



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 360-367

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

---

## Unjuk Kerja Penggunaan Mesin Bubut CNC dalam Proses Pembentukan Material

Rahmadsyah<sup>1</sup>, M. Fitra Ardana<sup>2</sup>, Intan Zahar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Asahan

<sup>1</sup>[svahuna10@gmail.com](mailto:svahuna10@gmail.com), <sup>2</sup>[mfitraardana45@gmail.com](mailto:mfitraardana45@gmail.com), <sup>3</sup>[intanzahar29@gmail.com](mailto:intanzahar29@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja proses pembubutan menggunakan mesin bubut CNC TU 2A dalam proses pembentukan material baja ST 37. Proses pembubutan yang dikaji meliputi pembubutan pin dan pembubutan stang dengan menggunakan pahat karbida. Parameter pemesinan yang dianalisis meliputi kecepatan potong ( $V_c$ ), kecepatan makan ( $f$ ), waktu pemakanan ( $t$ ), kedalaman potong ( $a$ ), kecepatan penghasil geram, serta umur pahat ( $T$ ). Pengujian dilakukan dengan variasi parameter pemotongan yang disesuaikan dengan jenis pembubutan untuk memperoleh data kinerja mesin yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembubutan stang memiliki kecepatan potong tertinggi sebesar 251,758 m/menit dengan waktu pemakanan yang relatif singkat, yaitu 0,238 menit, sehingga menghasilkan kecepatan penghasilan geram yang lebih besar dibandingkan pembubutan pin. Sebaliknya, pembubutan pin menunjukkan waktu pemakanan terlama, yaitu 2,3 menit, dengan kecepatan potong yang lebih rendah. Hubungan antara kecepatan potong dan umur pahat dianalisis menggunakan persamaan Taylor, yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan potong secara signifikan dapat menurunkan umur pahat. Hasil penelitian ini memberikan gambaran bahwa pemilihan parameter pemotongan yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses, umur pahat, serta kualitas hasil pembubutan. Oleh karena itu, disarankan agar parameter pemesinan disesuaikan dengan jenis pembubutan dan karakteristik material, serta didukung dengan perawatan mesin dan penggunaan cairan pendingin untuk memperoleh hasil yang optimal.

**Kata kunci:** Proses Pembubutan, Kecepatan Potong, Kecepatan Makan, Waktu Pemakanan, Umur Pahat, Baja ST 37, Pahat Karbida

### 1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi manufaktur mengalami percepatan yang sangat signifikan seiring dengan masuknya era industri 4.0. Inovasi teknologi yang terus berlangsung menuntut dunia industri untuk mampu beradaptasi secara cepat dan tepat terhadap perubahan yang terjadi [1]. Persaingan global yang semakin ketat mendorong industri untuk tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas produksi, tetapi juga pada kualitas produk, efisiensi waktu, serta optimalisasi biaya produksi. Kualitas hasil dan efisiensi proses produksi menjadi indikator utama keberhasilan suatu industri dalam mempertahankan daya saing di pasar [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem kerja dan teknologi manufaktur yang mampu menghasilkan produk secara massal dengan tingkat presisi tinggi, waktu proses yang singkat, serta kualitas yang konsisten [3].

Dalam praktik manufaktur modern, penggunaan mesin dalam proses pembuatan komponen teknik telah menjadi kebutuhan utama. Penerapan teknologi mesin bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, mempercepat waktu pengerjaan, mengurangi ketergantungan terhadap keterampilan manual operator, serta menekan biaya produksi. Salah satu teknologi yang berkembang pesat dan banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Mesin CNC bekerja berdasarkan instruksi numerik yang diprogram sebelumnya, sehingga mampu mengendalikan pergerakan mesin secara otomatis dengan tingkat ketelitian yang tinggi [4]. Penerapan teknologi CNC memungkinkan proses pemesinan dilakukan secara berulang dengan hasil yang seragam, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan produksi massal dan komponen presisi.

Mesin bubut CNC merupakan salah satu jenis mesin CNC yang banyak digunakan dalam proses pembentukan material, khususnya logam. Mesin ini beroperasi dengan prinsip pemutaran benda kerja dan pemotongan material menggunakan pahat yang digerakkan secara terkontrol oleh sistem komputer. Proses pembubutan pada mesin bubut CNC diawali dengan pemasangan benda kerja pada spindle, kemudian diputar pada kecepatan tertentu sesuai parameter yang telah ditentukan. Selanjutnya, pahat bergerak mengikuti lintasan

pemotongan berdasarkan perintah program untuk menghasilkan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Keunggulan utama mesin bubut CNC terletak pada kemampuannya menghasilkan komponen dengan toleransi ketat, ketelitian dimensi yang tinggi, serta hasil permukaan yang konsisten [5].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja mesin bubut CNC sangat baik dalam memproduksi komponen teknik dengan tingkat presisi tinggi dan kualitas yang stabil. Penggunaan mesin bubut CNC mampu meningkatkan akurasi pemesinan sekaligus mengurangi tingkat kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia [6]. Selain itu, mesin bubut CNC memungkinkan pembuatan komponen dengan geometri kompleks yang sulit dicapai menggunakan mesin bubut konvensional. Dari sisi efisiensi, teknologi CNC juga berkontribusi dalam mempercepat waktu siklus produksi serta mengoptimalkan penggunaan material, sehingga limbah hasil pemesinan dapat diminimalkan [7].

Perkembangan teknologi CNC juga sejalan dengan perubahan pola konsumsi di dunia industri. Saat ini, konsumen tidak hanya mempertimbangkan aspek harga, tetapi juga menuntut produk dengan kualitas tinggi, presisi yang baik, serta kualitas permukaan yang halus. Hal ini mendorong industri untuk mengadopsi teknologi pemesinan yang mampu memenuhi standar tersebut. Penambahan sistem CNC pada mesin bubut menjadikan proses pembubutan komponen yang kompleks dan berdimensi presisi dapat dilakukan dengan lebih mudah dan efisien [8]. Dengan kontrol parameter pemotongan yang lebih akurat, mesin bubut CNC mampu menghasilkan kualitas produk yang lebih baik dibandingkan mesin konvensional.

Pemanfaatan komputer dan sistem kendali numerik dalam industri manufaktur memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan proses produksi. Sistem komputer tidak hanya berfungsi sebagai pengendali pergerakan mesin, tetapi juga sebagai alat untuk mengatur parameter pemesinan secara presisi. Dalam konteks CNC, komputer mampu mengendalikan kecepatan spindle, laju pemakanan, dan kedalaman potong secara terintegrasi. Mesin bubut CNC dan mesin frais CNC banyak digunakan dalam industri yang membutuhkan tingkat kerumitan pemesinan tinggi, seperti industri aviasi, otomotif, dan industri baja elektronik [9]. Penggunaan teknologi ini memungkinkan industri menghasilkan komponen dengan standar kualitas tinggi secara konsisten.

Keunggulan lain dari mesin bubut CNC adalah fleksibilitasnya dalam mengolah berbagai jenis material, mulai dari baja karbon, baja tahan karat, aluminium, hingga material non-logam seperti plastik dan komposit. Dengan pengaturan parameter pemotongan yang tepat, mesin bubut CNC mampu menyesuaikan proses pemesinan sesuai dengan karakteristik material yang digunakan [10]. Kontrol variabel yang ketat, seperti kecepatan potong dan laju pemakanan, memungkinkan mesin menghasilkan produk dengan kualitas permukaan yang stabil pada setiap proses pembentukannya. Oleh karena itu, mesin bubut CNC menjadi elemen penting dalam industri manufaktur yang menuntut standar kualitas tinggi serta konsistensi produksi massal [11].

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja penggunaan mesin bubut CNC dalam proses pembentukan material. Pendekatan eksperimen digunakan untuk memperoleh data kuantitatif yang terukur mengenai pengaruh parameter pemotongan terhadap hasil pemesinan pada mesin bubut CNC [12]. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 15 sampai dengan 25 Juli 2025 di laboratorium SMK Negeri 2 Tanjungbalai yang beralamat di Jl. Sei Agul, Desa Sei Raja, Kecamatan Sei Tualang Raso, Kota Tanjungbalai, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada ketersediaan fasilitas mesin bubut CNC yang memadai serta dukungan sarana pendukung untuk pelaksanaan eksperimen secara terkontrol.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mesin bubut CNC tipe TU 2A, komputer atau panel kontrol CNC sebagai media pengendali mesin, perangkat lunak CAD/CAM untuk pembuatan desain dan pemrograman, alat potong berupa pahat HSS dan pahat karbida, serta sistem penjepitan benda kerja menggunakan chuck atau collet. Penggunaan perangkat lunak CAD/CAM dan sistem pemrograman numerik bertujuan untuk memastikan lintasan pahat dan parameter pemesinan dapat dikontrol secara presisi selama proses pembubutan [13]. Selain itu, digunakan alat ukur berupa jangka sorong, mikrometer, dan surface tester untuk mengukur dimensi dan kekasaran permukaan hasil pembubutan.

Tahapan penelitian diawali dengan penentuan variabel penelitian yang terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas meliputi parameter pemotongan, yaitu kecepatan putar spindle, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong. Variabel terikat meliputi hasil pembentukan material yang diamati

melalui dimensi benda kerja, tingkat kekasaran permukaan, waktu pemesinan, serta kecepatan penghasil geram. Variabel kontrol meliputi jenis pahat, sistem pendingin, dan operator mesin. Penentuan parameter dan pengendalian variabel ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pemesinan benar-benar dipengaruhi oleh variasi parameter pemotongan yang digunakan [14].

Setelah variabel ditetapkan, dilakukan persiapan alat dan bahan dengan memastikan mesin bubut CNC berada dalam kondisi layak operasi, termasuk pemeriksaan sistem kelistrikan, pelumasan, dan panel kontrol. Benda kerja dari baja karbon dipersiapkan sesuai ukuran awal dan dibersihkan sebelum dipasang pada chuck mesin. Pahat dipasang pada tool holder dengan posisi dan sudut yang sesuai untuk proses pembubutan, serta alat ukur dikalibrasi untuk menjamin keakuratan pengukuran.

Desain benda kerja dibuat menggunakan perangkat lunak CAD dan kemudian dikonversi ke dalam program CAM untuk menghasilkan kode G-code yang digunakan pada mesin bubut CNC. Program yang telah dibuat diuji melalui simulasi untuk memastikan tidak terjadi kesalahan lintasan pahat atau potensi tabrakan selama proses pemesinan. Penggunaan pemrograman CNC berbasis G-code memungkinkan proses pembubutan dilakukan secara berulang dengan hasil yang konsisten dan presisi tinggi [15].

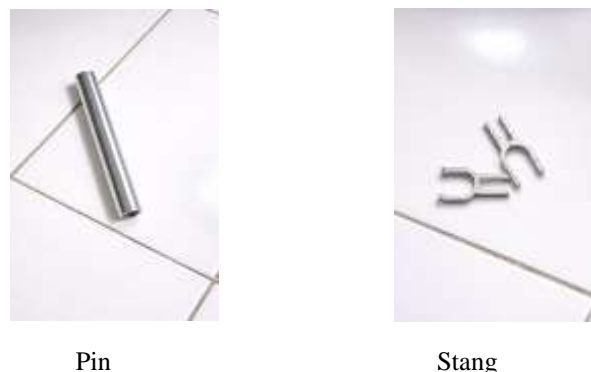
Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan menjalankan mesin bubut CNC sesuai program dan parameter yang telah ditentukan. Selama proses pemesinan, cairan pendingin digunakan untuk menjaga kestabilan suhu pahat dan benda kerja. Setelah proses pembubutan selesai, benda kerja dilepaskan dari mesin dan dilakukan pengukuran dimensi, kekasaran permukaan, serta pencatatan waktu pemesinan. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi unjuk kerja mesin bubut CNC terhadap variasi parameter pemotongan yang digunakan.

### 3. Hasil dan Diskusi

#### *Proses Pemesinan Mesin Bubut CNC*

Proses pemesinan pada mesin bubut CNC TU 2A dimulai dari persiapan benda kerja, pemrograman, hingga proses pemotongan. Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini berupa batang aluminium berbentuk silinder dengan panjang 100 mm dan diameter 25 mm. Aluminium dipilih karena memiliki sifat mudah dibentuk, ringan, dan konduktivitas panas yang baik. Langkah-langkah proses pemesinan secara umum adalah sebagai berikut: 1). Penjepitan benda kerja menggunakan chuck tiga rahang. 2). Penentuan titik nol (zero point) pada permukaan ujung benda kerja. 3). Pemrograman mesin dengan memasukkan perintah G-code, seperti G 00 untuk gerak cepat, G 01 untuk gerak potong linier, serta M03 dan M05 untuk mengatur putaran spindle. 4). Pelaksanaan proses pemesinan dengan parameter kecepatan spindle bervariasi (misalnya 1000, 1500, dan 2000 rpm), kecepatan pemakanan (0,1–0,3 mm/rev), dan kedalaman potong (0,2–0,6 mm). 5). Pengamatan hasil permukaan benda kerja setelah pemotongan untuk menilai tingkat kekasaran dan bentuk geometrinya. Proses pemesinan ini menghasilkan data teoritis mengenai pengaruh setiap parameter terhadap unjuk kerja mesin dalam membentuk material aluminium.

#### *Gambar Benda Kerja yang akan di Bubut CNC*



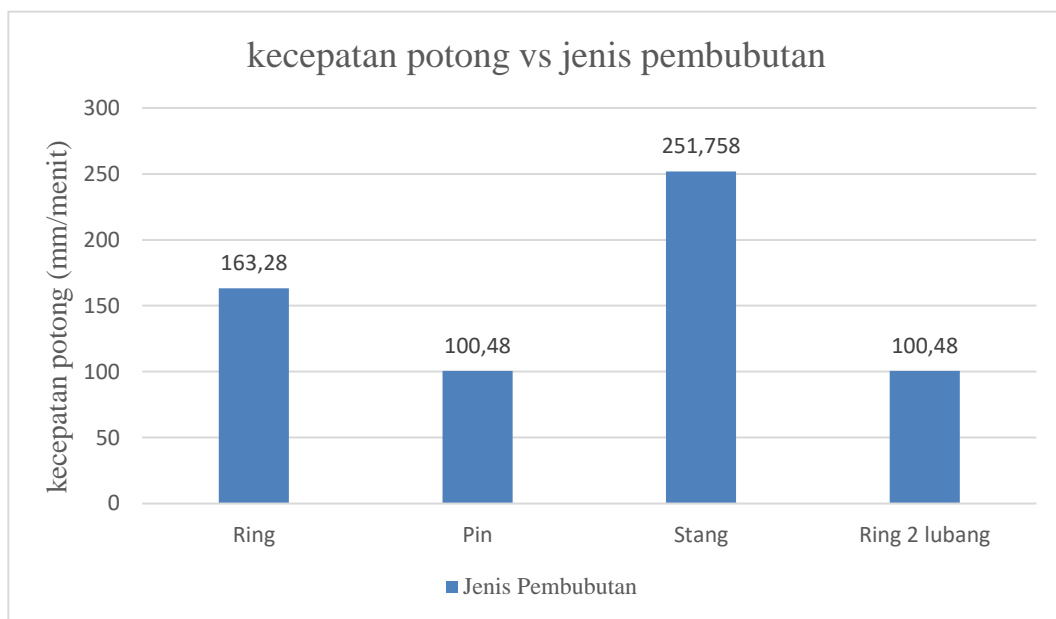
**Gambar 1.** Gambar benda kerja

**Hasil Pembubutan**

**Tabel 1.** Ringkasan Hasil Pembubutan

Jenis Pembubutan	Kecepatan Potong (m/menit)	Kecepatan Makan (mm/menit)	Waktu Pemakanan (menit)	Kedalaman (mm)	Potong	Kecepatan Penghasil geram(mm <sup>3</sup> /menit)
Pin	100,48	100.000	2,3	1		100.000
Stang	251.758	1.456.567	0,238	1		1.456.567

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian pembubutan menunjukkan adanya perbedaan kinerja pemesian antara benda kerja jenis pin dan stang. Pembubutan pin dilakukan dengan kecepatan potong sebesar 100,48 mm/menit dan kecepatan makan 100.000 mm/menit, yang menghasilkan waktu pemakanan 2,3 menit serta kecepatan penghasil geram 100.000 mm<sup>3</sup>/menit. Sementara itu, pembubutan stang menggunakan kecepatan potong yang lebih tinggi, yaitu 251,758 mm/menit, dan kecepatan makan 1.456.567 mm/menit, sehingga waktu pemakanan dapat ditekan hingga 0,238 menit dengan kecepatan penghasil geram mencapai 1.456.567 mm<sup>3</sup>/menit. Meskipun kedalaman potong pada kedua proses sama, yaitu 1 mm, peningkatan kecepatan potong dan kecepatan makan secara signifikan meningkatkan laju penghilangan material. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter pemotongan memiliki pengaruh dominan terhadap produktivitas proses pembubutan.

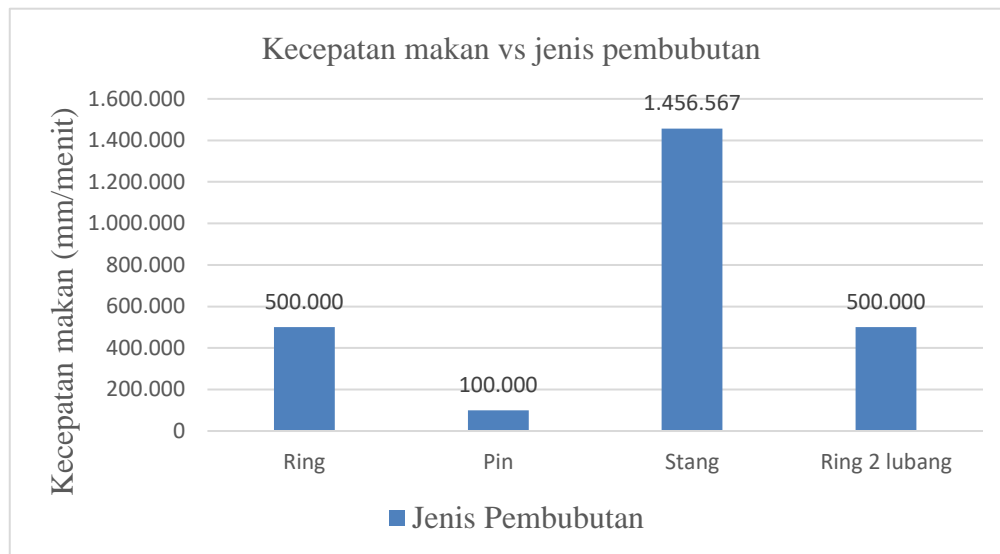


**Gambar 2.** Grafik kecepatan potong vs jenis pembubutan

Berdasarkan Gambar 2, diagram batang menunjukkan perbandingan kecepatan potong antara dua jenis pembubutan, yaitu pin dan stang. Terlihat bahwa kecepatan potong pada pembubutan pin berada pada nilai 100,48 mm/menit, sedangkan pembubutan stang memiliki kecepatan potong yang lebih tinggi, yaitu 251,758 mm/menit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses pembubutan stang dilakukan dengan parameter pemotongan yang lebih agresif dibandingkan pembubutan pin.

Kecepatan potong yang lebih tinggi pada pembubutan stang mengindikasikan kemampuan proses pemesian dalam meningkatkan laju penghilangan material, yang berdampak langsung pada peningkatan produktivitas. Sebaliknya, kecepatan potong yang lebih rendah pada pembubutan pin menunjukkan pendekatan pemesian yang lebih konservatif, yang umumnya bertujuan untuk menjaga kestabilan proses dan kualitas permukaan benda kerja.

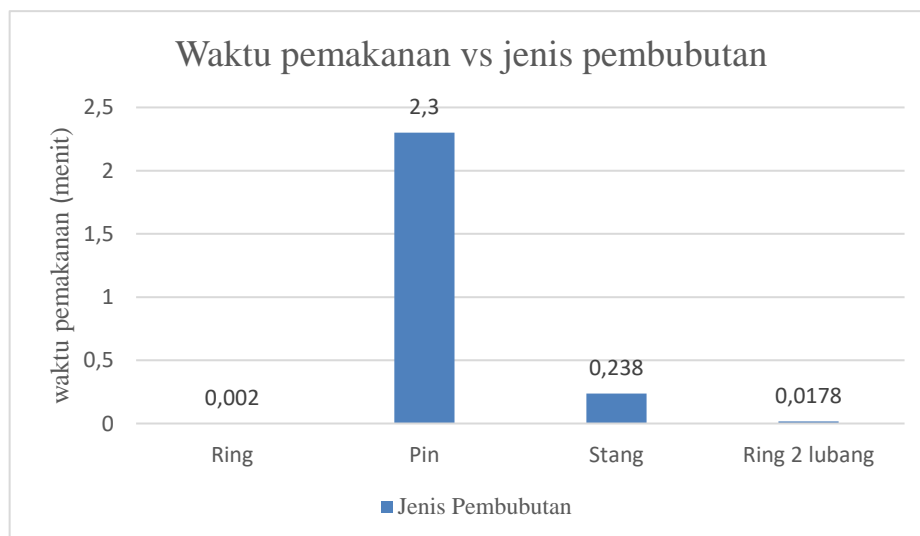
Dengan demikian, diagram ini menegaskan bahwa jenis pembubutan berpengaruh terhadap penentuan kecepatan potong, di mana pembubutan stang memerlukan kecepatan potong yang lebih tinggi dibandingkan pembubutan pin untuk mencapai efisiensi proses yang optimal.



**Gambar. 3** Grafik kecepatan makan vs jenis pembubutan

Berdasarkan Gambar 3, diagram menunjukkan bahwa kecepatan makan pada pembubutan stang jauh lebih tinggi dibandingkan pembubutan pin. Kecepatan makan pada pembubutan pin tercatat sebesar 100.000 mm/menit, sedangkan pada pembubutan stang mencapai 1.456.567 mm/menit. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa proses pembubutan stang dilakukan dengan parameter pemakanan yang lebih agresif untuk meningkatkan laju pemesinan.

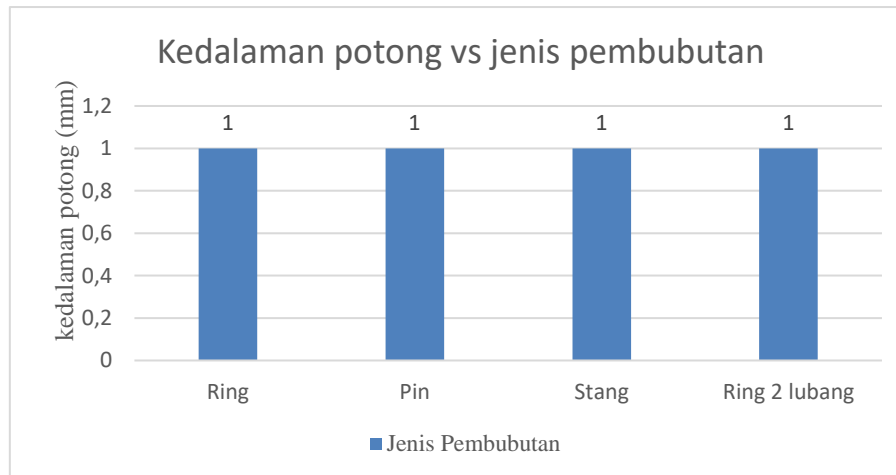
Tingginya kecepatan makan pada pembubutan stang berkontribusi langsung terhadap peningkatan produktivitas proses, karena pahat mampu menempuh jarak pemakanan lebih cepat dalam satuan waktu. Sebaliknya, kecepatan makan yang lebih rendah pada pembubutan pin menunjukkan pendekatan pemesinan yang lebih konservatif guna menjaga kestabilan proses dan kualitas hasil pemotongan.



**Gambar 4.** Grafik waktu pemakanan vs jenis pembubutan

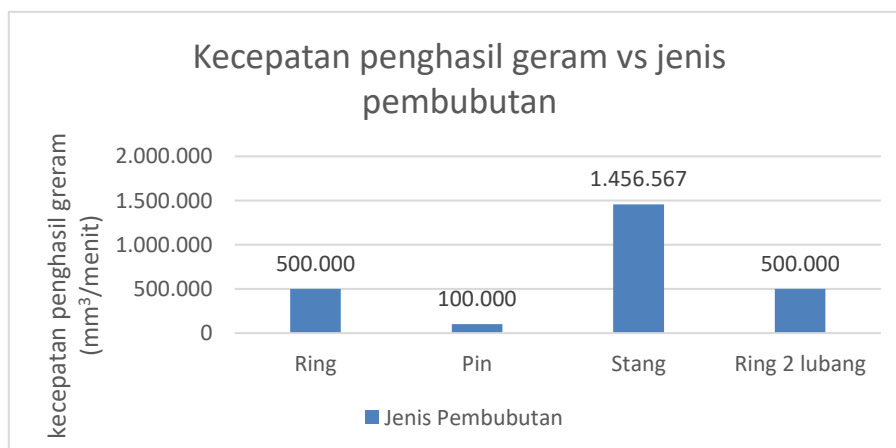
Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa waktu pemakanan pada pembubutan pin lebih lama dibandingkan pembubutan stang. Waktu pemakanan pin mencapai 2,3 menit, sedangkan waktu pemakanan stang hanya 0,238 menit. Perbedaan ini terjadi sebagai akibat langsung dari perbedaan kecepatan makan dan kecepatan potong yang digunakan pada masing-masing proses pembubutan.

Waktu pemakanan yang lebih singkat pada pembubutan stang menunjukkan efisiensi proses pemesinan yang lebih tinggi, karena laju pemakanan yang besar memungkinkan penghilangan material dalam waktu yang lebih cepat. Dengan demikian, diagram ini memperkuat hubungan terbalik antara kecepatan makan dan waktu pemakanan, di mana peningkatan kecepatan makan menghasilkan penurunan waktu pemesinan secara signifikan.



**Gambar 5.** Grafik kedalaman potong vs jenis pembubutan

Berdasarkan Gambar 5, ditunjukkan perbandingan kedalaman potong pada dua jenis pembubutan, yaitu pembubutan Pin dan Stang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kedua jenis pembubutan tersebut menggunakan kedalaman potong yang sama, yaitu sebesar 1 mm. Kesamaan nilai kedalaman potong ini menunjukkan bahwa variabel kedalaman potong dibuat konstan pada kedua proses pembubutan. Dengan demikian, kedalaman potong tidak menjadi faktor pembeda dalam analisis perbandingan antara pembubutan Pin dan Stang. Pengaturan kedalaman potong yang sama bertujuan untuk memastikan bahwa perbedaan hasil proses pembubutan yang terjadi lebih dipengaruhi oleh parameter pemesinan lainnya, seperti kecepatan potong dan laju pemakanan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jenis pembubutan tidak memengaruhi kedalaman potong pada kondisi pengujian ini, karena nilai kedalaman potong yang digunakan adalah sama untuk kedua jenis pembubutan.



**Gambar 6.** Grafik kecepatan penghasil geram vs jenis pembubutan

Berdasarkan Gambar 6, ditunjukkan perbandingan kecepatan penghasil geram pada dua jenis pembubutan, yaitu pembubutan Pin dan Stang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pembubutan Pin memiliki kecepatan penghasil geram sebesar 100.000 mm<sup>3</sup>/menit, sedangkan pembubutan Stang mencapai 1.456.567 mm<sup>3</sup>/menit.

Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa pembubutan Stang memiliki kecepatan pembentukan geram yang jauh lebih tinggi dibandingkan pembubutan Pin. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembubutan Stang dilakukan dengan parameter pemotongan yang lebih besar, seperti kecepatan potong dan laju pemakanan, sehingga volume material yang terbuang per satuan waktu menjadi lebih besar.

Kecepatan penghasil geram yang tinggi mencerminkan tingkat produktivitas proses pemesinan yang lebih baik. Oleh karena itu, pembubutan Stang dapat dikatakan lebih efisien untuk proses pembentukan material dalam jumlah besar. Sebaliknya, pembubutan Pin cenderung menggunakan parameter pemotongan yang lebih rendah, yang kemungkinan bertujuan untuk menjaga ketelitian dimensi dan kualitas permukaan hasil pembubutan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jenis pembubutan berpengaruh terhadap kecepatan penghasil geram, di mana pembubutan Stang menghasilkan tingkat produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan pembubutan Pin.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai unjuk kerja penggunaan mesin bubut CNC dalam proses pembentukan material, dapat disimpulkan bahwa variasi parameter pemotongan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja pemesinan, khususnya pada kecepatan potong, waktu pemakanan, dan umur pahat. Pembubutan jenis pin dilakukan dengan kecepatan potong sebesar 100,48 m/menit dan menghasilkan waktu pemakanan selama 2,3 menit, dengan umur pahat mencapai 89,06 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa pembubutan pin dengan parameter kecepatan rendah relatif lebih stabil dan efisien dalam mempertahankan umur pahat, sehingga sesuai untuk proses yang menuntut ketelitian dan daya tahan pahat yang lebih lama. Sebaliknya, pembubutan jenis stang menggunakan kecepatan potong yang lebih tinggi, yaitu sebesar 251,758 m/menit, dengan waktu pemakanan yang jauh lebih singkat. Kondisi ini meningkatkan produktivitas proses pembubutan, namun berdampak pada penurunan umur pahat yang hanya mencapai 2,22 menit. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan potong dan kecepatan makan secara langsung meningkatkan laju penghilangan material, tetapi cenderung mempercepat keausan pahat. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa kecepatan potong, waktu pemakanan, dan umur pahat sangat bergantung pada jenis pembubutan yang dilakukan, di mana proses dengan kecepatan tinggi lebih berorientasi pada produktivitas, sedangkan proses dengan kecepatan rendah lebih berorientasi pada efisiensi dan ketahanan pahat. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan sebagai dasar dalam pemilihan parameter pemotongan yang sesuai dengan tujuan proses pemesinan, baik untuk meningkatkan produktivitas maupun untuk memperpanjang umur pahat. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian pada variasi material yang berbeda serta pengaruh penggunaan jenis pahat dan sistem pendingin yang beragam guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

#### Referensi

1. Anaam, I. K., Hidayat, T., Pranata, R. Y., Abdillah, H., & Putra, A. Y. W. (2022). Pengaruh tren otomasi dalam dunia manufaktur dan industri. Dalam *Vocational Education National Seminar (VENS)* (Vol. 1, No. 1).
2. Irwansyah, D., Budiyanoro, C., & Sunardi, S. (2017). Perancangan mesin vacuum forming untuk material plastik polystyrene (PS) dengan ukuran maksimal cetakan 400 × 300 × 150 mm<sup>3</sup>. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 1(2), 87–95. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v1i2.3286>
3. Ahmad, F., & Sumbodo, W. (2021). Pengaruh parameter pemakanan terhadap kekasaran permukaan ST 40 pada mesin bubut CNC. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(2), 46–57.
4. Elvys, E. Y., & Arisandi, D. (2017). Retrofit mesin milling manual Z7632 ke sistem CNC milling. Dalam *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komputer FTKOM UNCP* (hlm. 236–246).
5. Setyoadi, Y., & Latifah, K. (2015). Integrasi software CAD-CAM dalam sistem operasi mesin bubut CNC. *Jurnal Informatika UPGRIS*, 1(2). <https://doi.org/10.26877/jiu.v1i2.873>
6. Kurniawan, E., Syaifurrahman, S., & Jekky, B. (2020). Rancang bangun mesin CNC lathe mini 2 axis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 4(2), 83–90. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.769>
7. Wibolo, A., Wahyudi, S., & Sugiarto, S. (2011). Optimasi parameter pemotongan mesin bubut CNC terhadap kekasaran permukaan dengan geometri pahat yang dilengkapi chip breaker. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), 55–63. <https://doi.org/10.21776/jrm.v2i1.118>
8. Sabbara, L. I. (2019). *Pengaruh media pendingin dan kecepatan spindle terhadap tingkat kekasaran proses CNC turning pada aluminium daur ulang*. Universitas Negeri Semarang.

9. Ardika, F. A. I. (2018). *Proses produksi pembuatan benda kerja dengan menggunakan mesin bubut CNC TU-2A*. Politeknik Negeri Semarang.
10. Panuntun, M. W. R. B., Arianto, F. E., & Manurung, J. B. (2022). Pengaruh kecepatan putar, kedalaman pemotongan, dan laju pemakanan terhadap getaran arah radial pada mesin bubut CNC. *Jurnal Inkofar*, 6(1). <https://doi.org/10.46846/jumalinkofar.v6i1.212>
11. Masalik, M. N. A., & Susandi, D. (2022). Proses pembuatan bushing inner free cutting dengan menggunakan mesin bubut CNC DMC dan mesin bubut milling. *Prosiding SENIATI*, 6(2), 391–398.
12. Jannuar, A., Rifelino, R., Syahri, B., & Abadi, Z. (2022). Analisis varian parameter pemesinan bubut terhadap kualitas permukaan benda kerja dan karakteristik geram terpotong. *Jurnal Vokasi Mekanika*, 4(4), 117–123.
13. Santosa, A. S. T. (2024). *Computer aided manufacturing (CAM)*. Mega Press Nusantara.
14. Kasman, R. A. A. (2020). *Pengaruh proses annealing baja karbon ST60 terhadap kekasaran permukaan hasil permesinan bubut* (Disertasi doctoral). Universitas Hasanuddin.
15. Gunanto, A., & Pramono, J. (2021). *Teknik pemesinan NC/CNC dan CAM SMK/MAK kelas XII: Program keahlian teknik mesin, kompetensi keahlian teknik pemesinan* (Edisi revisi). Penerbit Andi.

---