

# Peningkatan Kehalusan Produk Pada Industri Kecil Cetakan Dengan Pendekatan Eksperimental

Yohanes T. Wibowo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pembuatan Peralatan dan Perkakas Produksi, Politeknik Astra, Cikarang, Indonesia

Email: <sup>1\*</sup>[yohanes.trijoko@polytechnic.astra.ac.id](mailto:yohanes.trijoko@polytechnic.astra.ac.id)

(\* : coresponding author)

**Abstrak** – Dewasa ini, efisiensi mesin cnc milling menjadi satu satu isu krusial dalam industri secara umum dan terlebih lagi dalam industri kecil. Hal ini dikarenakan tingginya utilisasi, tetapi belum dibarengi efisiensi. Efisiensi mesin yang rendah menimbulkan dampak pada aspek finansial industri. Selain masalah efisiensi, ketidakpastian hasil pemesinan juga menjadi isu besar karena dampaknya terhadap waktu, biaya, dan kepercayaan pelanggan yang besar. Tidak tercapainya kekasaran permukaan berdampak pada proses rework, lembur, sampai dengan mengganti material dan memulai proses dari awal, dimana semua ini bermuara pada biaya. Dengan aktivitas bersama industri dengan akademisi, dirancanglah suatu eksperimen untuk meningkatkan kualitas permukaan produk serta menjamin pencapaian spesifikasi produk. Dengan aktivitas ini, diperoleh parameter pemesinan yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan sesuatu target secara meyakinkan. 6 buah spesimen yang diuji, memberikan hasil yang 100% sesuai target.

**Kata Kunci:** Optimasi, Kekasaran Permukaan, Eksperimental, Cetakan, CNC Milling

*Abstract* – Nowadays, the efficiency of CNC milling machines has become one of the crucial issues in the industry in general and especially in small industries. This is due to high utilization but not efficiency. Low machine efficiency has an impact on the financial aspects of the industry. In addition to the issue of efficiency, the uncertainty of machining results is also a major issue because of its impact on time, cost, and large customer trust. Failure to achieve surface roughness results in rework, overtime, replacing materials, and starting the process from the beginning, all of which end in replacing materials and starting the process from the beginning, all of which end in costs. Through joint activities between industry and academia, an experiment was designed to experiment to improve the quality of the product surface and ensure that the product specifications are achieved. With this activity, machining parameters were obtained that could convincingly produce the target surface roughness. A total of 6 specimens were tested, and achieved 100% as targeted.

**Keywords:** Optimization, Surface Roughness, Experimental, Mould, CNC Milling

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan efisiensi mesin CNC milling menjadi langkah krusial dalam mencapai keuntungan optimal bagi perusahaan dan masyarakat secara menyeluruh. Dengan populasi mesin CNC milling yang mendominasi industri manufaktur pemesinan, keterbatasan energi listrik dan ketergantungan pada sumber daya fosil semakin meningkat, menuntut perlunya efisiensi [1] dan pengelolaan yang lebih baik. Mesin CNC milling, meskipun mengonsumsi energi listrik secara besar-besaran, menghadapi tantangan serius karena efisiensinya yang rendah, berkisar hanya sekitar 15-20% [2]. Hal ini menjadi hambatan signifikan bagi perusahaan dalam mencapai keberlanjutan dan efisiensi operasional, memaksa mereka untuk mencari solusi yang inovatif dan berkelanjutan.

Tantangan utama yang dihadapi berkaitan dengan ketergantungan pada sumber daya energi fosil yang tidak dapat diperbarui dan memiliki keterbatasan. Langkah-langkah untuk mengurangi konsumsi energi listrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan listrik pada mesin CNC milling menjadi sangat krusial untuk merawat kelangsungan sumber daya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan melakukan optimalisasi kinerja mesin CNC milling, perusahaan memiliki kesempatan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan turut serta dalam inisiatif global untuk menjaga keberlanjutan bumi [3], [4].

Selain memperhatikan konsumsi energi, kinerja mesin CNC Milling memiliki peran penting dalam memastikan pencapaian tujuan teknis atau mencapai spesifikasi produk [5], [6] atau benda kerja yang terinci dalam gambar kerja. Kegagalan dalam mencapai spesifikasi benda kerja bukan hanya berdampak pada pemborosan sumber daya seperti waktu [7], tenaga kerja, biaya mesin, tetapi

juga sumber daya pendukung lainnya. Dalam lingkup industri pemesinan, optimasi melalui variasi parameter menjadi suatu konsep umum untuk mencapai efisiensi dalam proses produksi.

Di samping itu, dari sudut pandang bisnis, peningkatan performa mesin CNC milling akan membawa beragam keuntungan keuangan bagi perusahaan. Peningkatan efisiensi operasional akan mengurangi biaya produksi, mempercepat proses manufaktur, dan meningkatkan keseluruhan produktivitas. Dengan manajemen parameter yang akurat, mesin CNC milling dapat dijalankan dengan lebih stabil, menghasilkan produk yang lebih berkualitas, yang pada gilirannya akan meningkatkan kepuasan pelanggan dan reputasi perusahaan di pasar.

Kemajuan teknologi serta penelitian pada sektor manufaktur dan mesin CNC milling memiliki peran signifikan dalam mencapai performa terbaik. Melalui penelitian teoritis dan upaya penelitian berkelanjutan, para pakar dapat merancang teknologi dan strategi terbaru untuk meningkatkan kinerja mesin CNC milling secara lebih efisien. Inovasi-inovasi ini berpotensi membantu perusahaan meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam konteks yang lebih mendalam, perlu dilakukan upaya dan kegiatan untuk meningkatkan kinerja pemesinan, yang juga memiliki dampak positif bagi masyarakat secara menyeluruh. Dengan mengoptimalkan penggunaan energi listrik dan mengelola sumber daya dengan cerdas, kita dapat mengurangi beban pada infrastruktur energi dan mencegah terjadinya pemadaman listrik yang dapat merugikan banyak orang. Selain itu, langkah-langkah untuk mencapai keberlanjutan energi [8] akan membawa manfaat jangka panjang dengan memastikan ketersediaan energi untuk generasi yang akan datang.

Secara menyeluruh, upaya dan kegiatan untuk meningkatkan kinerja mesin CNC milling sangat penting karena berdampak positif pada keuntungan perusahaan, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan masyarakat secara umum. Dengan mengoptimalkan kinerja mesin ini, perusahaan dapat mencapai efisiensi operasional dan keunggulan kompetitif, sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan sumber daya. Melalui penelitian dan inovasi berkelanjutan, kita dapat mencapai tujuan ini dan membentuk masa depan yang lebih baik untuk industri pemesinan dan masyarakat pada umumnya.

Dalam lingkungan industri kecil, peningkatan kinerja mesin CNC milling adalah tantangan krusial yang memerlukan perhatian serius. Meskipun produksi dalam skala kecil memiliki keterbatasan, efisiensi dan peningkatan kinerja mesin CNC milling memiliki dampak signifikan terhadap daya saing, keberlanjutan, dan profitabilitas bisnis. Industri kecil, yang seringkali terbatas oleh sumber daya termasuk akses terbatas ke energi listrik yang murah dan berkelanjutan, perlu secara aktif berupaya mengoptimalkan kinerja mesin CNC milling. Langkah ini menjadi krusial untuk mengurangi biaya produksi, meningkatkan kualitas produk, dan menjamin kelangsungan usaha. Selain itu, dengan meningkatkan efisiensi dan manajemen yang baik, industri kecil dapat memberikan dampak positif dalam menjaga lingkungan dan memastikan ketersediaan sumber daya untuk masa depan yang berkelanjutan.

Tujuan dari aktivitas ini adalah mendapatkan variabel pemesinan yang teruji, yang mampu memberikan hasil proses pemesinan berupa spesifikasi teknis tertentu yaitu variabel pemesinan yang mampu secara pasti menghasilkan kekasaran permukaan [9] sesuai dengan kebutuhan. Dengan tercapainya spesifikasi teknis tingkat kekasaran permukaan yang dibutuhkan, tidak akan ada lagi proses tambahan yang muncul akibat tidak tercapainya spesifikasi teknis kekasaran permukaan. Dengan demikian, tidak akan muncul lagi waktu tambahan untuk mencapai tingkat kekasaran yang dibutuhkan. Secara lebih luas, kinerja akan naik karena tidak ada penambahan waktu proses, tidak ada penambahan biaya energi, tidak ada biaya mesin, tidak ada biaya *consumable*, dan tidak ada lagi penambahan waktu lembur operator. Selain itu, akan muncul dampak positif dari peningkatan efisiensi operasional pada keuntungan finansial perusahaan [10] dan kontribusi terhadap keberlanjutan hidup perusahaan. Dengan terbuktinya aktivitas peningkatan kinerja pemesinan, diharapkan akan memberikan wawasan tentang langkah-langkah yang dapat diambil untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan, serta menjadi contoh nyata bagi perusahaan lain yang mendorong penerapan strategi yang tepat guna secara keseluruhan

## 2. METODE PELAKSANAAN

### 2.1 Rencana Aktivitas

Untuk memastikan aktivitas ini dapat berjalan dan selesai dengan tuntas, disusunlah rencana aktivitas yang detail dan disetujui oleh kedua belah pihak. Rencana aktivitas bersama antara pihak industri dengan dosen terkait peningkatan kinerja pemesinan, secara detail dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Diskusi Pra Eksperimen

Pada tahapan ini, dilakukan diskusi antara dosen dengan tim dari industri untuk secara bersama-sama menentukan mesin yang disiapkan oleh industri, alat potong, material yang digunakan, serta target kekasaran permukaan produk yang akan dicapai.

b. Penyiapan Rancangan Eksperimen

Pada tahapan ini, tim dosen dan tim dari industri berdiskusi untuk menentukan parameter pemesinan yang akan digunakan dengan mempertimbangkan mesin, alat potong, material, dan waktu yang tersedia.

c. Penyiapan mesin, alat potong, material dan program

Pada tahapan ini, dilakukan penyiapan mesin, alat potong dan alat pendukung, material, serta program yang akan digunakan di mesin. Aktivitas ini dilakukan di industri.

d. Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahapan ini, eksperimen yang sudah direncanakan dilaksanakan di industri.

e. Pengukuran Hasil Eksperimen

Tim *Quality Control* (QC) dari industri mengukur produk hasil eksperimen

f. Pengolahan Data

Pada tahapan ini, dosen akan melakukan pengolahan data, berdasarkan hasil eksperimen pada tahap sebelumnya.

g. Pengujian Parameter Pemesinan

Setelah dilakukan pengolahan data dan proses optimasi menggunakan perhitungan matematis, parameter hasil optimasi diujikan kembali pada mesin dengan menggunakan material yang baru.

h. Penyampaian Hasil dan Kesimpulan

Hasil eksperimen, pengolahan data, optimasi, dan hasil pengujian disampaikan kepada tim industri. Pada kesempatan ini juga dilakukan diskusi dan implikasinya bagi industri.

### 2.2. Penyiapan Rancangan Eksperimen

Sebelum dilakukan penyiapan rancangan eksperimen, diskusi yang dilakukan pertama kali adalah diskusi pra eksperimen yang membahas tentang mesin, alat potong, material, dan target kekasaran permukaan. Detail informasi tersebut dapat dilihat sebagai berikut ini.

Mesin	: CNC Milling Pinnacle LV65
Alat potong	: End Mill Insert NDCW150312TR-TN100M
Pemegang alat potong	: Kyocera DMC-316SXT
Diameter alat potong	: 16 mm, sisi potong 14 mm.
Material	: PAC5000
Target Kekasaran	: <i>Grade</i> N6 (1.6 $\mu$ m)



**Gambar 1.** Penyiapan Mesin untuk Eksperimen



**Gambar 2.** Penyiapan Material Spesimen

Dengan mempertimbangkan efisiensi eksperimen, dipilihlah rancangan eksperimen berbasis metode *Response Surface* dan dibantu menggunakan *software* Minitab. Dalam eksperimen ini terdapat 4 faktor dan 3 level dengan total eksperimen sebanyak 27 percobaan. Tabel 1 berikut menjelaskan faktor dan level yang digunakan dalam eksperimen.

**Tabel 1.** Faktor dan Level Rancangan Eksperimen

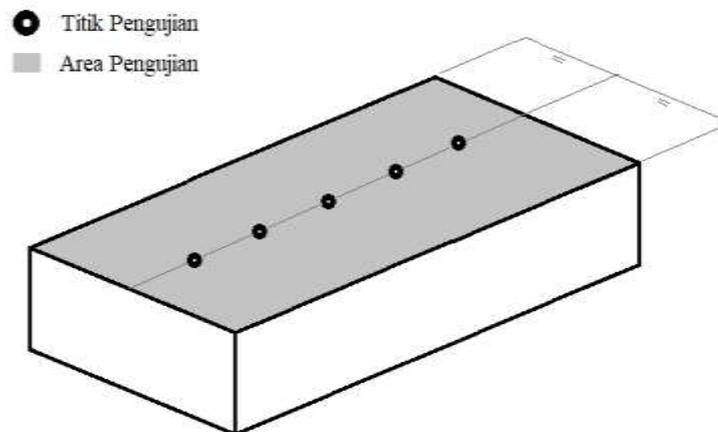
Faktor	Level	Satuan
Kecepatan Potong	35 – 55 – 75	m/min
Laju Pemakanan	4 – 8 – 12	mm/min
Kedalaman Pemakanan	0.2 – 0.4 – 0.6	mm
Pergeseran Pemakanan	0.2 – 0.3 – 0.4	mm

### 2.3. Penyiapan Alat, Material, dan Program

Penyiapan alat potong adalah mempersiapkan pemegang (*holder*) alat potong yang baru dengan kelengkapan *insert* yang baru di setiap proses pemesinan. Penyiapan program dan mesin dilakukan oleh PIC dari industri. Material yang akan digunakan sebagai spesimen disiapkan dengan melakukan pengujian uji homogenitas sesuai standar ISO-8688 dengan jumlah minimal spesimen yang diuji adalah 8 buah seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 2. Tabel 2 menjelaskan detail hasil dari pengujian homogenitas [11], sedangkan Gambar 3 menunjukkan posisi titik pengujian pada spesimen.

Tabel 2. Hasil Uji Homogenitas

No Spesimen	Posisi Titik Uji (HRC)					Rerata Kekerasan	Deviasi (%)
	1	2	3	4	5		
1	39,2	39,2	39,7	39,7	39,6	39,48	0,56
2	40,8	40,7	40,8	40,8	41,1	40,84	0,64
3	41	40,8	40,8	40,8	41,1	40,9	0,49
4	40,9	40,8	40,9	40,9	41,1	40,92	0,44
5	41,1	41,2	40,8	40,8	41	40,98	0,54
6	40,1	40	39,6	39,5	40,1	39,86	0,60
7	39,8	39,9	39,8	39,8	39,6	39,78	0,30
8	39,7	39,6	40,1	40,1	39,8	39,86	0,60



Gambar 3. Posisi Titik Uji Homogenitas pada Spesimen

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Eksperimen

Pada bagian ini ditampilkan hasil eksperimen dan hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan spesimen. Tabel 3 menampilkan variabel pemesinan yang digunakan dan hasil pengukuran kekasaran permukaan pada setiap spesimen.

**Tabel 3.** Variabel Pemesinan dan Hasil Uji Kekasaran Permukaan

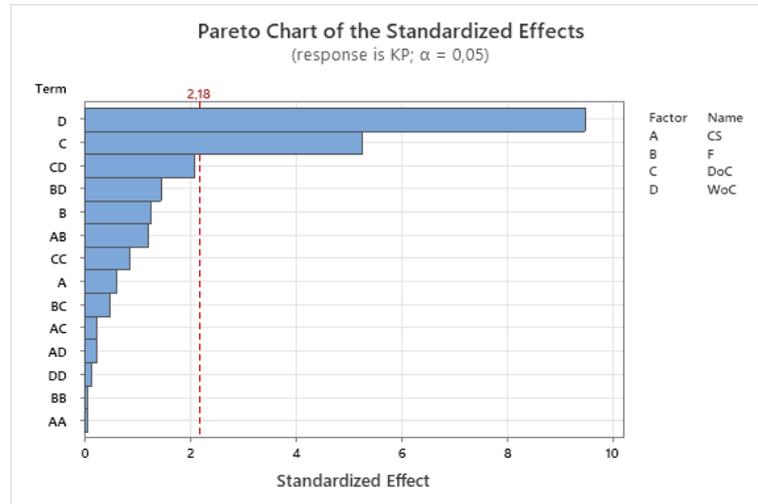
No	Kecepatan Potong	Laju Pemakanan	Kedalaman Pemakanan	Pergeseran Pemakanan	Kekasaran Permukaan	Grade
1	50	12	0,6	0,3	1,49	N6
2	50	8	0,4	0,3	1,04	N6
3	30	8	0,4	0,4	1,53	N6
4	50	4	0,4	0,4	1,31	N6
5	50	12	0,4	0,4	1,85	N7
6	50	8	0,4	0,3	0,99	N6
7	50	12	0,2	0,3	1,04	N6
8	30	8	0,6	0,3	1,35	N6
9	70	4	0,4	0,3	1,04	N6
10	50	4	0,2	0,3	0,86	N6
11	70	8	0,4	0,4	1,58	N6
12	70	8	0,6	0,3	1,40	N6
13	70	12	0,4	0,3	1,13	N6
14	70	8	0,2	0,3	0,95	N6
15	70	8	0,4	0,2	0,59	N5
16	30	8	0,4	0,2	0,63	N5
17	50	8	0,2	0,2	0,23	N5
18	30	8	0,2	0,3	0,99	N6
19	30	4	0,4	0,3	1,08	N6
20	50	8	0,4	0,3	1,13	N6
21	50	8	0,6	0,4	2,30	N8
22	50	8	0,2	0,4	0,99	N6
23	50	4	0,4	0,2	0,63	N5
24	50	8	0,6	0,2	0,77	N5
25	50	12	0,4	0,2	0,63	N5
26	30	12	0,4	0,3	0,72	N5
27	50	4	0,6	0,3	1,13	N6

### 3.2 Pengolahan Data

Setelah proses pemesinan selesai, 27 spesimen diukur tingkat kekasaran permukaannya. Output hasil pengukuran dan input parameter pemesinan diolah menggunakan *software* minitab untuk melihat hubungan tiap input dengan output.

Dari proses pengolahan data, diperoleh informasi urutan kontribusi dari semua input seperti disampaikan pada Gambar 4. Parameter pergeseran pemakanan (*width of cut - WoC*) memberikan peran terbesar atau signifikan terhadap tingkat kekasaran permukaan. Peringkat kedua dan

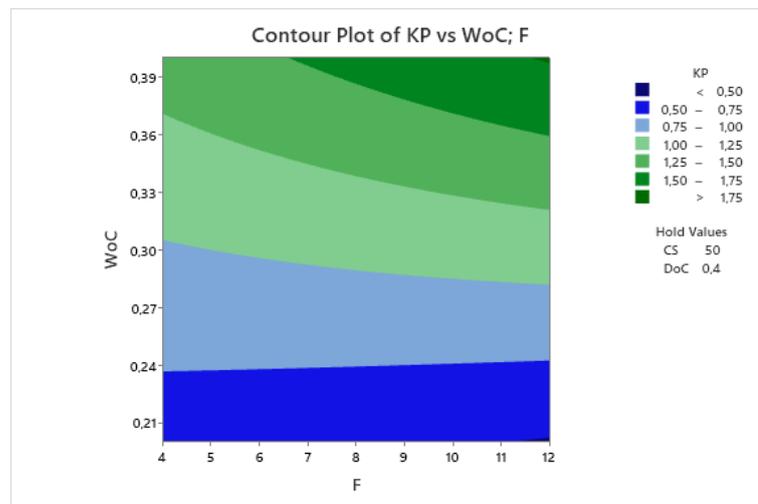
seterusnya adalah kedalaman pemakanan (*Depth of Cut – DoC*), laju pemakanan (*Feedrate – F*) dan terakhir adalah kecepatan potong (*Cutting Speed – CS*).



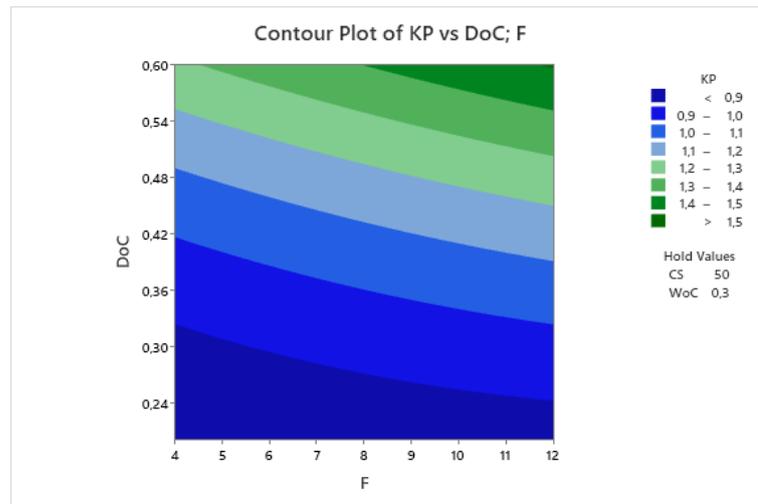
Gambar 4. Kontribusi Variabel Pemesinan terhadap Kekasaran Permukaan

### 3.3 Pembahasan

Pergeseran pemakanan yang semakin kecil dan kecepatan pemakanan yang semakin kecil memberikan kekasaran permukaan yang rendah atau semakin halus seperti terlihat pada Gambar 5. Hal ini selaras dengan penelitian terdahulu [12], [13], [14].



Gambar 5. Hubungan Pergeseran Pemakanan dan Laju Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan



**Gambar 6.** Hubungan Kedalaman Pemakanan dan Laju Pemakanan terhadap Kekasaran Permukaan

Gambar 6 menjelaskan hubungan kedalaman pemakanan dengan kedalaman pemakanan secara detail dan nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dimana ini selaras dengan penelitian terdahulu [12], [13].

Nilai kekasaran permukaan yang biasa diharapkan dari proses permesinan *finishing* berkisar antara 0.8 – 1.6 $\mu$ m. Pada angka tersebut, angka kekasarannya disebut sebagai *grade* N6. Berdasarkan diskusi pra eksperimen, kekasaran yang menjadi target adalah N6. Dalam diskusi tersebut, angka yang ditargetkan adalah 1.5  $\mu$ m dengan mempertimbangkan waktu proses dan biaya. Karena itu, angka 1.5  $\mu$ m menjadi target dari proses optimasi kekasaran permukaan.

Dengan bantuan *software* minitab, proses optimasi yang dilakukan memberikan hasil parameter pemesinan yang sesuai adalah kecepatan potong 69m/menit, laju pemakanan 11mm/menit, kedalaman pemakanan 0,57mm, dan pergeseran pemakanan 0,29mm.

Setelah diperoleh hasil optimasi, parameter pemesinan hasil optimasi, diujicobakan secara langsung di mesin. Berdasarkan diskusi yang mempertimbangkan aspek waktu dan biaya, diperoleh kesepakatan untuk melakukan pengujian dengan jumlah spesimen sebanyak 20% dari jumlah spesimen sebelumnya atau menggunakan 6 buah spesimen baru.

Hasil pengukuran terhadap 6 spesimen diperoleh data seperti terlihat pada tabel 5. Berdasarkan perhitungan, simpangan terbesar adalah 4,7% dan rata-rata simpangan adalah 2%. Hasil ini cukup meyakinkan tim optimasi dari perusahaan. Semua hasil proses pemesinan yang menggunakan variabel pemesinan hasil optimasi, memberikan kekasaran permukaan yang ditargetkan, dan *grade* kekasaran yang seragam yaitu N6.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Parameter Pemesinan

Spesimen	CS	F	DoC	WoC	KP	Grade
1	69	11	0,57	0,29	1,47	N6
2	69	11	0,57	0,29	1,44	N6
3	69	11	0,57	0,29	1,54	N6
4	69	11	0,57	0,29	1,50	N6
5	69	11	0,57	0,29	1,52	N6
6	69	11	0,57	0,29	1,46	N6

## 4 KESIMPULAN

Kegiatan optimasi kinerja pemesinan berjalan dengan baik. Dukungan dari tim dosen dan juga tim industri memberikan kontribusi yang sangat berarti. Pada akhir kegiatan, didapatkan kesimpulan yang seragam terkaitnya pentingnya dilakukan optimasi kinerja pemesinan dan sikap optimis untuk peningkatan produktivitas dalam tahun 2024 dengan didapatkannya parameter pemesinan yang teruji memberikan tingkat kekasaran yang sesuai dengan target yaitu *grade* N6. Parameter hasil optimasi adalah kecepatan potong 69m/menit, laju pemakanan 11mm/menit, kedalaman pemakanan 0,57mm, dan pergeseran pemakanan 0,29mm. Dalam evaluasi juga disampaikan bahwa aktivitas optimasi ini akan diterapkan pada mesin-mesin lainnya serta akan dibuatkannya *standard operating procedure* supaya aktivitas optimasi bisa dilakukan secara mandiri. Aktivitas yang sederhana ini memberikan inspirasi bagi operator yang terlibat dan juga membuka wawasan lebih banyak orang tentang potensi peningkatan kinerja dan benefitnya.

## REFERENCES

- [1] S. Banerjee, S. S. Pawar, T. C. Bera, and K. S. Sangwan, "An Investigation on Reduction of Cutting Energy Consumption Using High Efficiency Machining Strategy," *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 198–203, 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.02.033.
- [2] J. Wojcicki, M. Leonesio, and G. Bianchi, "Integrated energy analysis of cutting process and spindle subsystem in a turning machine," *Journal of Cleaner Production*, vol. 170, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.234.
- [3] G. Singh, V. Aggarwal, and S. Singh, "Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication towards sustainable machining," *Journal of Cleaner Production*, vol. 271, p. 122185, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122185.
- [4] W. Ming, F. Shen, G. Zhang, G. Liu, J. Du, and Z. Chen, "Green machining: A framework for optimization of cutting parameters to minimize energy consumption and exhaust emissions during electrical discharge machining of Al 6061 and SKD 11," *Journal of Cleaner Production*, vol. 285, p. 124889, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124889.
- [5] C. Camposeco-Negrete, "Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum," *Journal of Cleaner Production*, vol. 91, pp. 109–117, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.12.017.
- [6] Z. Zhu, D. Buck, X. Guo, and P. Cao, "High-quality and high-efficiency machining of stone-plastic composite with diamond helical cutters," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 58, pp. 914–922, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.004.
- [7] S. B., M., and C. S.-B., "A Multi-Objective Optimization of Energy, Economic, and Carbon Emission in a Production Model under Sustainable Supply Chain Management," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 10, p. 1744, 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/app8101744>.
- [8] Z. Y. Liu *et al.*, "Energy consumption characteristics in finish hard milling," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 35, pp. 500–507, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.08.036>.
- [9] R. Yin, J. Ke, G. Mendis, and J. W. Sutherland, "A cutting parameter-based model for cost and carbon emission optimisation in a NC turning process," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 32, no. 10, Art. no. 10, Oct. 2019, doi: 10.1080/0951192X.2019.1667026.
- [10] S. Xing, G. Chen, G. Yu, X. Chen, and C. Sun, "Optimization of milling parameters considering high efficiency and low carbon based on gravity search algorithm," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, pp. 1–19, Sep. 2021, doi: 10.3233/JIFS-210059.
- [11] I. O. for Standardization, *Tool Life Testing in Milling - End milling*. in ISO 8688. Geneva: ISO, 1989. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=V1c8yQEACAAJ>
- [12] Y. T. Wibowo, S. Y. Baskoro, and V. A. T. Manurung, "Toolpath Strategy and Optimum Combination of Machining Parameter during Pocket Mill Process of Plastic Mold Steels Material," in *Materials Science and Engineering Conference Series*, in Materials Science and Engineering Conference Series, vol. 306, Feb. 2018, p. 012137. doi: 10.1088/1757-899X/306/1/012137.
- [13] G. Zhao, C. Li, Z. Lv, X. Cheng, and G. Zheng, "Specific energy consumption prediction model of CNC machine tools based on tool wear," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 33, no. 2, pp. 159–168, Feb. 2020, doi: 10.1080/0951192X.2020.1718763.
- [14] Y. T. Wibowo, N. Siswanto, and M. Sufei, "Response surface methodology approach in achieving multi-response setup optimization in the machining process," *Salud Cienc. Tecnol.*, vol. 2, no. S2, p. 190, Dec. 2022, doi: 10.56294/saludcyt2022190.