

Analisis Simulasi Pembubutan Poros Presisi Menggunakan CNC Berbasis Autodesk Fusion 360

Firman Hafalan Daeli⁽¹⁾, Toni Siagian⁽²⁾, Mulyadi⁽³⁾

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

Jl. Teladan No 15 Medan. Telp : 061 - 7362927

Email: daelifirman13@gmail.com, siagianantonyp@upmi.ac.id.

ABSTRAK

Pemesinan CNC memerlukan perencanaan lintasan pahat dan parameter pemotongan yang tepat agar proses pembuatan komponen berjalan efisien. Penelitian ini menganalisis simulasi pembubutan poros baja karbon rendah menggunakan Autodesk Fusion 360, dengan sasaran diameter akhir 50 mm dan panjang 200 mm. Kecepatan potong yang dimasukkan sebesar 200 m/menit, gerak makan 1 mm/putaran, dan kedalaman potong 0,5 mm. Tahapan simulasi meliputi pembubutan muka, pembubutan kasar, finishing, dan pengaturan inspeksi. Pahat CNMT digunakan untuk pembubutan kasar, sedangkan VNMT untuk finishing. Simulasi mencatat waktu pembubutan muka 2 detik, pembubutan kasar 39 detik, dan finishing 12 detik, dengan waktu total yang dilaporkan sekitar 1 menit 39 detik. Program G-code dihasilkan melalui Fusion 360 dan diperiksa pada CNC Simulator Pro. Data keausan pahat dibahas menggunakan data literatur, bukan pengukuran pahat dalam percobaan ini. Hasil menunjukkan bahwa pemodelan CAD/CAM mampu menggambarkan urutan operasi dan memperkirakan waktu lintasan pahat. Namun, ketelitian dimensi, kekasaran permukaan, dan kinerja mesin aktual belum dapat dipastikan karena tidak dilakukan pemotongan maupun pengukuran eksperimen.

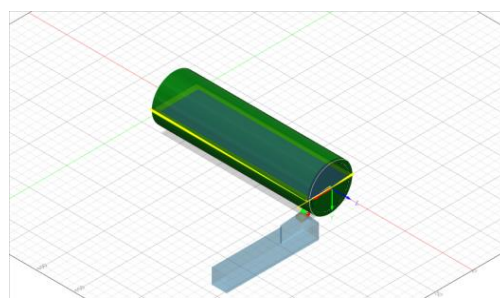
Kata kunci: CNC; pembubutan; Fusion 360; simulasi; G-code

PENDAHULUAN

Teknologi computer numerical control (CNC) digunakan untuk mengendalikan gerak pahat secara terprogram sehingga geometri benda kerja dapat diproduksi secara berulang. Pada proses pembubutan, ketepatan penentuan kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong, serta geometri pahat sangat menentukan rancangan proses dan mutu hasil pemesinan [1], [2]. Pemanfaatan perangkat lunak CAD/CAM memungkinkan pemeriksaan lintasan pemotongan sebelum program dijalankan pada mesin. Literatur pendukung: [1], [2], [4], [6], [10].

Penelitian-penelitian mengenai parameter pembubutan dan kekasaran permukaan telah menjadi landasan bagi penentuan kondisi pemesinan [3], [4]. Namun, simulasi digital tidak dengan sendirinya membuktikan penyimpangan dimensi maupun kekasaran permukaan aktual. Oleh karena itu, kajian ini difokuskan pada hasil yang dapat diamati dari simulasi Fusion 360: urutan proses, perkiraan waktu pengerjaan, strategi pahat, serta pembentukan kode G. Kajian keausan pahat

disajikan sebagai analisis data sekunder. Literatur pendukung: [7], [8], [11]–[14].



Gambar 1. Desain poros dan posisi lintasan pahat pada perangkat lunak Fusion 360.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan simulasi pemesinan CNC berbantuan Autodesk Fusion 360 dan pemeriksaan program menggunakan CNC Simulator Pro sebagaimana tercantum dalam skripsi sumber. Objek kajian berupa poros baja karbon rendah dengan diameter awal yang dilaporkan 55 mm, diameter akhir 50 mm, dan panjang akhir 200 mm. Perangkat keras komputer serta versi perangkat lunak tidak dirinci dalam skripsi sumber; informasi

ini perlu dilengkapi sebelum pengiriman naskah. Literatur pendukung: [3]–[5].

Urutan operasi yang dijelaskan pada Bab IV meliputi (1) pembubutan muka, (2) pembubutan kasar diameter luar, (3) finishing, (4) pengaturan inspeksi surface probe, dan (5) inspeksi manual berbasis formulir perangkat lunak. Walaupun demikian, pengukuran dengan probe maupun alat ukur fisik tidak dilaksanakan. Dengan demikian, contoh nilai inspeksi dalam skripsi tidak digunakan sebagai bukti akurasi produk.

Tabel 1. Parameter dan konfigurasi pemesinan

Parameter	Nilai dalam skripsi
Material	Baja karbon rendah
Dimensi target	Ø50 × 200 mm
Diameter awal	55 mm
Kecepatan potong Vc	200 m/menit
Gerak makan f	1 mm/putaran
Kedalaman potong ap	0,5 mm
Pahat roughing	CNMT
Pahat finishing	VNMT
Toleransi setelan inspeksi	±0,01 mm (bukan hasil ukur)

Untuk menjelaskan hubungan parameter, kecepatan putaran ideal secara teoritis dapat dinyatakan dengan Persamaan (1):

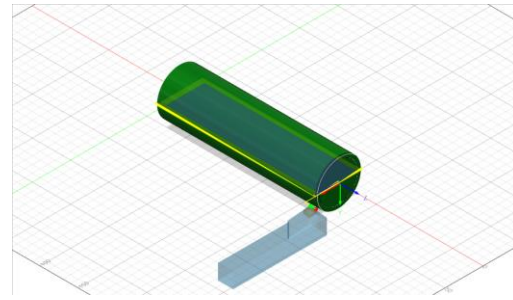
$$n = (1000 \times Vc) / (\pi \times D) \quad (1)$$

dengan n adalah putaran spindel (rpm), Vc kecepatan potong (m/menit), dan D diameter pemotongan (mm). Persamaan ini bersifat perhitungan teoritis; skripsi tidak melaporkan pengukuran putaran spindel aktual. Literatur pendukung: [6], [10].

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Urutan operasi dan waktu simulasi

Hasil simulasi menunjukkan proses pembubutan muka, roughing, dan finishing memiliki waktu operasi yang berbeda. Pembubutan muka dilaporkan berlangsung selama 2 detik dengan panjang lintasan 35,88 mm. Pembubutan kasar dilakukan dari diameter awal 55 mm menuju target 50 mm dan memerlukan 39 detik dengan panjang lintasan 610,81 mm. Tahap finishing menggunakan pahat VNMT, lintasan 204,07 mm, dan waktu 12 detik.

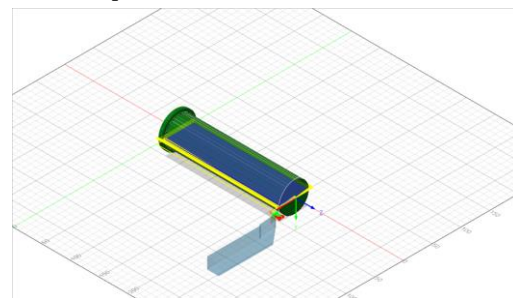


Gambar 2. Representasi lintasan pembubutan poros pada model CAD/CAM dari skripsi.

Tabel 2. Waktu operasi yang dilaporkan pada Bab IV

Operasi	Lintasan (mm)	Waktu (detik)
Facing	35,88	2
Roughing	610,81	39
Finishing	204,07	12
Jumlah tiga operasi	850,76	53

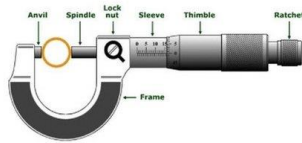
Total tiga operasi pemotongan yang dijelaskan secara rinci adalah 53 detik. Sebaliknya, abstrak skripsi menyebutkan keseluruhan proses sekitar 99 detik. Selisih 46 detik tidak dapat dijabarkan secara pasti dari rincian waktu operasi dalam Bab IV. Selisih tersebut dapat berasal dari gerak nonpemotongan atau tahapan lain, tetapi tidak boleh dinyatakan sebagai hasil terukur tanpa data laporan simulasi terperinci.



Gambar 3. Tampilan hasil simulasi lintasan pemesinan poros.

3.2. Inspeksi dimensi dan batas simulasi

Setelan toleransi inspeksi pada model dilaporkan sebesar ±0,01 mm. Bab IV secara eksplisit menjelaskan bahwa angka pengukuran manual yang ditampilkan hanya berupa contoh input dan pengukuran fisik tidak dilakukan. Dengan demikian, hasil simulasi belum membuktikan bahwa benda kerja akhir memiliki toleransi tersebut. Penerapan pada mesin nyata memerlukan pengukuran diameter dengan alat ukur terkalibrasi dan pemeriksaan kekasaran permukaan. Literatur pendukung: [9], [15].



Gambar 4. Ilustrasi alat ukur mikrometer sebagaimana ditampilkan dalam skripsi.

3.3. Analisis data sekunder keausan pahat

Skripsi menyajikan data pembandingan tiga jenis bahan pahat (karbida, HSS, dan keramik) yang diatribusikan kepada literatur [1]. Data ini dirangkum sebagai bahan diskusi, bukan hasil pengujian mandiri pada simulasi Fusion 360. Literatur pendukung: [12], [14], [17]–[19].

Tabel 3. Contoh kecenderungan dari data sekunder skripsi

Pahat	Durasi (menit)	Keausan (mm)	Ra (μm)
Karbida	0 → 45	0,01 → 0,12	0,4 → 1,2
HSS	0 → 40	0,02 → 0,10	0,7 → 1,5
Keramik	0 → 60	0,005 → 0,05	0,3 → 0,8

Pada setiap kelompok data tersebut, bertambahnya lama penggunaan berkaitan dengan nilai keausan dan kekasaran yang lebih tinggi. Meski demikian, material pahat diuji pada rentang waktu berbeda, dan kondisi pengujian sumber primer tidak diuraikan. Karena itu, tabel tidak cukup untuk menyimpulkan material pahat terbaik secara universal ataupun menyatakan hubungan sebab-akibat kuantitatif bagi percobaan saat ini. Literatur pendukung: [12], [17]–[19].

3.4. Pembentukan program G-code

Kode G dihasilkan dari fungsi pascaproses pada Fusion 360, kemudian sebagaimana dilaporkan dalam abstrak diperiksa menggunakan CNC Simulator Pro. Proses ini bermanfaat untuk memeriksa urutan perintah dan gerakan yang direncanakan. Namun, uji pada simulator yang berbeda belum sama dengan verifikasi keselamatan gerak, kompensasi pahat, offset benda kerja, serta kesesuaian program pada kontrol CNC fisik. Pengujian kering (dry run) dan validasi mesin tetap dibutuhkan. Literatur pendukung: [4], [5].

3.5. Kajian teoritis parameter putaran dan pemakanan

Kecepatan potong yang dicantumkan pada setup adalah 200 m/menit, sehingga besarnya putaran spindle bergantung pada diameter pemotongan. Dengan diameter bahan awal 55 mm, Persamaan (1) menghasilkan putaran teoritis sekitar 1.158 rpm. Pada diameter target 50 mm, putaran teoritis menjadi sekitar 1.273 rpm. Perbedaan ini mencerminkan prinsip constant surface speed

apabila kontrol mesin memakai mode kecepatan potong konstan. Angka tersebut merupakan hitungan teoritis dari parameter yang tercantum dalam naskah, bukan pembacaan kecepatan pada mesin fisik. Literatur pendukung: [6]–[8].

Hubungan gerak makan dan kecepatan gerak sumbu ketika putaran konstan dapat ditulis sebagai:

$$V_f = f \times n \quad (2)$$

Dalam Persamaan (2), V_f adalah kecepatan makan linear (mm/menit), f adalah gerak makan per putaran (mm/putaran), dan n adalah putaran spindle (rpm). Apabila $f = 1$ mm/putaran dan n berada pada 1.158–1.273 rpm, kecepatan makan teoritis berada pada kisaran 1.158–1.273 mm/menit. Perhitungan ini hanya menyatakan konsekuensi matematis dari input setup; feed rate aktual dapat dibatasi oleh kendali mesin, gerakan akselerasi, dan kebijakan pemotongan pada program.

Panjang lintasan yang dilaporkan untuk tiga operasi adalah 850,76 mm. Pembagian jarak ini terhadap kecepatan makan konstan tidak dapat dijadikan pengganti hasil waktu simulator karena setiap lintasan dapat terdiri atas pemakanan aktif, gerak masuk, gerak keluar, dan langkah cepat. Selain itu, gerak muka poros mempunyai diameter pemotongan yang berubah. Penyajian lintasan dan waktu simulasi perlu mempertimbangkan perbedaan gerakan tersebut agar tidak menghasilkan estimasi yang menyesatkan.

3.6. Pengaruh pemilihan geometri pahat

Penggunaan dua bentuk insert pada simulasi berkaitan dengan fungsi proses. Insert CNMT dimanfaatkan dalam pembubutan kasar ketika sasaran utama adalah pengurangan diameter bahan dari 55 mm menuju ukuran yang direncanakan. Sebaliknya, VNMT dipilih pada operasi finishing karena geometri ujungnya memungkinkan lintasan akhir pada permukaan poros. Penentuan pahat tersebut memperlihatkan pengelompokan strategi pemotongan kasar dan akhir dalam alur CAM. Literatur pendukung: [13], [15], [16].

Walaupun pemilihan material karbida berlapis titanium nitrida diuraikan pada abstrak, jenis grade pahat, radius ujung insert, holder, kecepatan maksimum spindle, dan setting coolant tidak dilaporkan secara lengkap. Ketidadaan rincian ini membatasi analisis beban pemotongan maupun potensi kekasaran teoritis. Kondisi geometri dan parameter yang tidak tertulis perlu diambil kembali dari setup CAM jika artikel hendak digunakan sebagai dasar replikasi. Literatur pendukung: [12], [18], [20].

3.7. Evaluasi keterulangan dan keterbatasan validasi

Tahap inspeksi pada penelitian ini lebih tepat didefinisikan sebagai konfigurasi rencana pemeriksaan. Dalam praktik manufaktur, kesesuaian

dimensi akhir baru dapat dibuktikan apabila benda kerja telah dibubut, diukur dengan alat terkalibrasi, serta dibandingkan dengan ukuran nominal dan batas toleransi. Hasil probe dalam perangkat lunak tidak dengan sendirinya menunjukkan keberhasilan proses pada mesin nyata. Hal yang sama berlaku untuk kekasaran permukaan dan umur pahat; kedua indikator memerlukan pengukuran atau data uji yang sesuai. Literatur pendukung: [9], [10].

Penelitian lanjutan disarankan menguji beberapa poros dengan kondisi yang sama, mencatat diameter pada beberapa posisi sepanjang sumbu, mengukur kekasaran Ra, dan mencatat waktu siklus aktual. Selisih waktu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta t = t_{\text{aktual}} - t_{\text{simulasi}} \quad (3)$$

dengan Δt adalah selisih waktu (detik), t_{aktual} waktu proses pada mesin nyata (detik), dan t_{simulasi} waktu yang dihitung perangkat lunak (detik). Karena t_{aktual} belum tersedia dalam naskah sumber, nilai Δt tidak dihitung sebagai hasil studi ini.

3.8. Evaluasi program numerik dan kesiapan produksi

Pemrograman CNC yang dihasilkan oleh perangkat CAM merupakan jembatan antara rancangan komponen dan gerakan kontrol mesin. Ketika program dipindahkan dari Fusion 360 menuju mesin bubut, pemilihan postprocessor yang sesuai dengan kontrol, identitas sumbu, format pergantian alat, offset kerja, kompensasi radius, dan batas lintasan harus dipastikan. Skripsi menyebut model kontrol Fanuc Series pada tampilan setup, tetapi tidak menjelaskan model mesin yang benar-benar diuji. Dengan demikian, pemeriksaan pada CNC Simulator Pro harus dibaca sebagai uji jalannya program secara virtual, bukan sertifikasi kesesuaian pada seluruh tipe mesin bubut CNC. Literatur pendukung: [3]–[5].

Secara praktis, alur validasi yang lebih lengkap adalah verifikasi bentuk lintasan CAM, pemeriksaan daftar operasi dan estimasi waktu, simulasi G-code pada kontrol target, pelaksanaan dry run tanpa pemotongan, lalu pengujian pada benda kerja dengan inspeksi hasil. Rangkaian langkah tersebut merupakan usulan tindak lanjut yang diturunkan dari keterbatasan penelitian, bukan langkah yang semuanya telah dilaksanakan dalam skripsi.

3.9. Implikasi terhadap produktivitas proses

Estimasi waktu dalam simulasi mempunyai nilai penting pada perencanaan produksi karena dapat membantu menyusun urutan operasi dan mengidentifikasi tahapan yang menggunakan waktu relatif besar. Dalam tiga operasi yang memiliki rincian waktu, roughing menempati 39 dari 53 detik, atau sekitar 73,6% dari waktu pemotongan terurai. Finishing mengambil 12 detik atau sekitar 22,6%,

sedangkan facing menyumbang 2 detik atau sekitar 3,8%. Persentase tersebut diperoleh dari pembagian waktu operasi yang dilaporkan, tidak mencakup gerakan nonpemotongan maupun aktivitas inspeksi. Literatur pendukung: [6], [7].

Apabila waktu keseluruhan 99 detik digunakan sebagai acuan, waktu tiga operasi pemotongan yang tersedia baru mencakup sekitar 53,5% dari angka total. Untuk analisis efisiensi produksi yang lebih kuat, diperlukan laporan operasi penuh dari Fusion 360, termasuk waktu penggantian pahat, approach, retract, rapid traverse, dan durasi inspeksi. Data ini juga dapat membantu menjelaskan perbedaan pernyataan jumlah operasi antara abstrak dan Bab IV.

3.10. Rekomendasi rancangan validasi eksperimental

Tahap verifikasi fisik dapat dimulai dengan pengukuran dimensi benda kerja awal. Diameter dan panjang poros harus dicatat sebelum pemesinan sehingga banyaknya material yang perlu dihilangkan dapat ditentukan secara konsisten. Selanjutnya operator menggunakan parameter dan postprocessor yang sesuai dengan jenis kontrol mesin. Setiap program perlu diuji tanpa beban melalui dry run serta didampingi pemeriksaan batas gerakan pahat terhadap chuck dan toolholder. Tahapan tersebut penting karena output CAM yang berhasil disimulasikan belum otomatis aman ketika dipakai pada mesin dengan konfigurasi berbeda.

Pada proses pembubutan sesungguhnya, catatan waktu harus dipisahkan menjadi waktu pembubutan muka, waktu roughing, waktu finishing, waktu nonpemotongan, dan waktu inspeksi. Pengelompokan ini akan memperlihatkan secara terbuka apakah angka 99 detik dalam abstrak mencakup semua waktu tersebut. Pendekatan tersebut juga membantu menghindari perbandingan yang kurang tepat antara waktu operasi tertentu dan total siklus. Literatur pendukung: [6], [9].

Inspeksi hasil sebaiknya dilakukan pada sekurang-kurangnya tiga posisi aksial poros agar adanya kecenderungan ketirisan atau penyimpangan diameter dapat dikenali. Nilai diameter dilaporkan sebagai data pengukuran beserta ketidakpastian alat dan kriteria penerimaan terhadap toleransi desain. Pengukuran kekasaran memerlukan profilometer atau instrumen yang relevan, sedangkan keausan pahat harus diperiksa setelah jumlah lintasan atau durasi pemotongan yang ditentukan. Tanpa pengujian ini, simpulan yang dapat dipertanggungjawabkan tetap terbatas pada simulasi proses. Literatur pendukung: [10], [11].

Tabel 4. Rekomendasi data untuk validasi eksperimental

Kelompok data	Indikator yang dicatat
Geometri	Diameter awal, diameter akhir, panjang poros
Proses	Waktu tiap operasi, waktu rapid, waktu total
Kualitas	Penyimpangan diameter, kekasaran Ra
Alat potong	Jenis insert, radius ujung, kondisi keausan
Kontrol mesin	Model kontrol, postprocessor, hasil dry run

Melalui rancangan tersebut, perbedaan antara hasil virtual dan hasil aktual dapat dievaluasi secara kuantitatif pada tahap penelitian berikutnya. Pengujian variasi gerak makan dan kecepatan potong dapat menjadi pengembangan setelah tersedia baseline yang tervalidasi. Artikel ini tidak mengklaim bahwa variasi ataupun validasi tambahan tersebut sudah dilakukan.

KESIMPULAN

Simulasi pembubutan poros $\varnothing 50 \times 200$ mm menggunakan Autodesk Fusion 360 berhasil menggambarkan operasi facing, roughing, finishing, dan alur persiapan inspeksi. Waktu pemotongan yang dijelaskan pada Bab IV berturut-turut adalah 2, 39, dan 12 detik, sedangkan keseluruhan waktu simulasi dalam abstrak dilaporkan sekitar 99 detik tanpa rincian lengkap. G-code telah dibuat dan diperiksa pada simulator lain. Kajian ini mendukung penggunaan CAD/CAM sebagai sarana perencanaan operasi CNC, tetapi belum membuktikan akurasi dimensi, kekasaran, keausan pahat aktual maupun peningkatan produktivitas mesin di lapangan. Penelitian lanjutan perlu memasukkan hasil pengukuran fisik dan perbandingan waktu simulasi terhadap waktu proses nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Hamdi, N. A. Mufarida, dan Kosjoko, “Desain & analisis variasi ketebalan pegas daun parabolic pada mini bus,” *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.24269/jtm.v2i01.4962.
- [2] M. Ardiansyah, Mulyadi, dan Iswanto, “Effect of friction stir welding process parameters on depth of surface defect on aluminum material AA6061-T651,” *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 2, 2022, doi: 10.24269/jtm.v2i02.5782.
- [3] Fadelan, Y. Winardi, dan A. D. Saputra, “Rancang bangun mesin power hammer untuk UKM pande besi,” *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 2, 2023. <https://journal.umpo.ac.id/index.php/JTM/article/view/7179>.
- [4] B. S. Erlangga, K. Winangun, dan Y. Winardi, “Simulasi pemodelan mobil listrik Warok V.1 dan analisis metode berkendara guna memprediksi konsumsi energi menggunakan MATLAB/Simulink,” *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.24269/jtm.v4i01.9018.
- [5] M. K. Mubarak, F. Hilmy, R. M. Sulisty, A. R. Saleh, dan A. Y. Adipradana, “Analisis kinerja turbin Savonius dua tahap dengan variasi phase-shift angle berbasis computational fluid dynamics,” *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, 2025, doi: 10.24269/jtm.v5i02.11957.
- [6] M. Thoifur, “Optimalisasi feed rate dan depth of cut CNC turning Leadwell LTC-200 terhadap kekasaran permukaan aluminium seri 6061,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 2, hlm. 310–317, 2024, doi: 10.33795/j-meeg.v3i2.5946.
- [7] F. Zhujani, F. Abdullah, G. Todorov, dan K. Kamberov, “Optimization of multiple performance characteristics for CNC turning of Inconel 718 using Taguchi–Grey relational approach and analysis of variance,” *Metals*, vol. 14, no. 2, art. 186, 2024, doi: 10.3390/met14020186.
- [8] S. H. Vignesh, “Surface roughness optimization of EN24 steel in CNC turning using Taguchi method,” *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, vol. 15, no. 5, 2023, doi: 10.4273/ijvss.15.5.08.
- [9] N. F. P. Leksonowati dkk., “The effect of G96 and G97 on surface roughness of ST 37 and S45C in CNC turning,” *Journal of Applied Mechanical Technology*, vol. 4, no. 1, 2025, doi: 10.31884/journalofappliedmechanicaltechnology.v4i1.308.
- [10] N. A. Sutisna dan S. A. Nowasto, “Optimization of machining parameters and tool angle on surface quality of turning operation using Taguchi Grey relational analysis,” *ROTASI*, vol. 25, no. 2, hlm. 1–7, 2023, doi: 10.14710/rotasi.25.2.1-7.
- [11] Y. M. Putra, G. E. Timuda, N. Darsono, N. Chollacoop, dan D. S. Khaerudini, “Optimization of machining parameters on the surface roughness of aluminum in CNC turning process using Taguchi method,” *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, vol. 5, no. 2, hlm. 56–62, 2023, doi: 10.22441/ijimeam.v5i2.21679.
- [12] G. Jovicic dkk., “Optimization of dry turning of Inconel 601 alloy based on surface roughness, tool wear, and material removal rate,” *Metals*, vol. 13, no. 6, art. 1068, 2023, doi: 10.3390/met13061068.

- [13] M. M. El Rayes dkk., “Investigation and statistical analysis for optimizing surface roughness, cutting forces, temperature, and productivity in