

Usulan Pengaturan Parameter Mesin Cnc Fc 1325 Untuk Mengurangi *Surface Roughness* Pada Proses *Engraving* Akrilik Menggunakan *Design Of Experiment*

1st I Putu Dimas Arya Bagus Bagaskara
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
iputudimasarya@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rizqa Amelia Zunaidi
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
rizqazunaidi@telkomuniversity.ac.id

3rd Aufar Fikri Dimiyati
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
aufarfd@telkomuniversity.ac.id

Penerapan sistem komputer dalam mesin produksi telah berkembang menjadi teknologi CNC (*Computer Numerically Controlled*) yang mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi proses manufaktur. Namun, pengoperasian mesin CNC tanpa dasar parameter yang tepat, terutama oleh operator baru yang masih mengandalkan pendekatan *trial and error*, dapat menurunkan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan mengusulkan kombinasi parameter pemesinan yang optimal pada mesin CNC router FC 1325 guna meminimalkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada proses engraving akrilik. Metode eksperimen yang digunakan adalah *Design of Experiment* (DoE) dengan pendekatan full factorial design 2³. Faktor-faktor yang diuji meliputi *depth of cut* (DoC), *feed rate*, dan *spindle speed*. Data hasil eksperimen dianalisis menggunakan *two-way ANOVA* untuk mengidentifikasi faktor signifikan, disusul uji Post-Hoc untuk menentukan kombinasi parameter terbaik. Hasil menunjukkan bahwa *feed rate* dan *spindle speed* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Penelitian ini juga memperoleh usulan parameter dengan tingkat kekasaran (*surface roughness*) dari proses engraving akrilik dan ditemukan bahwa DoC tidak memberikan pengaruh signifikan pada nilai kekasaran permukaan.

Kata kunci— CNC, DoE, Full Factorial, Surface Roughness

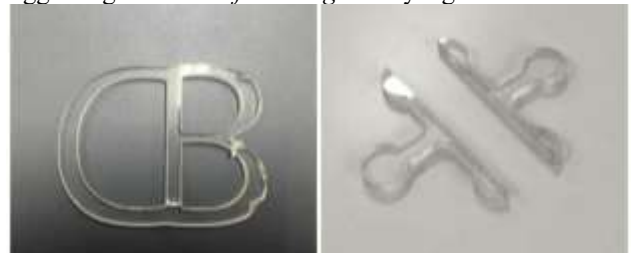
I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era industri 4.0 mendorong penerapan sistem otomasi dalam berbagai proses manufaktur. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah CNC (*Computer Numerically Controlled*), yaitu perpaduan antara teknologi komputer dan mesin yang memungkinkan pengendalian proses pemotongan secara presisi melalui program komputer. CNC memberikan keunggulan dalam hal efisiensi, fleksibilitas, dan akurasi dibandingkan mesin konvensional [1][2]. Teknologi ini juga mendukung sistem produksi modern yang terintegrasi dengan konsep *computer-*

aided design (CAD), *computer-aided manufacturing* (CAM), dan *computer-integrated manufacturing* (CIM) [3].

Penggunaan mesin CNC tidak terbatas pada sektor industri saja, tetapi juga telah diterapkan dalam kegiatan pendidikan dan penelitian [4]. Salah satu mesin yang digunakan dalam lingkup akademik adalah CNC router FC 1325, yang tersedia di laboratorium sistem produksi Program Studi Teknik Industri, Telkom University Kampus Surabaya. Mesin ini digunakan oleh mahasiswa dan dosen untuk kebutuhan praktikum dan penelitian. Namun, permasalahan muncul ketika operator pemula mengoperasikan mesin menggunakan pendekatan *trial and error*, yang berdampak pada rendahnya kualitas hasil pemesinan, seperti permukaan yang tidak rata, banyaknya retakan, serta bentuk yang tidak sesuai secara visual maupun fungsional.

Metode *trial and error* yang dilakukan mencakup asumsi dalam pemilihan metode, material, hingga pengaturan parameter mesin. Hal ini mengakibatkan pemborosan material dan waktu. Berdasarkan hasil wawancara dengan kepala laboratorium, kerugian akibat pengulangan proses engraving mencapai 7% dari total anggaran praktikum, atau sekitar Rp212.500. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis untuk menentukan kombinasi parameter pemesinan yang tepat agar hasil akhir memiliki kualitas tinggi dengan nilai *surface roughness* yang rendah.



GAMBAR 1
(HASIL PERMESINAN PRAKTIKUM SISTEM TERINTEGRASI 1 TAHUN 2024)

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design of Experiment* (DoE) dengan metode *full factorial* 2^3 untuk mengevaluasi pengaruh tiga parameter pemesinan yang dapat dikendalikan, yaitu *depth of cut* (DoC), *feed rate*, dan *spindle speed* karena dalam implementasinya diharuskan untuk dapat menentukan faktor, level dan respons terlebih dahulu agar dapat ditentukan jumlah sampel yang ideal [5]. Analisis dilakukan menggunakan uji two-way ANOVA untuk mengidentifikasi faktor yang berpengaruh signifikan terhadap surface roughness, dan dilanjutkan dengan uji *Post-Hoc* untuk menentukan kombinasi parameter optimal.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode serupa. Penelitian oleh Rangga Galuh (2021) [2] dan penelitian lainnya menggunakan metode *full factorial* untuk mengoptimalkan parameter CNC router ACD-3346, namun masih membutuhkan uji lanjut setelah ANOVA. Sementara itu, [6] menggunakan metode yang sama pada mesin G-Weike WK1212 dengan pendekatan *respons plot* untuk penentuan kombinasi parameter optimal.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan panduan parameter pengoperasian mesin CNC FC 1325 yang lebih akurat dan efisien, sehingga membantu civitas akademik dalam menghasilkan produk berkualitas dengan biaya lebih rendah dan hasil permukaan yang lebih halus.

II. KAJIAN TEORI

A. Proses Manufaktur

Produksi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk menghasilkan atau meningkatkan nilai guna barang dan jasa melalui pemanfaatan sumber daya seperti tenaga kerja, peralatan, material, dan modal, agar dapat memenuhi kebutuhan manusia secara lebih efektif [1]. Dalam proses manufaktur terdapat proses penggilingan (*milling*) yang merupakan operasi permesinan yang mana benda kerja dimakan/ dikikis dengan alat silindris yang berputar dengan banyak ujung potong. Parameter permesinan dalam proses *milling* umumnya adalah *depth of cut* (DoC), *spindle speed*, dan *feedrate*.

B. CNC (Computer Numerically Controlled)

CNC merupakan singkatan dari *Computer Numerical Control* yang merupakan sebuah mesin dengan sistem kerja yang di kontrol dengan komputer dan menggunakan bahasa pemrograman *numerical control* (angka dan huruf) [7]. Dalam perkembangannya mesin CNC terdapat berbagai jenis dan memiliki fungsi yang berbeda setiap penggunaannya. Salah satu jenis mesin CNC yaitu mesin CNC *router* yang merupakan kombinasi teknologi CNC dan mesin *router* di mana CNC berfungsi untuk mengontrol pergerakan proses pemotongan sedangkan bagian *router* pada CNC berfungsi sebagai pemutar alat potong [8]. Mesin CNC *router* menggunakan konsep putaran mata potong yang berputar pada sumbunya untuk melakukan proses permesinan seperti menggali (*milling*), mengukir (*engraving*) dan memotong (*cutting*). Mesin CNC *router* terdiri dari 3 sumbu yaitu sumbu x, sumbu y, sumbu z sehingga sangat cocok digunakan untuk memotong benda kerja yang memiliki luas yang besar karena mesin *router* akan bergerak memotong sesuai sumbunya sedangkan benda kerja tersebut tidak mengalami pergerakan.

C. Material Akrilik

Akrilik adalah polimer yang berasal dari *acrylic acid* ($C_3H_4O_2$) dan senyawa yang berasal darinya. Akrilik merupakan termoplastik dengan bagian terpentingnya yaitu *polymethylmethacrylate* (PMMA) [3]. Kelebihan dari material akrilik adalah transparansi yang sangat baik, yang membuat akrilik bersaing dengan kaca dalam aplikasi optik pada produk. Contoh aplikasi material akrilik adalah lensa lampu belakang otomotif, instrumen optik, dan jendela pesawat.

D. Design of Experiment (DoE)

Design of Experiments (DoE) merupakan suatu pendekatan sistematis dalam merancang dan merencanakan (*planning*) eksperimen yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas suatu sistem, proses, maupun produk. [9]. DoE umumnya dimanfaatkan dalam eksperimen untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara variabel respons dengan faktor-faktor yang memengaruhinya. [10]. Dalam pendekatan DoE, terdapat beberapa metode seperti *full factorial*, *full response*, *Taguchi* dan lainnya. *Full Factorial* mempelajari semua kemungkinan kombinasi parameter dan untuk mengevaluasi pengaruh parameter terhadap variabel respons. *Taguchi* mempelajari Pengaruh dari Banyak Variabel untuk Menentukan Kombinasi Variabel Terbaik. Dan *full response method* Menentukan Level dan nilai Variabel optimal dan Membentuk Fungsi Prediksi.

E. Surface Roughness

Parameter kekasaran (*roughness parameter*) merupakan parameter yang paling penting untuk mengkarakterisasi topografi permukaan, digunakan untuk mengukur karakteristik vertikal dari penyimpangan permukaan. Kekasaran permukaan dapat didefinisikan sebagai rata-rata deviasi vertikal dari permukaan nominal dengan ukuran yang telah ditentukan [3]. Menurut Groover terdapat beberapa instrumen dalam pengukuran *surface roughness* yaitu iji standar permukaan (*visual*), penggunaan *stylus*, dan secara optikal (cahaya atau laser).

F. ANOVA

Analysis of Variance merupakan teknik membandingkan sampel acak dari beberapa populasi. Sampel tersebut muncul akibat dari perlakuan yang berbeda pada tiap populasi saat eksperimen berlangsung [11]. Kemudian terdapat uji lanjutan yaitu uji *post hoc* merupakan analisis setelah ANOVA atau pasca ANOVA yang dilakukan apabila hipotesis nol (H_0) ditolak. Fungsi analisis setelah proses ANOVA adalah untuk mencari kelompok yang berbeda. Ada beberapa teknik analisis yang dapat digunakan untuk melakukan uji *post hoc* antara lain *Tukey's HSD*, *Bonferroni*, *Sidak*, *Scheffe*, *Duncan*.

G. Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan tema yang diangkat telah banyak menggunakan metode *full factorial* karena metode tersebut mempelajari semua kemungkinan kombinasi parameter dan untuk mengevaluasi pengaruh parameter terhadap variabel respons [5]. Penelitian dengan topik terkait menggunakan *full factorial* sudah cukup untuk menghasilkan kombinasi parameter dengan tingkat kekasaran yang rendah [2] [12] [13] [14] [15] [16] [17]. Beberapa penelitian juga menggabungkan beberapa metode untuk menghasilkan *output* yang lebih

seperti penggabungan *full factorial* dengan *Taguchi* [18], *Taguchi* dengan *Grey Relational Analysis* [19] [20]. Terdapat beberapa konsep percobaan yang dapat diterapkan pada DoE yaitu pengacakan (*randomization*), *blocking*, replikasi, dan kemelesetan [21].

III. METODE

Perancangan percobaan yang dilakukan menggunakan beberapa tahapan dari penentuan dan pengambilan data, proses permesinan, hingga pengolahan data statistik.

A. Pengambilan Data Penelitian

Metode *full factorial* membutuhkan faktor dan level dalam eksperimen yang akan dilakukan. Faktor yang dipilih adalah faktor parameter permesinan yaitu *depth of cut (DoC)*, *feedrate*, dan *spindle speed*.

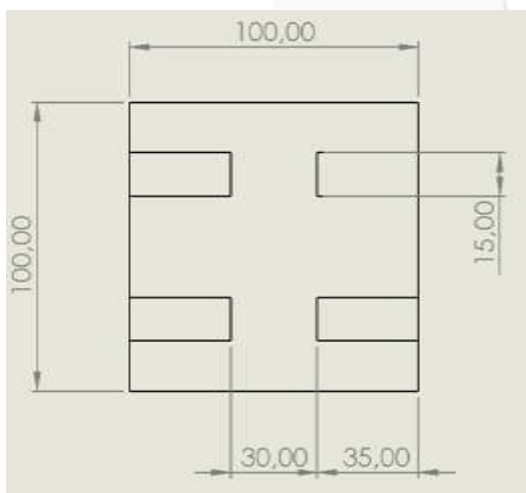
TABEL 1
(FAKTOR DAN LEVEL PENELITIAN)

| No | DoC (mm) | Feedrate (mm/rev) | Spindle Speed (rpm) |
|----|----------|-------------------|---------------------|
| 1 | 1 | 500 | 3000 |
| 2 | 1,5 | 1000 | 4000 |

Eksperimen *full factorial* dirancang sebagai eksperimen yang bertujuan untuk memperkirakan efek terkait dengan perubahan faktor 3 di seluruh level I_3 -nya. Percobaan yang dilakukan adalah *full factorial 2³* sehingga didapatkan profil percobaan sebanyak 8 percobaan. Replikasi untuk setiap percobaan dilakukan sebanyak 4 replikasi sehingga didapatkan jumlah sampel penelitian adalah 32 sampel.

B. Perancangan Spesimen

Objek yang akan dipotong didesain menggunakan beberapa *software* desain. *File* desain objek mencakup objek sesuai dengan replikasi yang dilakukan yaitu sebanyak 4 kali per sampel. Dimensi ukuran pada desain spesimen menggunakan satuan milimeter.



GAMBAR 2
(DESAIN SPESIMEN PENELITIAN)

Alasan penentuan bentuk objek dirancang seperti pada Gambar 2 yaitu adalah agar spesimen dapat menginterpretasikan parameter *engraving* dengan baik dan disesuaikan dengan alat ukur lainnya agar alat ukur tersebut dapat digunakan pada spesimen.

C. Proses Permesinan CNC

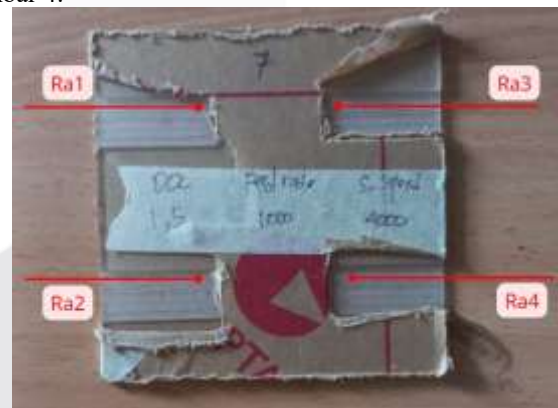
Langkah awal dari operasi *engraving* adalah *set-up* mesin CNC FC 1325. Akrilik dengan ketebalan 3 mm dipasang pada area pemotongan. Data .CNC yang telah dibuat kemudian dimasukkan ke dalam *remote* CNC FC 1325 dalam bentuk *flashdisk* untuk lanjut ke proses permesinan CNC. Setelah data terbaca, mesin CNC akan melakukan proses *engraving* pada akrilik sesuai dengan desain yang telah dibuat.



GAMBAR 3
(HASIL PERMESINAN CNC)

D. Pengukuran Ra (*Surface Roughness*)

Setelah hasil permesinan CNC didapatkan, langkah selanjutnya adalah mengukur *surface roughness* dari setiap sampel menggunakan alat *surface roughness tester*. Urutan dan arah pengukuran *surface roughness* dapat dilihat pada gambar 4.



GAMBAR 4
(JALUR STYLUS PADA PENGUKURAN SURFACE ROUGHNESS)

Pengukuran dilakukan pada area awal jalannya mata pahat agar mewakili seperti pada Gambar 4 agar mewakili proses permesinan yang diinginkan terutama pada parameter *depth of Cut*.

E. Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik merupakan sebuah uji prasyarat yang dilakukan sebelum melakukan analisis terhadap data yang telah dikumpulkan. Uji asumsi klasik yang digunakan adalah uji normalitas dan uji heteroskedastisitas.

F. Uji ANOVA

Pada uji statistik ANOVA, data yang digunakan adalah hasil *surface roughness* dari setiap sampel yang sudah melalui uji

normalitas dan uji homogenitas. *Output* yang diharapkan dari pengujian statistik ini adalah mendapatkan parameter dan kombinasi parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap *surface roughness*.

G. Uji Post Hoc

Uji *post hoc* merupakan uji lanjutan atau uji yang menilai adanya perbedaan signifikan antar kelompok. Uji *post hoc* bertujuan untuk memperoleh pengaturan parameter yang sesuai untuk mesin CNC FC 1325

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan berisi tentang hasil percobaan (*experiments*) yang dilakukan pada tahap perancangan dan permesinan.

A. Hasil Pengukuran *Surface Roughness* (Ra)

Hasil pengukuran diperoleh dari *output* alat *surface roughness tester*. Terdapat 4 hasil pengukuran Ra untuk masing-masing kombinasi parameter dan setiap Ra memiliki satuan μm .

TABEL 2
(HASIL PENGUKURAN SURFACE ROUGHNESS)

| No | DoC (mm) | Feed rate (mm/rev) | Spindle Speed (rpm) | Ra ₁ | Ra ₂ | Ra ₃ | Ra ₄ |
|----|----------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 1 | 1000 | 3000 | 17,1 81 | 17,9 60 | 22,3 00 | 12,38 9 |
| 2 | 1,5 | 500 | 3000 | 5,48 5 | 8,64 5 | 9,92 2 | 6,288 |
| 3 | 1,5 | 1000 | 3000 | 23,4 00 | 28,0 50 | 30,0 01 | 15,54 1 |
| 4 | 1 | 500 | 3000 | 4,91 1 | 4,53 6 | 5,82 7 | 5,240 |
| 5 | 1 | 1000 | 4000 | 5,83 1 | 6,12 3 | 4,22 6 | 5,712 |
| 6 | 1 | 500 | 4000 | 4,62 2 | 3,41 2 | 6,12 5 | 5,701 |
| 7 | 1,5 | 1000 | 4000 | 7,44 5 | 6,23 9 | 8,86 1 | 5,939 |
| 8 | 1,5 | 500 | 4000 | 3,61 6 | 3,70 7 | 5,49 8 | 5,787 |

B. Uji Normalitas

Sebelum pengujian data Ra yang sudah diperoleh dikelompokkan sesuai dengan urutan percobaan, Percobaan pertama dikodekan sebagai G1 hingga percobaan ke-8 dikodekan sebagai G8.

TABEL 3
(UJI NORMALITAS)

| | Shapiro-Wilk | | |
|----|--------------|----|------|
| | Statistic | df | Sig. |
| G1 | .889 | 4 | .378 |
| G2 | .934 | 4 | .619 |
| G3 | .911 | 4 | .488 |
| G4 | .831 | 4 | .172 |
| G5 | .810 | 4 | .121 |
| G6 | .946 | 4 | .691 |
| G7 | .919 | 4 | .532 |
| G8 | .807 | 4 | .115 |

Jenis uji normalitas yang digunakan adalah *P-value* pada setiap grup percobaan menunjukkan bahwa nilai $> 0,01$ dengan nilai G1 = 0,378; G2 = 0,619; G3 = 0,488; G4 = 0,172; G5 = 0,121; G6 = 0,961; G7 = 0,532; G8 = 0,115. Berdasarkan hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa data berdistribusi normal.

C. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dibutuhkan sebagai syarat untuk lanjut ke tahap uji statistik (*Two-way ANOVA*) di mana uji heteroskedastisitas yang dilakukan adalah *levene test*.

TABEL 4
(LEVENE TEST)

| Dependent Variable: Ra | | | |
|------------------------|-----|-----|------|
| F | df1 | df2 | Sig. |
| 3.511 | 7 | 24 | .010 |

Nilai α yang didefinisikan pada uji heteroskedastisitas pada penelitian ini adalah 0,01. Sehingga berdasarkan hasil *levene test* data Ra yang digunakan sudah homogen sehingga dapat lanjut ke proses berikutnya

D. Uji ANOVA

Hasil uji normalitas dan heteroskedastisitas menunjukkan bahwa data berdistribusi normal dan homogen, sehingga uji statistik yang digunakan adalah *two-way ANOVA*. *Two-way ANOVA* digunakan untuk menguji keterkaitan pengaruh antara variabel bebas (*DoC, feedrate, spindle speed*) dengan variabel terikat yaitu Ra.

TABEL 5
(HASIL UJI ANOVA)

| Tests of Between-Subjects Effects | |
|-----------------------------------|-------|
| Dependent Variable: Ra | |
| Source | Sig. |
| DoC | 0.017 |
| Feedrate | 0.000 |
| Spindle speed | 0.000 |
| DoC * Feedrate | 0.139 |
| DoC * spindle speed | 0.066 |
| Feedrate * spindle speed | 0.000 |
| DoC * Feedrate * spindle speed | 0.569 |

Hipotesis:

Ho : Parameter/ kombinasi parameter tidak mempengaruhi terhadap nilai Ra.

H1 : Parameter/ kombinasi parameter mempengaruhi nilai Ra.

α : 0,01

Hasil *two-way ANOVA* menunjukkan bahwa setiap kombinasi yang melibatkan DoC tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai Ra (*surface roughness*).

E. Uji Post Hoc

Uji *post hoc* bertujuan untuk memperoleh pengaturan parameter yang sesuai untuk mesin CNC FC 1325. Karena level yang digunakan dalam penelitian berjumlah 2 level, maka acuan dalam uji *post hoc* cukup dalam membandingkan nilai *mean* dari setiap parameter dan kombinasi parameter yang memiliki pengaruh signifikan dan memilih kombinasi parameter dengan nilai *mean* terendah.

TABEL 6
(HASIL PENDEKATAN DESKRIPTIF UJI POST HOC)

| Parameter | Level | Hasil Mean (\bar{x}) |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Feedrate | 500 mm/rev | 5.5528 |
| | 1000 mm/rev | 13.5749 |
| Spindle Speed | 3000 rpm | 13.6048 |
| | 4000 rpm | 5.5826 |
| Kombinasi Feedrate dan Spindle Speed | 500 mm/rev dan 3000 rpm | 6.3568 |
| Kombinasi Feedrate dan Spindle Speed | 500 mm/rev dan 4000 rpm | 4.8085 |

| Parameter | Level | Hasil Mean (\bar{x}) |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Kombinasi Feedrate dan Spindle Speed | 1000 mm/rev dan 3000 rpm | 20.8528 |
| Kombinasi Feedrate dan Spindle Speed | 1000 mm/rev dan 4000 rpm | 6.2970 |

Hasil yang didapat adalah kombinasi *feedrate* dengan level 500 mm/rev dan *spindle speed* dengan level 4000 rpm memiliki hasil *mean* yang lebih rendah dibanding kombinasi yang lain yaitu dengan nilai \bar{x} sebesar 4.8085.

F. Pembahasan

Hasil pengolahan data menggunakan *two-way* ANOVA menunjukkan bahwa DoC merupakan parameter yang tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Ra. Hal tersebut didukung oleh beberapa penelitian dan buku yang salah satunya menyebutkan bahwa DoC hanya berperan signifikan dalam konteks *burnishing* dan perubahan struktur permukaan, sementara Ra ditentukan oleh *feed marks* (dan dengan demikian terutama oleh *feed rate* dan *geometry pahat*) [22]. Jika kedalaman potong terlalu kecil, pahat belum cukup "menancap" ke material maka efeknya malah seperti *burnishing* (membubut tanpa memotong), menghasilkan permukaan yang halus tapi juga cenderung menimbulkan *stres termal* dan *residual stress*. Hal tersebut terlihat mempengaruhi permukaan secara visual tapi bukan pengaruh dominan Ra secara numerik. Selain itu, pada penelitian ini level DoC yang digunakan hanya 2 level yaitu pada 1 mm dan 1,5 mm sehingga perubahan tidak cukup besar untuk memengaruhi kekasaran secara statistik. Dari pernyataan-pernyataan dan studi literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *feedrate* dan *spindle speed* merupakan faktor primer pembentuk jejak permukaan sehingga mempengaruhi *surface roughness* secara signifikan. Sedangkan DoC dalam proses *engraving* lebih berpengaruh pada dimensi potong, gaya potong, dan efisiensi, tapi bukan pada tekstur permukaan utama (Ra).

Berdasarkan uji *post hoc* yang telah dilakukan, usulan pengaturan parameter permesinan yang tepat untuk mesin CNC FC 1325 agar menghasilkan *surface roughness* yang rendah adalah dengan *feedrate* sebesar 500 mm/rev, *spindle speed* sebesar 4000 rpm. Berdasarkan buku karangan Groover tahun 2001 menyebutkan bahwa semakin rendah *feedrate*, maka jarak antar jejak pahat (*feed marks*) semakin rapat, sehingga permukaan menjadi lebih halus. Artinya, Ra meningkat secara kuadrat terhadap *feedrate*. Jadi, kenaikan kecil pada *feedrate* akan menjadi kenaikan besar pada Ra. *Spindle speed* juga memiliki efek negatif terhadap Ra sehingga semakin tinggi level *spindle speed* maka nilai Ra menurun [23].

V. KESIMPULAN

Penggunaan metode *trial and error* pada permesinan CNC merupakan tindakan yang merugikan secara waktu, tenaga dan biaya sehingga dilakukan penelitian berupa percobaan (DoE). Berdasarkan hasil *two way* ANOVA, parameter permesinan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *surface roughness* pada proses *engraving* akrilik adalah *feed rate* dan *spindle speed*, sedangkan DoC tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Hasil pengaruh parameter ini juga didukung oleh beberapa studi literatur untuk memperkuat hasil. Usulan pengaturan parameter permesinan yang tepat untuk mesin CNC FC 1325 agar

menghasilkan *surface roughness* yang rendah adalah dengan *feedrate* sebesar 500 mm/rev, *spindle speed* sebesar 4000 rpm, dan DoC dengan pengaturan berupa pun

REFERENSI

- [1] M. P. Groover, *Otomasi, Sistem Produksi, dan Computer-Integrated Manufacturing*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2001.
- [2] R. G. R. Rifai, "Peningkatan Surface Roughness Permesinan CNC Router ACD-3346 pada Proses Engraving Akrilik Menggunakan Full Factorial Design," Bandung, 2023.
- [3] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 5 ed. New York: Wiley, 2012.
- [4] G. E. Pramono, D. Yuliaji, R. Waluyo, dan Jaenal, "Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, hlm. 6, 2015.
- [5] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. New Jersey: John Wiley & Sons, inc., 2013.
- [6] D. K. Wijaya, N. A. Banoel, dan T. Talitha, "Metode Taguchi Untuk Optimasi Proses Engraving CNC Router G-Weike WK1212 untuk Kayu Mahoni," *Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 7, no. 2, hlm. 98–103, 2021.
- [7] H. B. Kief dan Roschiwa. Helmut A., *CNC Handbook*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2013.
- [8] K. Ma'arif, M. Yusril, Muhtar, A. Sunding, dan N. R. Wibowo, "Rancang Bangun Mesin CNC Router," *Jurnal Tematis (Teknologi, Manufaktur, dan Industri)*, hlm. 2–3, 2021.
- [9] N. R. Costa, A. R. Pires, dan C. Riberio, "Guidelines to help practitioners of design of experiments," *The TQM Magazine*, vol. 18, no. 4, hlm. 386–399, 2006.
- [10] B. I. A. Muttaqin, "Telaah Kajian dan Literature Review Design of Experiment (DoE)," *Journal of Advances in Information and Industrial Technology (JAIIIT)*, vol. 1, no. 1, hlm. 33–36, 2019.
- [11] Christensen dan Ronald, *Analysis of Variance, Design, and Regression*. New Mexico: CRC Press, 2016.
- [12] D. K. Wijaya, H. Suprijono, dan D. S. Nugroho, "Optimasi Proses Cutting Mesin CNC Router G-Weike WK1212 dengan Metode Full Factorial Design dan Optimasi Plot Multi Respon," *Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)*, hlm. 1–14, 2020.
- [13] K. Hosea, "Peningkatan Kualitas Pemesinan Bubut melalui Perancangan Kombinasi Variabel Pemesinan 2D Ultrasonic Vibration Assisted Turning dengan Full Factorial Method," Bandung, 2023.
- [14] A. Kassaw dan M. Ayele, "Effect of Weft Yarn Type and Weaving Parameters on Surface Roughness and Drapeability of Woven Fabric," *Journal of Natural Fiber*, vol. 1, no. 1, hlm. 2–12, 2024.

- [15] A. F. Ramadhani, "Optimasi Setting Mesin Cutting Roll Menggunakan Design of Experiment (Studi Kasus: CV Surya Gemilang)," Surabaya, 2024.
- [16] I. Sztankovics, "Analysis of the Effect of Machining Parameters on The Surface Roughness in Bore Honing," *Engineering Review*, vol. 44, no. 1, hlm. 116–122, 2024.
- [17] S. Özbey, "Analysis of Surface Hardness and Roughness in Laser-Processed 1.2379 Tool Steel using Full Factorial Design and ANOVA," *5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences*, hlm. 307–311, 2024.
- [18] N. Tayisepi *dkk.*, "Taguchi Full Factorial Design of Experiments Optimisation of Cutting Parameters for Energy Efficiency and Surface Roughness during the Dry Turning of EN19 Material," *World Journal of Engineering and Technology*, vol. 12, no. 2, hlm. 438–454, 2024.
- [19] P. Giri, Wahyudyatama, K. F. Panjaitan, Y. Burhannudin, dan G. A. Ibrahim, "Optimal Conditions of Tool Wear and Surface Roughness of Magnesium Workpiece in Milling Machine with Combination of Taguchi Methods, Grey Relational Analysis and Principal Component Analysis," *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVIII*, hlm. 1–7, 2019.
- [20] N. A. Miftah, "Optimasi Nilai Surface Roughness dan Material Removal Rate Pemesinan Milling Hauw Gan ZX 7550Z Menggunakan Metode Taguchi dan Grey Relational Analysis," *eProceedings of Engineering*, vol. 10, no. 3, hlm. 2299–2304, 2023.
- [21] S. Muis, *Teori Design of Experiments (DOE) Implementasi dengan Minitab*. Yogyakarta: Teknosain, 2017.
- [22] S. Kalpakjian dan S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology Seventh Edition in SI Units*, 7 ed. Pearson, 2013. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.pearsoned-asia.com/kalpakjian>.
- [23] A. V. Muthusamy Subramanian, M. D. G. Nachimuthu, dan V. Cinnasamy, "Assessment of cutting force and surface roughness in LM6/SiCp using response surface methodology," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 15, no. 3, hlm. 283–296, Jun 2017, doi: 10.1016/j.jart.2017.01.013.