

Analisis kekasaran permukaan tulang pada pemesian freis menggunakan metode Taguchi

Gusri Akhyar Ibrahim^{a1}, Arinal Hamni^a, Iqbal Rachmat Handoyo^b, Achmad Yahya^a,
Yanuar Burhanuddin^a, Suryadiwansa Harun^a, Yovial Mahyoeddin^c

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

³Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta Padang

¹Email korespondensi: gusri.akhyar@eng.unila.ac.id

Abstract. Tulang kortikal sebagai jenis tulang keras memainkan peran penting dalam mempertahankan stabilitas kekuatan tulang, terutama dalam kasus patah tulang. Sementara itu, sifatnya yang keras dan getas menyebabkan kerusakan pada saat pemesian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter pemesian freis terhadap nilai kekasaran permukaan tulang kortikal dalam kondisi kering menggunakan Metode Taguchi. Bedan kerja yang dipotong adalah jenis tulang kortikal sapi, bagian kaki belakang. Spesimen dibuat berbukuran panjang 6 cm, lebar 3 cm, dan tebal 1 cm. Analisis varians (ANOVA) dilakukan untuk menentukan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Pahat jenis HSS dipilih untuk pemotongan dan pemesian dilakukan tanpa menggunakan pendingin atau pelumas. Sementara itu, nilai kekasaran permukaan diukur menggunakan *surface roughness tester*. Pengukuran dilakukan di awal pemotongan dan akhir pemotongan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor gerak makan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan, dimana nilai P, masing-masing sebesar 0,021 untuk pemotongan awal dan 0,047 untuk pemotongan akhir. Sementara itu, kontribusi masing-masing 93,51% dan 88,56%. Sedangkan faktor kedalaman potong tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Kondisi parameter optimal yang diperoleh untuk pemotongan awal adalah kecepatan putar 910 rpm, gerak makan 145 mm/min, dan kedalaman potong 0,15 mm, sedangkan untuk pemotongan akhir adalah kecepatan putar 910 rpm, gerak makan 145 mm/min, dan kedalaman potong 0,20 mm.

Kata kunci: tulang kortikal, pemesian freis, kekasaran, Taguchi, analisis

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/mx47hb23>

PENDAHULUAN

Fraktur, atau yang dikenal sebagai patah tulang, umumnya disebabkan oleh kecelakaan, baik benturan langsung pada tulang maupun benturan tak langsung. Penyembuhan tulang yang patah, salah satunya dilakukan dengan pembedahan dan penyambungan tulang kembali [1][2]. Tulang kortikal merupakan makrostruktur jaringan tulang dengan sifat padat, dan keras yang berperan sebagai lapisan luar dari sebagian besar tulang penyusun rangka manusia [3]. Tindakan bedah ortopedi diperlukan untuk mengatasi masalah pada sistem gerak manusia, agar bisa mengembalikan jaringan tulang yang rusak seperti semula. Pergeseran posisi tulang diikuti oleh kerusakan jaringan otot sehingga memperlambat proses penyembuhan.

Proses pembuatan komponen implan melibatkan parameter pemesian, termasuk proses pemesian freis, untuk mendapatkan dimensi yang tepat. Dengan demikian akan membantu percepatan penyembuhan patah tulang, mengurangi kerusakan jaringan tulang dan memudahkan dalam pemasangan komponen. Permukaan hasil pemesian freis menjadi indikator kualitas permukaan benda kerja yang dimesin, menghasilkan permukaan yang halus dan dimensi yang akurat [4][5]. Pengendalian parameter pemesian freis dapat menghasilkan ketelitian permukaan, dimana

masing-masing faktor memberikan kontribusi yang nyata dalam kadar tertentu. Secara teoritis, kadar pemakanan, kecepatan pemotongan, dan kedalaman potong adalah faktor utama yang mempengaruhi kondisi permukaan benda kerja yang dimesin, termasuk dalam hal ini adalah material keras dan getas [6].

Pemesinan tulang kortikal, salah satu difokuskan perbaikan nilai kekasaran permukaan sebagai fungsi proses pemotongan yang melibatkan beberapa faktor seperti kecepatan potong, kadar pemotongan, kedalaman potong dan kondisi pemesian [7]. Kekasaran permukaan diamati di setiap perubahan waktu, dengan bervariasi parameter pemotongan. Penelitian dilakukan dalam keadaan kering, hal ini dilakukan untuk mengurangi resiko terhadap keretakan termal. Selain mengurangi resiko keretakan termal, penggunaan bahan pelumas menyebabkan pencemaran lingkungan dan resiko kesehatan [8]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter pemotongan memberikan pengaruh yang signifikan, dimana kecepatan potong dan kecepatan makan berkontribusi nyata terhadap nilai kekasaran permukaan. Walaupun pemotongan dilakukan dalam keadaan kering, akan tetapi nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan masih kecil dan dapat diterima. Dikatakan juga bahwa,

kecepatan makan satu diantara faktor yang dominan terhadap kekasaran permukaan.

Proses pemesinan tulang berbeda dengan pemesinan logam, karena tulang memiliki struktur yang unik dengan matrik padat, sehingga menyebabkan tulang bersifat keras dan getas. Tulang mengandung mineral keras seperti kalsium dan pospor, sehingga mengakibatkan karakteristik berbeda dengan logam [9]. Selain mengandung kalsium dan pospor, kandungan kalogen berupa serabut menyebabkan pemotongan tulang menjadi tidak mudah, karena serabut kalogen menyebabkan tulang menjadi kaku dan bila dimesin menyebabkan permukaan tulang menjadi tidak halus. Kekasaran permukaan komponen tulang yang diinginkan adalah halus, tetapi karena ada serabut menjadi lebih sulit untuk mendapatkan permukaan yang halus [10]. Serabut juga menyebabkan munculnya *burr* pada teping pemotongan.

Tulang kortikal yang memiliki struktur padat dan keras berfungsi untuk melindungi organ vital pada tubuh manusia, terutama ketika terjadi benturan dan beban tiba-tiba. Material tulang ini memiliki modulus elastisitas tinggi, yakni sebesar 20 GPa, sehingga dikatakan bersifat keras dan terkadang rapuh. Sedangkan jenis tulang kanselos memiliki bersifat lebih rapuh, kurang padat, dan memiliki modulus elastisitas rendah sebesar 1 GPa [11]. Nilai modulus elastisitas yang tinggi membuat tulang tidak mudah dimesin, memerlukan jenis pahat yang sesuai, bahkan permukaan yang dihasilkan cenderung mengalami kerusakan. Serpihan yang dihasilkan berukuran kecil dan cenderung menempel dan bertebaran di permukaan benda kerja.

Pembuatan komponen implan tulang dilakukan menggunakan mesin freis, dimana untuk menghasilkan permukaan yang halus diperlukan pemilihan parameter pemesinan. Kecepatan potong dan kecepatan makan adalah dua faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Untuk mendapatkan ketelitian dimensi komponen ditentukan oleh keadaan permukaan, terutama kekasaran permukaan [12]. Walaupun nilai kekasaran permukaan juga ditentukan oleh jenis pemesinan, akan tetapi faktor kecepatan makan mendominasi terhadap nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan. Kondisi pemesinan menggunakan pelumas akan mengurangi gesekan, akan tetapi meningkatkan potensi pencemaran lingkungan dan berbahasa bagi operator.

Selain nilai kekasaran permukaan yang menjadi sasaran, proses freis juga melibatkan gaya potong, karena gaya potong memegang peranan penting. Getaran yang terjadi pada proses pemotongan disebabkan oleh gaya potong yang terjadi selama proses pemotongan. Oleh karena itu, gaya potong dapat dikendalikan melalui pemilihan parameter

pemotongan dan jenis pemesinan yang digunakan [13]. Jika gaya potong terlalu besar dapat menyebabkan kegagalan pada pahat potong atau merusak permukaan benda kerja yang dimesin. Getaran yang terjadi berkorelasi langsung dengan keadaan permukaan yang dihasilkan. Jika getaran meningkat maka proses pemotongan menjadi terganggu, tidak ada kestabilan sehingga nilai kekasaran permukaan akan menjadi besar.

Selain parameter pemotongan dan gaya potong, nilai kekasaran permukaan ditentukan oleh jenis pemotongan, dimana penggunaan pelumas memegang peran penting untuk menghasilkan permukaan yang berkualitas. Nilai kekasaran permukaan yang rendah menunjukkan keadaan permukaan yang halus, dan ini menghasilkan dimensi yang presisi [14]. Namun, penggunaan pelumas juga berdampak terhadap lingkungan kerja, baik kondisi lantai, maupun udara sekitar, yang berdampak langsung terhadap kesehatan [15]. Oleh karena itu, proses pemesinan tanpa menggunakan pelumas atau pemesinan kering masih banyak digunakan, untuk menghindari kerusakan lingkungan. Hal lain yang penting juga adalah, penggunaan pelumas menyisakan limbah pelumas yang sulit untuk didaur ulang atau dimusnahkan. Pemesinan kering atau tanpa menggunakan pelumas juga mengurangi biaya pemesinan, sebab bila menggunakan pelumas biaya terbesar adalah biaya pengolahan limbah.

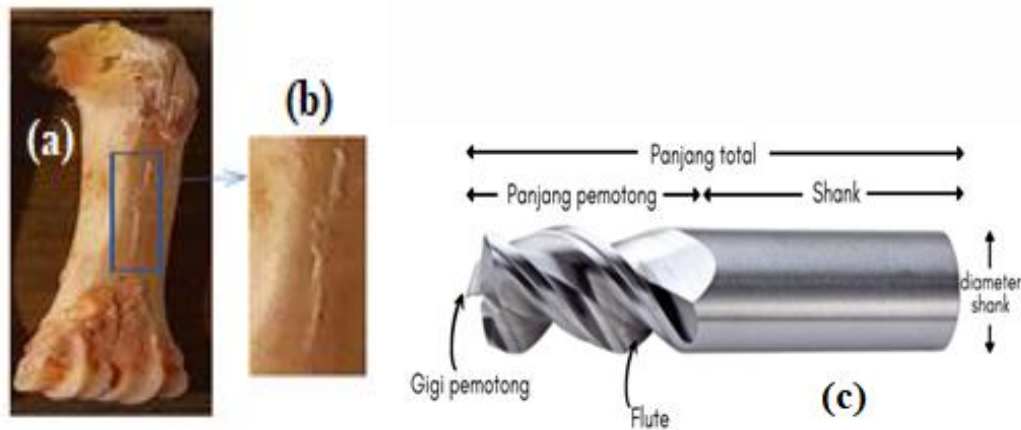
Metode Taguchi direkomendasikan untuk menentukan parameter yang optimal dari proses pemesinan dan sekaligus mendapatkan pengaruh dari masing-masing parameter pemotongan. Sebagaimana yang dilakukan oleh Ibrahim, et.al. [16] bahwa Metode Taguchi baik dilakukan untuk proses optimasi parameter pemesinan karena menggunakan jumlah sampel yang sedikit akan tetapi dengan hasil yang baik. Metode ini dikenal sebagai metode yang bersifat kuat (*robust*) karena dipandang dapat mempertahankan hasil yang baik sekalipun dengan jumlah sampel yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode lainnya. Implementasi ini dilakukan pada benda kerja material logam. Bagaimanapun juga, material logam dan tulang, memiliki kesamaan sifat, diantaranya bersifat keras dan memerlukan permukaan yang halus. Oleh karena itu, Metode Taguchi ini dapat digunakan untuk melakukan optimasi parameter pemesinan dan pengaruh parameter terhadap tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan.

METODOLOGI

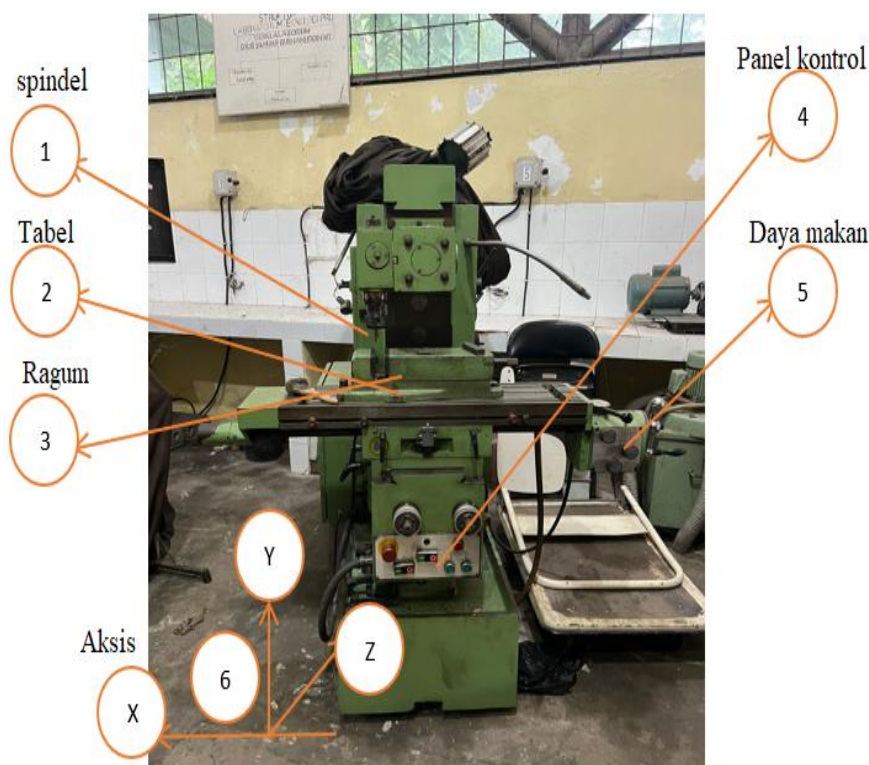
Pada penelitian ini, Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan pengaruh masing-masing parameter terhadap respon, nilai kekasaran permukaan. Metode pemesinan kering atau tanpa menggunakan pelumas ditujukan untuk mengurangi dampak terhadap

lingkungan dan juga mengurangi biaya pemesinan. Pada kajian ini juga digunakan jenis tulang kortikal sapi bagian kaki belakang. Tulang ini diperoleh dari tempat pemotongan sapi. Bagian tulang kortikal atau keras dipotong menjadi benda kerja dengan dimensi

panjang 6 cm, lebar 3 cm, dan tebal 1 cm (Gambar 1a dan 1b). Sedangkan pahat potong yang digunakan adalah pahat potong *end mill* berdiameter 6 mm dan 4 *flute*. Pahat ini terbuat dari bahan *High Speed Steel* yang bersifat tahan terhadap *abrasive* (Gambar 1c).



Gambar 1. Tulang kortikal sapi dan pahat potong HSS



Gambar 2. Mesin Freis Universal Mikro 12

Tabel 1. Desain Parameter pengujian

Faktor	Level		
	1	2	3
Kecepatan Putaran (rpm)	653	910	1280
Gerak makan (<i>Feeding</i>) (mm/min)	145	220	365
Kedalaman potong (mm)	0,25	0,20	0,15

Gambar 2 menunjukkan mesin freis yang digunakan untuk memotong tulang kortikal, dimana benda kerja (tulang kortikal) diletakan pada meja kerja. Pemilihan parameter pemotongan dilakukan mengacu pada penelitian sebelumnya, jenis pahat dan benda kerja yang digunakan. Benda kerja dijepit sedemikian rupa untuk memastikan benda kerja dalam keadaan kaku atau rigid. Pengujian dilakukan mengacu pada Tabel 1, dimana ada 3 parameter pemotongan yaitu kecepatan putaran, gerak makan dan kedalaman potong. Masing-masing parameter terdiri dari 3 level, sehingga jumlah sampel yang diperlukan adalah sebanyak 9 buah. Metode Taguchi merekomendasikan bahwa bila menggunakan 3 faktor dan masing-masing faktor terdiri dari 3 level, maka jumlah eksperimen yang diperlukan adalah 9 [17].

Proses pemotongan dilakukan sepanjang benda kerja, di awal i pada lintasan pertama, kemudian dilanjutkan pada lintasan berikutnya. Pemotongan dilakukan berulang kali, hingga pemotongan dihentikan. Nilai kekasaran permukaan diukur pada awal pemotongan dan pada akhir pemotongan menggunakan *surface roughness tester*. Di awal pemotongan, pengukuran nilai kekasaran permukaan dilakukan pada akhir lintasan pertama. Sementara itu, nilai kekasaran permukaan ada akhir pemotongan, diukur pada akhir lintasan terakhir. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pada area yang sama, hal ini untuk memastikan nilai kekasaran permukaan terukur mewakili nilai kekasaran permukaan sesungguhnya.

Metode Taguchi juga digunakan untuk menganalisis data nilai kekasaran permukaan yang diukur. Analisis varian dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap nilai kekasaran permukaan dan besarnya kontribusi masing-masingnya. Optimasi parameter pemotongan untuk respon tunggal diperoleh, sehingga dapat diketahui parameter yang memberikan nilai kekasaran permukaan tulang yang paling baik, dalam hal ini nilai kekasaran permukaan yang paling kecil adalah lebih baik dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan yang besar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menunjukkan data hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan tulang kortikal pada bagian awal pemotongan dan akhir pemotongan. Sembilan sampel pengujian dengan variasi parameter pemotongan yang berbeda-beda menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan pada akhir pemotongan

lebih besar dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan pada awal pemotongan. Pemotongan menggunakan kecepatan putaran sebesar 653 rpm, gerak makan 145 mm/min, dan kedalaman potongan 0.25 mm, menghasilkan nilai kekasaran permukaan sebesar 0.20 μm (awal pemotongan) dan 0.26 μm (akhir pemotongan). Hal ini menunjukkan peningkatan nilai kekasaran permukaan, atau dapat pula dikatakan bahwa waktu pemotongan memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Selain waktu pemotongan, parameter pemotongan memberikan pengaruh juga terhadap nilai kekasaran permukaan. Semakin tinggi gerak makan yang digunakan maka nilai kekasaran permukaan yang didapat juga akan semakin tinggi [18].

Peningkatan nilai kekasaran permukaan pada akhir pemotongan dapat disebabkan oleh aus pahat potong yang terjadi. Pahat mengalami aus setelah beberapa waktu penggunaannya, terutama pada bagian ujung mata pahat. Hal ini menyebabkan mata pahat mengalami aus, sehingga jari-jari mata pahat menjadi lebih besar [8]. Secara teoritis, mata pahat yang sudah tidak tajam akan menyebabkan peningkatan gaya potong. Keausan pahat mengurangi ketajaman dan bentuk optimalnya, menyebabkan proses pemotongan menjadi kurang efisien dan menghasilkan permukaan yang lebih kasar. Bhushan [19] menekankan bahwa kualitas produk sangat dipengaruhi oleh keausan pahat, karena keausan pahat memberikan pengaruh langsung terhadap nilai kekasaran permukaan.

Tabel 3 menunjukkan analisis varian nilai kekasaran permukaan tulang kortikal pada awal pemotongan. Faktor gerak makan merupakan faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin. Faktor gerak makan memiliki P-Value terendah sebesar 0,021, dan nilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan 0.05. Sedangkan dua faktor lain, kecepatan putaran dan kedalaman potong tidak memberikan pengaruh secara signifikan. Gerak makan memberikan kontribusi sebesar 93,51%. Nilai kontribusi ini jauh lebih besar dibandingkan faktor lainnya. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa peningkatan gerak makan berbanding lurus dengan peningkatan kekasaran permukaan. Pernyataan serupa juga dikatakan bahwa faktor yang paling mempengaruhi nilai kekasaran permukaan pada proses pemesinan freis adalah gerak makan [20][16].

Tabel 2. Hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan

No	Kecepatan Putaran (rpm)	Gerak Makan (<i>Feeding</i>) (mm/min)	Kedalaman Potong (mm)	Hasil Nilai Kekasaran (μm)	
				Pemotongan Awal	Pemotongan Akhir
1	653	145	0,25	0.20	0.26
2	653	220	0,20	0.36	0.59
3	653	365	0,15	0.59	1.15
4	910	145	0,20	0.13	0.23
5	910	220	0,15	0.16	0.72
6	910	365	0,25	0.64	0.87
7	1280	145	0,15	0.16	0.36
8	1280	220	0,25	0.26	0.92
9	1280	365	0,20	0.62	1.00

Tabel 3. Hasil ANOVA untuk nilai kekasaran permukaan pemotongan awal

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Persen Kontribusi (%)
Kecepatan Putar	2	0.00806	0.004033	1.12	0.472	2,20
Gerak Makan	2	0.34206	0.171033	47.51	0.021	93,51
Kedalaman Potong	2	0.00846	0.004233	1.18	0.460	2,31
Error	2	0.0072	0.003600			1,96
Total	8	0.3658				

Secara teoritis, hubungan nilai kekasaran permukaan berbanding lurus dengan faktor gerak makan, bahkan perbandingannya kuadratik. Jika nilai gerak makan ditingkatkan maka nilai kekasaran juga meningkat secara kuadratik. Demikian juga nilai kekasaran permukaan berkorelasi dengan jari-jari ujung mata pahat. Jika jari-jari mata pahat semakin besar (aus mata pahat bertambah), maka jarak antara puncak gerak makan akan bertambah besar. Hal itu dikorelasikan dengan rumus berikut.

$$Ra = \frac{f^2}{8R}$$

f : Gerak makan

R : Jari jari alat potong

Tabel 4 menunjukkan analisis varian untuk nilai kekasaran permukaan tulang kortikal yang dimesin menggunakan pahat HSS pada akhir pemotongan. Faktor gerak makan merupakan faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan, dengan

nilai P sebesar 0,047. Sedangkan faktor lain, kecepatan putaran dan kedalaman potong, tidak memberikan pengaruh signifikan karena nilai P-nya lebih besar dibandingkan dengan 0,05. Hasil ini sama dengan yang ditunjukkan pada nilai kekasaran permukaan di awal pemotongan. Sehingga dapat dikatakan bahwa, baik di awal pemotongan ataupun di akhir pemotongan, faktor yang memberikan pengaruh signifikan adalah kecepatan pemakanan. Sebagaimana disampaikan, faktor kecepatan makan mempunyai korelasi yang kuat dengan nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin [21]. Nilai kekasaran permukaan merupakan fungsi dari banyak puncak dan lembah pada permukaan, yang kemudian dirata-ratakan. Sedangkan banyaknya puncak dan lembah adalah fungsi dari besarnya kecepatan makan dalam satuan waktu tertentu. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang kecil, faktor kecepatan makan dipilih dengan kadar yang kecil juga. Bagaimanapun juga, kecepatan makan bukan satu-satunya faktor yang berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan tulang dimesin.

Tabel 4. Hasil ANOVA untuk nilai kekasaran permukaan pemotongan akhir

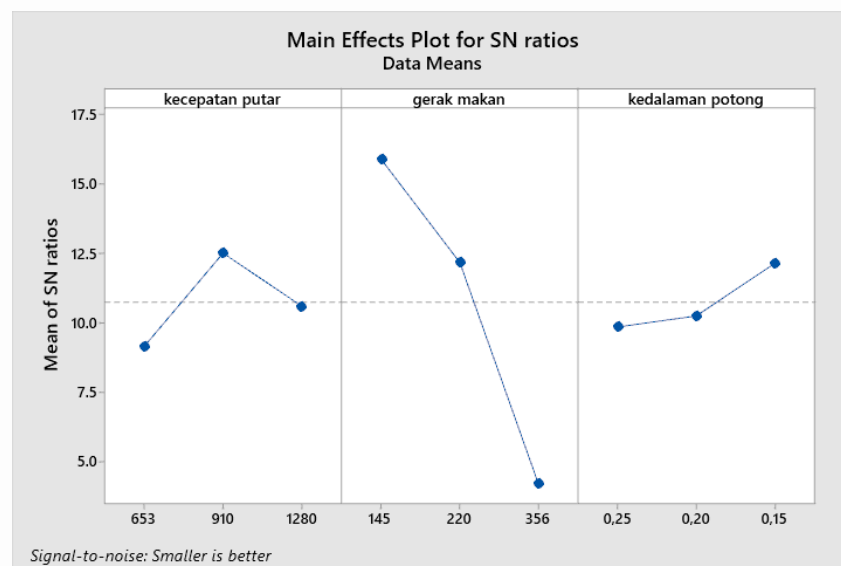
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Persen Kontribusi (%)
Kecepatan Putar	2	0.0358	0.01791	0.90	0.526	3,94
Gerak Makan	2	0.8041	0.40208	20.19	0.047	88,56
Kedalaman Potong	2	0.0281	0.01408	0.71	0.586	3,10
Error	2	0.0398	0.01991			4,4
Total	8	0.9079				

Tabel 5. Perengkingan nilai SN rasio kekasaran permukaan di awal pemotongan

Level	Kecepatan Putar	Gerak Makan	Kedalaman Potong
1	9.145	15.873	9.852
2	12.505	12.164	10.249
3	10.590	4.204	12.139
Delta	3.360	11.669	2.287
Rank	2	1	3

Tabel 6. Perengkingan nilai kekasaran permukaan di akhir pemotongan

Level	Kecepatan Putar	Gerak Makan	Kedalaman Potong
1	5.0232	11.1133	4.5448
2	5.6095	2.7202	5.7828
3	3.1994	-0.0014	3.5044
Delta	2.4101	11.1148	2.2784
Rank	2	1	3



Gambar 3. Plot kondisi optimal nilai kekasaran permukaan tulang di awal pemotongan

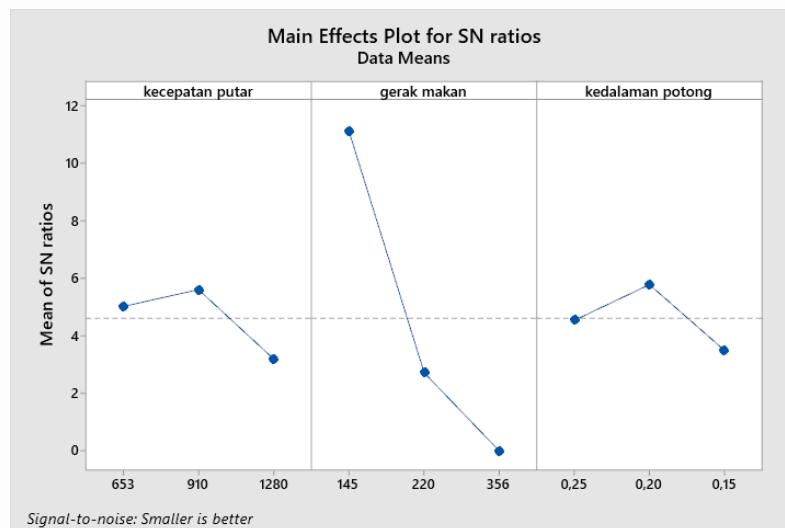
Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan perengkingan nilai SN rasio untuk nilai kekasaran permukaan di awal pemotongan dan di akhir pemotongan. Baik untuk di awal pemotongan ataupun di akhir pemotongan, faktor gerak makan merupakan faktor yang paling dominan terhadap nilai kekasaran permukaan [22]. Selanjutnya diikuti oleh faktor kecepatan putaran dan

kedalaman potong. Untuk kaedah perengkingan, jumlah delta yang paling besar merupakan faktor yang memberikan pengaruh lebih besar, sehingga faktor gerak makan disimpulkan sebagai faktor yang paling besar memberikan kontribusi, dimana nilai deltanya sebesar 11.669 (di awal pemotongan) dan 11.1148 (di akhir pemotongan).

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan plot kondisi optimal parameter terhadap nilai kekasaran permukaan tulang yang dimesin, baik di awal pemotongan ataupun di akhir pemotongan. Untuk di awal pemotongan, kondisi parameter optimal yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terbaik adalah kecepatan putaran sebesar 900 rpm, gerak makan sebesar 145 mm/min, dan kedalaman potong sebesar 0.15 mm. Gerak makan yang kecil menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah. Sementara demikian juga dengan kedalaman potong, dimana kedalaman potong yang kecil menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil juga [23].

Sedangkan untuk di akhir pemotongan, kondisi optimal parameter pemotongan yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terbaik dicapai pada nilai SN rasio yang terbesar. Untuk kecepatan putaran

sebesar 900 rpm, gerak makan sebesar 145 mm/min, dan kedalaman potong sebesar 0.20 mm. Kondisi di akhir pemotongan ini sama dengan yang dicapai pada di awal pemotongan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa, baik untuk di awal pemotongan ataupun di akhir pemotongan kondisi optimal pemilihan parameter pemotongan adalah sama. Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa di awal pemotongan dan di akhir pemotongan, kemungkinan waktu pemotongan tidak berelang lama. Kemungkinan lain adalah aus yang terbentuk pada pahat potong belum banyak, atau belum melampaui batas aus. Sebab jika aus sudah terbentuk pada mata pahat maka hal itu akan berdampak terhadap kualitas permukaan, termasuk nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dimesin [17].



Gambar 4. Plot kondisi optimal nilai kekasaran permukaan tulang di akhir pemotongan.

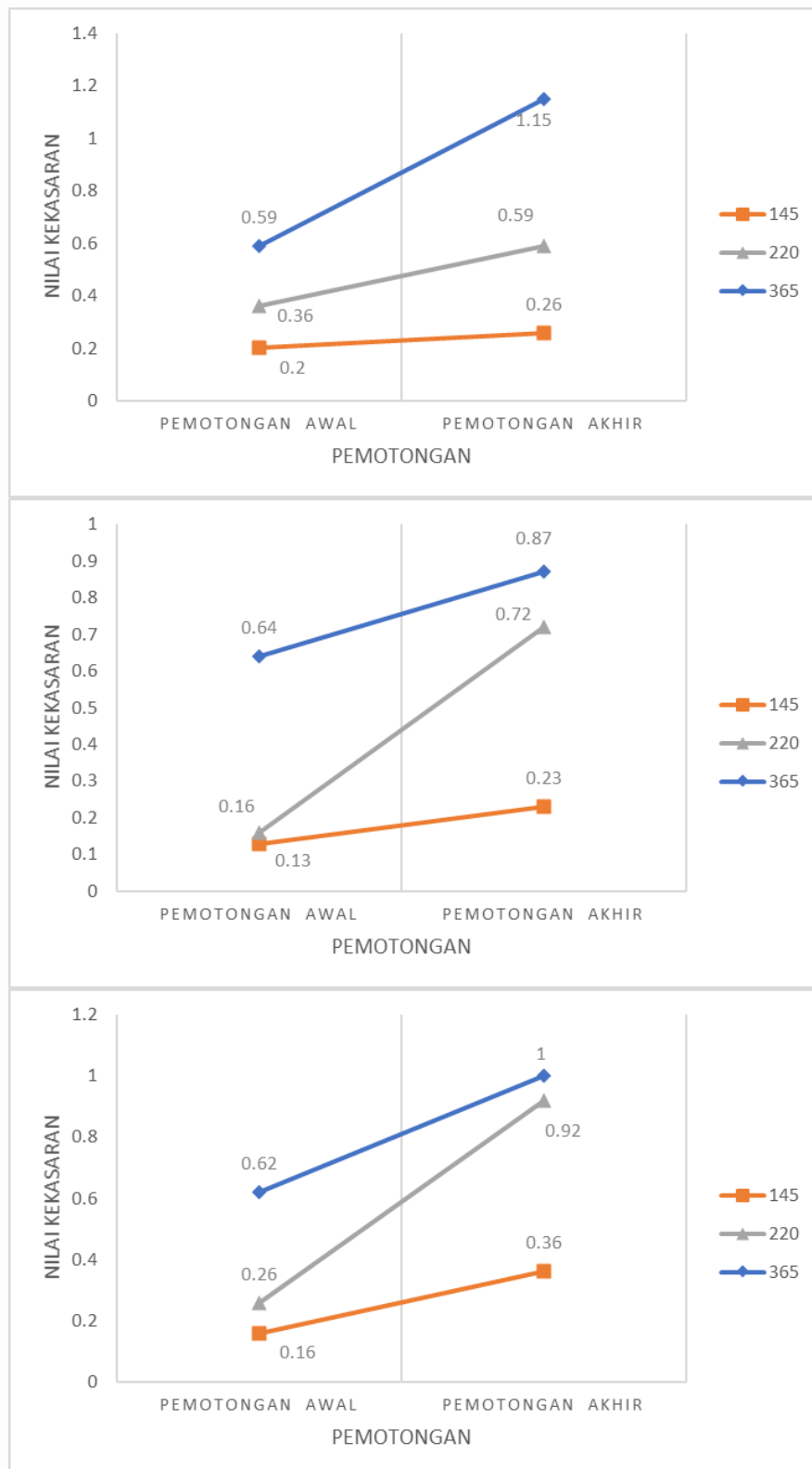
Faktor gerak makan menunjukkan keselarasan teori dengan hasil pengujian, dimana semakin rendah nilai gerak makan maka nilai kekasaran yang dihasilkan menjadi semakin halus atau semakin kecil. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nasution [24] yang menyatakan semakin rendah nilai gerak makan maka nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan juga akan semakin rendah. Bagaimanapun juga, faktor kecepatan putaran juga memberikan kontribusi, akan tetapi kontribusinya adalah kecil. Kecepatan putaran lebih banyak perannya terhadap perubahan aus pahat potong, dimana aus banyak dipengaruhi oleh suhu pemotongan yang dihasilkan selama proses pemesinan berlangsung [21].

Gambar 5 menunjukkan pengaruh gerak makan terhadap nilai kekasaran permukaan tulang yang dimesin pada kondisi pemotongan yang bervariasi. Pengaruh ini menunjukkan antara di awal pemotongan dan di akhir pemotongan. Secara umum, di akhir

pemotongan menunjukkan nilai kekasaran permukaan lebih besar dibandingkan dengan di awal pemotongan. Selanjutnya, Pemotongan pada gerak makan yang lebih besar menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih besar juga. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa baik waktu pemotongan atau gerak makan, kedua-duanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan tulang kortikal.

Pada gerak makan 145 mm/min dan 365 mm/min, kenaikan nilai kekasaran permukaan antara di awal pemesinan dan di akhir pemesinan, menunjukkan peningkatan yang hampir sama. Peningkatannya cenderung tidak ekstrim, akan tetapi peningkatan yang reguler. Sementara para gerak makan 220 mm/min, peningkatan nilai kekasaran permukaan antara di awal dan di akhir pemotongan, cenderung tajam. Tidak diketahui penyebabnya, karena pada Gambar 5b, peningkatan nilai kekasaran permukaan tidak ekstrim.

Bagaimanapun juga, hal ini kemungkinan sebagai akibat dari aus yang terjadi pada pahat potong.



Gambar 5. Pengaruh gerak makan terhadap nilai kekasaran permukaan

Waktu potongan dan gerak makan adalah dua faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan, dimana waktu potongan merupakan fungsi dari daya tahan

pahat. Aus yang terjadi pada permukaan pahat secara langsung memberikan pengaruh terhadap tekstur permukaan benda kerja yang dimesin atau diwakili

oleh nilai kekasaran permukaan. Sedangkan gerak makan memberikan kesan langsung pada puncak dan lembah yang terbentuk setelah pemotongan. Setiap jarak puncak ke puncak berikutnya pada permukaan yang dimesin merupakan representatif dari gerak makan yang digunakan. Jika menggunakan gerak makan yang besar, maka jarak antara puncak ke puncak berikutnya, juga besar.

KESIMPULAN

Parameter pemesinan tulang kortikal yang memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan, baik di awal pemotongan ataupun di akhir pemotongan adalah gerak makan, dimana nilai p -nya adalah sebesar 0.021 dan 0.047, untuk masing-masingnya. Sedangkan kontribusi gerak makan pada pemotongan awal dan akhir masing-masing adalah 93,51% dan 88,56%. Sebaliknya faktor

kecepatan putaran dan kedalaman potong tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Kondisi pemesinan yang memberikan nilai kekasaran permukaan tulang yang dimesin adalah; untuk pemotongan awal diperoleh kecepatan putar 910 rpm, gerak makan 145 mm/min, dan kedalaman potong 0,15 mm. Sementara itu, untuk pemotongan akhir didapatkan kecepatan putar 910 rpm, gerak makan 145 mm/min, dan kedalaman potong 0,20 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung yang telah memberikan kesempatan mengembangkan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memfasilitasi akses peralatan untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gusri, A. I., Arinal, H., Yanuar, B., Yahya, M. 2024, Optimization of Machining Parameters on The Geometry Precision of Cortical Screw of Ti-6Al-4V ELI Using Gray Relational Analysis Method, INSIGHT - Indonesian Society for Knowledge and Human Development, Vol. 14. No. 02, DOI : <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.19348>
- [2] Hardianto, T., Ayubana, S., & Inayati, A. (2022). Penerapan Kompres Dingin Terhadap Skala Nyeri Pada Pasien Post Operasi Fraktur. *Jurnal Cendikia Muda*, 4(2), 590–594.
- [3] Waruwu, K. G., Suprihanto, A., Haryadi, G. D., & Berlin, R. (2023). Analisis Pengaruh Larutan Infus Saline Water Dan Ringer Lactate Terhadap Laju Korosi Paduan Titanium Ti-6Al-4V Yang Digunakan Untuk Implan Tulang. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(4), 179–186.
- [4] Ibrahim, G.A., Yanuar, B., Suryadiwansa, H., Andre, F., Arzag, D., Sartika, D., Dendi, A. (2025). Enhancing Precision and Reducing Surface Damage in Ti-6Al-4V ELI Cortical Screws, *Engineering Letters*, vol 33, Issued 4, pg. 886 – 897. https://www.engineeringletters.com/issues_v33/issue_4/EL_33_4_09.pdf
- [5] Muttahid, M., Nurrohkeyati, A. S., & Nugroho, A. (2022). Pengaruh Sudut Potong Utama Endmill, Kecepatan dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material St 37 Pada Proses Frais Konvensional. *Journal Technology Urgency Breaktrugh in Engineering*, 1(1), 150–164.
- [6] Gusri, A.I., Cici, S., Arinal, H., Yanuar, B., Suryadiwansa, H., Andi, K. 2023, Optimasi parameter pemesinan ulir material titanium Ti-6Al-4V ELI terhadap jarak pitch dan sudut ulir menggunakan Metode Taguchi, *Jurnal Mesin* <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/JMN>, DOI : 10.29407/jmn.v6i2.20182
- [7] Thounaojam, A., & Birru, A. K. (2020). *Bone machining: An analysis of machining parameters such as cutting speed, feed rate, and depth of cut using bovine bone*. 24, 39–51.
- [8] Gusri, A.I., Arinal, H. 2019, Analisis Kekasaran Permukaan Dan Kebulatan Pada Pemesinan Drill Paduan Magnesium Menggunakan Metode Taguchi, *Jurnal Machine*, Vol. 5, <http://journal.ubb.ac.id/index.php/machi>
- [9] Arzaq, G. D., Gusri, A.I., Suryadiwansa, H., Yanuar, B. 2024, Investigation of Drilling Parameters Affecting Borehole Circularity in Cortical Bone SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 18. No. 02, DOI: <https://doi.org/10.24853/sintek.18.2.71-79>
- [10] As Syiba, G. N., Supriatno, B., & Anggraeni, S. (2020). Analisis dan Rekonstruksi LKPD Berbasis Abad 21 Pada Praktikum Tulang. *Biodik*, 7(2), 97–109.
- [11] Saputra, E. W., Burhanuddin, Y., & Harun, S. (2023). *Pemodelan dan simulasi pengeboran pada proses pengeboran tulang dalam pembedahan ortopedi*. 4, 68–75.
- [12] Cahyo, F. N., Apriana, A., & Yuhana, D. (2023). *Uji Kelayakan Mesin Frais Vertikal Tipe SM-5 dengan Pengujian Ketelitian Geometrik*. 808–817.
- [13] Susanto, A., Yuwono, I., Wahyudi, N., & Eka Wicaksono, R. (2021). Analisa Gaya Potong pada Proses Frais Komponen Kereta Api Menggunakan OCTAVE: Bagian 1 Up Milling. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*,

13(02), 60–67.

- [14] Syaiful, Irwan, M., & Fitrah, M. A. (2023). Analisis Struktur Kekasaran Permukaan Baj St 42 Pada proses Pembubutan dengan Menggunakan Foto Makro. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 223–230. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1777>
- [15] Arinal, H., Aditya, P., Gusri, A.I. 2022, Implementasi Minimum Quantity Lubrication (MQL) pada pembuatan ulir luar material magnesium, *Jurnal Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-5, <https://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/160>
- [16] Ibrahim, G. A., Hamni, A., & Libiru, R. (2020). Analisis Koefisien Pengurangan Tatal (Chip Reduction Coefficient) Pada Pemesinan Bubut Magnesium Az31 Menggunakan Pahat Putar. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 399–409.
- [17] Gusri, A.I., Arinal, H. 2019, Analisis Kekasaran Permukaan Dan Kebulatan Pada Pemesinan Drill Paduan Magnesium Menggunakan Metode Taguchi, *Jurnal Machine*, Vol. 5.
- [18] Trung, D. D. (2020). Influence of cutting parameters on surface roughness during milling aisi 1045 steel. *Tribology in Industry*, 42(4), 658–665.
- [19] Bhushan, R. K. (2022). Effect of tool wear on surface roughness in machining of AA7075/ 10 wt.% SiC composite. *Composites Part C: Open Access*, 8(March), 100254.
- [20] Mataram, N., Ramadhani Saputra, S., & Setiyawan, K. (2020). Optimasi Parameter Proses Milling dengan Pendinginan Fluida Alami (Cold Natural Fluid) terhadap Kualitas Permesinan Baja ST 42 dengan Metode Taguchi Nalendro. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Tahun 2020 (SENASTIKA 2020) Universitas Islam Kalimantan MAB*.
- [21] Gusri, A.I., Arinal, H. 2020, Analisis Keausan Pahat pada Pemesinan Bor Magnesium AZ31 Menggunakan Metode Taguchi *Jurnal Teknik Mesin – ITI*, Vol. 4, <http://https://www.jtmiti.org/index.php/>
- [22] Gusri, A.I., Endra, S. 2023, Pemesinan Paduan Ti-6Al-4V ELI, *Jurnal: Armatur: Turbo Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, Volume: 12, No. 2, pp. 221-229, ISSN: 2477-250X <https://ojs.ummmetro.ac.id/index.php/turbo/article/view/2829>
- [23] Aulia, R., A, Y., Abadi, Z., & Sari, D. Y. (2022). Analisis Pengaruh Parameter Pemesinan, Metode Penyayatan Dan Material Pisau Fraisi Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Pada Proses End Milling Surfaces Finish. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 4(4), 70–81.
- [24] Nasution, A. H. (2022). Pengaruh Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Aisi 1045 Menggunakan Pahat Intan. *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 307–309.