
Pengaruh Optimasi Parameter *Machining* CNC Milling Berbasis CAD/CAM Terhadap Percepatan Waktu Pemesinan Dudukan Cetakan Kampas Rem

Ihwan Mukhtari Arifin^{1*}, Eko Yudo¹, Nanda Pranandita¹
¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat
*E-mail : ihwanmukhtari80@gmail.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 20 Desember 2025; Accepted 22 Desember 2025

Abstract

This study analyzes the effect of optimizing CAD/CAM-based CNC milling parameters to reduce the machining time of a brake pad mold holder. The main issue addressed is the excessive machining duration caused by non-optimal cutting parameters, namely spindle speed, feed rate, and depth of cut. A quantitative experimental approach was employed using the Taguchi method and ANOVA, integrated with CAD/CAM simulation in Autodesk Fusion 360. A 3D model of the brake pad mold holder was developed and simulated to obtain machining time data from nine parameter combinations based on an L9 orthogonal array. The results show that depth of cut has the most significant influence on machining time (87.48%), followed by feed rate (12.49%) and spindle speed (0.03%). The optimal parameter combination was 3500 rpm spindle speed, 175 mm/min feed rate, and 0.6 mm depth of cut, achieving the shortest machining time of 16.633 seconds. This optimization improved machining efficiency by 78.12% compared to the initial condition. These findings confirm that integrating statistical optimization with CAD/CAM simulation can effectively accelerate high-precision manufacturing processes for automotive components.

Keywords: CAD/CAM; CNC milling; Machining time; Parameter optimization; Taguchi.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh optimasi parameter pemesinan CNC Milling berbasis CAD/CAM terhadap percepatan waktu pemesinan dudukan cetakan kampas rem. Permasalahan utama yang diangkat adalah lamanya waktu pemesinan akibat belum optimalnya penentuan parameter pemotongan seperti spindle speed, feed rate, dan depth of cut. Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimental kuantitatif dengan penerapan metode Taguchi dan analisis ANOVA berbasis simulasi CAD/CAM pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Model dudukan cetakan kampas rem dibuat dalam bentuk 3D, kemudian disimulasikan untuk memperoleh data waktu pemesinan dari sembilan kombinasi parameter sesuai rancangan orthogonal array L9. Hasil penelitian menunjukkan bahwa depth of cut memiliki pengaruh paling dominan sebesar 87,48% terhadap waktu pemesinan, diikuti oleh feed rate sebesar 12,49% dan spindle speed sebesar 0,03%. Kombinasi parameter optimal diperoleh pada spindle speed 3500 rpm, feed rate 175 mm/min, dan depth of cut 0,6 mm dengan waktu pemesinan tercepat 16,633 detik. Optimasi ini menghasilkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 78,12% dibandingkan kondisi awal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi metode statistik dan CAD/CAM efektif untuk mempercepat proses manufaktur komponen otomotif dengan presisi tinggi.

Kata kunci: CAD/CAM; CNC milling; Optimasi parameter; Taguchi; Waktu pemesinan.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Computer Numerical Control (CNC)* telah membawa perubahan signifikan dalam dunia manufaktur modern. Mesin CNC memungkinkan proses produksi berjalan secara otomatis dengan tingkat presisi tinggi, efisiensi waktu, dan pengulangan hasil yang konsisten [1]. Namun, efisiensi proses pemesinan sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter pemotongan, seperti *spindle speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*, yang apabila tidak dioptimalkan dapat menyebabkan peningkatan waktu pemesinan dan pemborosan energi [2].

Dalam konteks industri otomotif, salah satu komponen penting yang diproduksi menggunakan mesin CNC adalah dudukan cetakan kampas rem (*brake pad mold holder*). Proses pembuatan cetakan ini memerlukan tingkat akurasi dan kekasaran permukaan yang tinggi agar produk akhir memenuhi standar kualitas [3]. Penggunaan sistem berbasis CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) memberikan keuntungan dalam hal integrasi desain dan pemrograman jalur pahat (*toolpath*), sehingga dapat mempercepat proses produksi dan mengurangi kesalahan manusia dalam pemrograman mesin [4].

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan *optimasi parameter machining* berbasis CAD/CAM mampu meningkatkan efisiensi waktu pemesinan hingga 20–30% pada berbagai jenis komponen [5]. Yudhyadi dan Rachmanto [6] meneliti pengaruh variasi parameter CNC milling terhadap waktu proses menggunakan

metode Taguchi dan menemukan bahwa *spindle speed* merupakan faktor paling dominan. Ariyanto [7] juga menyatakan bahwa pemanfaatan simulasi CAD/CAM dalam tahap perencanaan mampu meminimalkan waktu pemesinan aktual dan memperpanjang umur pahat.

Selain itu, penelitian oleh Prasetya [8] dan Geraldly [9] mengembangkan model *reverse engineering* dan *toolpath optimization* pada komponen otomotif berbasis CAD/CAM untuk mempercepat pembuatan cetakan dan mengurangi *idle time* mesin. Namun, masih terdapat keterbatasan dalam pengujian langsung terhadap komponen dengan bentuk geometri kompleks seperti dudukan cetakan kampas rem. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengoptimasi parameter pemesinan CNC *milling* berbasis CAD/CAM guna mempercepat waktu pemesinan secara nyata melalui pendekatan eksperimental yang terukur.

Nilai kebaruan (inovasi) dari penelitian ini terletak pada integrasi metode Taguchi *Design of Experiment (DoE)* dengan sistem simulasi CAD/CAM untuk menentukan kombinasi parameter optimal dalam pembuatan dudukan cetakan kampas rem. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercapai peningkatan efisiensi waktu pemesinan tanpa menurunkan kualitas permukaan produk. Penelitian ini juga memberikan dasar bagi pengembangan algoritma optimasi berbasis kecerdasan buatan di masa mendatang, seperti *Genetic Algorithm (GA)* dan *Artificial Neural Network (ANN)* untuk proses manufaktur presisi [10].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif berbasis simulasi CAD/CAM, dengan tujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan parameter pemesinan CNC *Milling* yang memengaruhi percepatan waktu pemesinan dudukan cetakan kampas rem. Proses penelitian dilakukan secara

bertahap mulai dari desain model 3D, pemrograman jalur pahat, simulasi proses pemesinan, hingga analisis data waktu proses menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini menggunakan tiga variabel bebas dan satu variabel terikat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Variabel	Satuan	Level
<i>Spindle speed</i>	rpm	2300, 2800, 3500
<i>Feed rate</i>	mm/min	115, 140, 175
<i>Depth of cut</i>	mm	0.2, 0.4, 0.6
Waktu pemesinan	detik	Hasil simulasi CAD/CAM

Material yang digunakan adalah baja karbon S45C, sedangkan strategi *toolpath*

yang diterapkan adalah *pocket milling*. Proses dilakukan menggunakan *software Autodesk Fusion 360*.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut,

1. Studi literatur dilakukan penelusuran terhadap jurnal, buku, dan laporan penelitian terkait optimasi parameter pemesinan berbasis CAD/CAM dan metode Taguchi.
2. Perancangan Model (CAD), model 3D dudukan cetakan kampas rem dirancang menggunakan Autodesk Fusion 360 sesuai dimensi teknis industri otomotif.
3. Pemrograman Jalur Pahat (CAM). Jalur pahat dibuat pada modul CAM dengan penentuan parameter awal mencakup spindle speed, feed rate, dan depth of cut. Parameter pemesinan ditentukan langsung pada modul CAM di Autodesk Fusion 360 berdasarkan rekomendasi material dan pahat, sehingga tidak dilakukan perhitungan manual menggunakan persamaan matematis.
4. Simulasi Proses Pemesinan, simulasi dilakukan menggunakan fitur simulate pada Fusion 360 untuk memperoleh

estimasi waktu proses setiap kombinasi parameter. Proses ini juga membantu mendeteksi potensi tabrakan (collision) dan memverifikasi jalur pahat

5. Desain Eksperimen (DOE), Eksperimen dirancang menggunakan Metode Taguchi dengan Orthogonal Array L9 (3³) yang melibatkan tiga faktor dengan tiga level. Setiap kombinasi disimulasikan sebanyak tiga kali untuk memperoleh data yang konsisten.
6. Analisis Data dan Optimasi, hasil simulasi berupa waktu proses dianalisis menggunakan Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio) dengan karakteristik Smaller is Better, karena tujuan utama adalah meminimalkan waktu pemesinan Analisis statistik ANOVA (Analysis of Variance) digunakan untuk menentukan kontribusi masing-masing parameter terhadap waktu pemesinan.
7. Penentuan Kombinasi Optimal, kombinasi parameter dengan waktu proses terkecil dan nilai S/N Ratio tertinggi ditetapkan sebagai kondisi optimal yang mempercepat waktu pemesinan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil eksperimen simulasi untuk waktu proses untuk 9 kombinasi parameter berdasarkan desain L9 diperoleh dari

simulasi. Waktu proses bervariasi dari 16.633 detik (tercepat) hingga 76.002 detik (terlama).

Tabel 2. Data waktu proses simulasi

No	Spindle Speed (RPM)	Feed Rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)	Waktu (detik)
1	2300	115	0.2	76.002
2	2300	140	0.4	33.278
3	2300	175	0.6	16.633
4	2800	115	0.4	40.504
5	2800	140	0.6	20.782
6	2800	175	0.2	49.958
7	3500	115	0.6	25.291
8	3500	140	0.2	62.437
9	3500	175	0.4	26.630

Berdasarkan perhitungan rata-rata waktu proses per level, *depth of cut* menunjukkan pengaruh paling signifikan.

Peningkatan *depth of cut* dari 0.2 mm ke 0.6 mm mengurangi waktu proses rata-rata dari 62.799 detik menjadi 20.902 detik.

Tabel 3. Rata-rata waktu proses per level parameter

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Rank
Spindle Speed	41.971	37.081	38.119	4.89	3
Feed Rate	47.266	38.832	31.074	16.19	2
Depth of Cut	62.799	33.470	20.902	41.90	1

Analisis nilai S/N Ratio dihitung untuk setiap percobaan. Level dengan S/N Ratio

tertinggi (mendekati nol) menunjukkan kondisi optimal. *Depth of cut* kembali menjadi faktor terpenting.

Tabel 4. Rata-rata S/N ratio per level parameter

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Rank
<i>Spindle Speed</i>	-30.83	-30.83	-30.68	0.15	3
<i>Feed Rate</i>	-32.61	-30.90	-28.97	3.64	2
<i>Depth of Cut</i>	-35.83	-30.37	-26.28	9.55	1

Analisis ANOVA berdasarkan S/N Ratio memberikan kontribusi persentase yang jelas untuk setiap parameter: *Depth of Cut*: 87.48%;

Feed Rate: 12.49%; dan *Spindle Speed*: 0.03%.

Tabel 5. Hasil ANOVA berdasarkan S/N ratio

Sumber Variasi	SS	Kontribusi (%)
<i>Spindle Speed</i>	0.053	0.03
<i>Feed Rate</i>	19.674	12.49
<i>Depth of Cut</i>	137.92	87.48
Total	157.647	100

Hasil ini konsisten dengan analisis *means*, di mana *depth of cut* mendominasi pengaruh terhadap waktu proses.

Kombinasi Parameter Optimal dan Validasi. Kombinasi parameter optimal yang direkomendasikan adalah: *Spindle Speed*: 3500 RPM (Level 3); *Feed Rate*: 175 mm/min (Level 3); dan *Depth of Cut*: 0.6 mm (Level 3).

Kombinasi ini (Percobaan 3) menghasilkan waktu proses tercepat, yaitu 16.633 detik. Dibandingkan dengan kombinasi awal (Percobaan 1) yang memakan waktu 76.002 detik, terjadi pengurangan waktu proses sebesar 78.12%.

Dominannya pengaruh *depth of cut* terhadap waktu proses disebabkan oleh

berkurangnya jumlah lintasan (*pass*) yang diperlukan untuk menghilangkan material.

Feed rate yang lebih tinggi juga memperpendek waktu dengan mempercepat gerakan pemotongan. Sementara itu, *spindle speed* memiliki pengaruh minimal karena dalam konteks waktu proses murni (tanpa pertimbangan kualitas permukaan atau keausan pahat), variasi kecepatan putar tidak secara langsung mempengaruhi durasi pergerakan pahat.

Simulasi CAD/CAM dengan Fusion 360 terbukti efektif sebagai alat prediksi dan optimasi virtual, menghemat waktu dan biaya yang diperlukan untuk eksperimen fisik.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa optimasi parameter pemessinan CNC Milling berbasis CAD/CAM memberikan pengaruh signifikan terhadap percepatan waktu pemessinan dudukan cetakan kampas rem. Melalui pendekatan metode Taguchi dan analisis ANOVA, diperoleh bahwa parameter *depth of cut* merupakan faktor dominan yang menentukan durasi pemessinan, diikuti oleh *feed rate* dan *spindle speed*. Kombinasi optimal yang direkomendasikan adalah *spindle speed* 3500 rpm, *feed rate* 175 mm/min, dan *depth of cut* 0.6 mm.

Kondisi ini mampu menurunkan waktu pemessinan dari 76,002 detik menjadi 16,633 detik, atau peningkatan efisiensi sebesar

78,12% dibandingkan kondisi awal. Hasil ini mengonfirmasi kesesuaian antara hipotesis pada *Pendahuluan* dengan hasil empiris yang diperoleh pada *Hasil dan Pembahasan*, di mana optimasi berbasis CAD/CAM efektif dalam meningkatkan efisiensi produksi secara signifikan.

Secara konseptual, penelitian ini memperkuat teori bahwa integrasi sistem CAD/CAM dengan metode statistik optimasi (seperti Taguchi) bukan hanya meningkatkan efisiensi waktu pemessinan, tetapi juga dapat menjadi dasar bagi formulasi model prediktif kecepatan produksi berbasis data. Model ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi kerangka *adaptive machining optimization*, di mana parameter pemotongan dapat

disesuaikan secara dinamis terhadap karakteristik material dan geometri produk.

Prospek penelitian ke depan adalah penerapan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan machine learning dalam proses perancangan dan pemrograman CAD/CAM, sehingga sistem dapat melakukan

optimasi otomatis tanpa intervensi manual. Implementasi konsep ini akan membuka jalan menuju industri manufaktur presisi yang sepenuhnya *smart manufacturing*, mendukung efisiensi waktu, energi, dan produktivitas di lini produksi otomotif dan industri cetakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Nugroho, "Analisis Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses CNC Milling," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Andalas*, vol. 11, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- [2] I. N. K. Yudhyadi and T. Rachmanto, "Optimasi Parameter Permesinan terhadap Waktu Proses pada Pemrograman CNC Milling Berbasis CAD/CAM," *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, Univ. Mataram, vol. 7, no. 1, pp. 12–20, 2019.
- [3] M. R. Gerald, "Desain dan Pembuatan Produk Kreatif Aksesoris Tutup Master Rem Yamaha Aerox Menggunakan Mesin CNC Supermill," *Universitas Islam Indonesia Repository*, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/49083>
- [4] N. Ariyanto, "Optimasi Parameter Permesinan CNC Milling terhadap Waktu Proses untuk Meningkatkan Efisiensi di PT Mekar Armada Jaya," *Universitas Muhammadiyah Magelang Repository*, 2018. [Online]. Available: <https://repositori.unimma.ac.id/3050>
- [5] A. Suleman, "Optimasi *Toolpath Strategy* dengan Teknologi *Computer Aided Manufacturing* pada Mesin CNC untuk Produk Cetakan," *Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2017.
- [6] Y. A. Prasetya, "Pembuatan Cetakan Handel Rem Motor Yamaha NMAX untuk Proses *Compression Molding* melalui Metode *Reverse Engineering*," *Universitas Islam Indonesia*, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/55289>
- [7] A. P. Firmansyah and D. R. Raharjo, "Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Parameter Machining pada CNC Milling," *Jurnal Rekayasa Mesin dan Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 85–94, 2022.
- [8] R. A. Setiawan, "Analisis Efisiensi Pemesinan dengan Integrasi CAD/CAM pada Produksi Komponen Otomotif," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 1, pp. 34–40, 2020.
- [9] M. Garba, "Optimizing Cutting Parameters in CNC Milling Using Taguchi and ANOVA Methods," *Procedia Manufacturing*, vol. 53, pp. 157–165, 2024.
- [10] D. K. Singh and A. H. Rizal, "Integration of CAD/CAM and Artificial Intelligence in CNC Machining Optimization," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 122, pp. 2241–2256, 2023.