Teknik Mesin*, *x(x)*, 1-5.
- Anwar, R., Jahanzaib, M., Asghar, G., Wasim, A., & Hussain, S. (2015). Optimization of Surface Roughness for Al Alloy 7075-T in Milling Process. *Technical Journal, University of Engineering and Technology (UET) Taxila, Pakistan*, *20(SI)(II(S))*, 153-159.
- Aydın, G., & Özkol, İ. (2022). Structural Analysis of the Nose Landing Gear of a Fighter Aircraft Bir Savaş Uçağının Burun İniş Takımının Yapısal Analizi. *43*, 126-135. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1200620>
- Firdaus, F. N., & Susanti, N. A. (2021). Pengaruh Kecepatan Putar dan Penyatan Endmill Cutter Type HSS Terhadap Tingkat Kekasaran Aluminium pada Mesin CNC. *Jurnal Pembelajaran Teknik Mesin*, *10(2)*, 103-109.
- İşleyen, Ü. K., & Karamanoğlu, M. (2019). The influence of machining parameters on surface roughness of MDF in milling operation. *BioResources*, *14(2)*, 3266-3277.
- Jayakumar, K., Abdul rahman, P. J., Manikandan, L., Aravinth, N., & Karthikeyan, A. (2023). Experimental Studies on Surface Roughness and Temperature Rise During End Milling of AL 7075. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 427-435. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3895-5_34
- John Wiley & Sons. (2013). *Design and analysis of experiments*.
- Kabade, P., & Lingannavar, R. (2013). Design and Analysis of Landing Gear Lug attachment in an Airframe. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *2(10)*, 5358-5370.

Kosarac, A., Sikuljak, L., Obradovic, C., Mladenovic, C., & Zeljkovic, M. (2020). Cutting parameters influence on surface roughness in AL 7075 milling. *2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2020 - Proceedings*, March, 18-20. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH48170.2020.9066273>

Layers, C., Katori, H., Nishioka, K., Electrodialysis, M., Zhao, J., Cui, G., & Liu, H. (n.d.). and repair. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/3/032008>

Mahendra, A., Yudo, E., Kurniawan, Z., Manufaktur, P., & Bangka, N. (2023). *Analisis Pengaruh Nilai Parameter Proses Pemesinan Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Almunium 7075*. 01(2).

Montgomery, D. C. (n.d.). *D esign and Analysis of Experiments Eighth Edition*.

Nurhabibi, A., & Mursadin, A. (2023). Pengaruh Variasi Kedalaman Pemotongan Dan Kecepatan Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075. *Jtam Rotary*, 5(2), 59. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v5i1.8460

Nurul Melani Haifa, Indah Nabilla, Virda Rahmatika, Rully Hidayatullah, & Harmonedi Harmonedi. (2025). Identifikasi Variabel Penelitian, Jenis Sumber Data dalam Penelitian Pendidikan. *Dinamika Pembelajaran : Jurnal Pendidikan Dan Bahasa*, 2(2), 256-270. <https://doi.org/10.62383/dilan.v2i2.1563>

Noviana, A., Fitri, M., & Romahadi, D. (2025). Optimization of CNC turning parameters for surface roughness of Brass 36000 using the Taguchi method. *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 7(3), 173–183.

Sartwell, B. D., Legg, K., Bretz, P. E. (2000). Status of HCAT/JG-PP Program on Replacement of Hard Chrome Plating With HVOF Thermal Spray Coatings on Landing Gear. *Proceedings of AESF Aerospace Plating and Metal Finishing Forum*, 131 - 139

Schmid, S. R. (1990). Manufacturing engineering and technology. In *Choice*

Reviews Online (Vol. 27, Issue 09). <https://doi.org/10.5860/choice.27-5145>

Sunyapa, B. (2016). Analisis Variasi Proses Milling CNC Terhadap Kekasaran Permukaan Baja ST. 41 Dengan Metode Taguchi, *Universitas Jember. Skripsi*, 84.

widhiantoro, D. (2017). *Pengaruh spindle speed dan feed rate terhadap kekasaran permukaan Al 6061 melalui proses CNC milling Sinumerik type 802S* Universitas Negri Semarang

Widodo, T. D., Suwarso, W. H., Wahyudiono, A., Raharjo, R., Bintarto, R., Sasongko, M. N., Darmadi, D. B., & Setiawan, Y. R. (2023). Pengaruh Penggunaan Minyak Jagung Untuk Cutting Fluid Pada Proses Face Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Permukaan Dan Laju Korosi Baja Karbon. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 979 - 986. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1627>

Yasin, H., Badaruddin, M., Sukmana, I., Zulhanif., Savetlana, S., (2023). Investigasi Umur Fatik Aluminium 7075-T7 Yang Mengalami Korosi Air Laut. *Jurnal Machanical*, 187(14).

Yuan, S. M., Huang, Y. Z., Zhang, C., & Zhang, Z. G. (2012). Survey of Turnmilling and Applications in Aviation. *Advanced Materials Research* (593) 385-390. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.385>

