

# ANALISIS PARAMETER CNC TURNING MENGGUNAKAN METODE OPERASI BARIS ELEMENTER PADA SOFTWARE MATLAB TERHADAP KUALITAS SHAFT MATERIAL ALUMINIUM DENGAN INSERT TOOL CARBIDE

Hafidz Salafuddin

Program Studi Magister Teknik Mesin  
Universitas Mercu Buana Jakarta  
e-mail : hafidz.salafuddin@gmail.com

## ABSTRAK

Proses pemesinan CNC merupakan fondasi utama manufaktur modern yang penting untuk produksi komponen dengan spesifikasi dan kualitas tinggi. Adapun, parameter pemesinan seperti kecepatan spindle, arah pemotongan, dan kondisi alat pemotong sangat mempengaruhi kualitas produk, termasuk kekasaran permukaan dan integritas struktural. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan pada mesin CNC turning dengan bahan aluminium 6061-T6 menggunakan insert tool carbide, guna meningkatkan kualitas permukaan shaft dan umur alat. Sebagaimana diketahui, pendekatan yang digunakan adalah operasi baris elementer pada perangkat lunak MATLAB untuk memecahkan dan mengevaluasi sistem persamaan non-linear. Di samping itu, penelitian dilakukan pada mesin CNC Turning jenis Haas ST-20 dengan variasi parameter kecepatan potong ( $V$ ), kedalaman potong ( $d$ ), dan laju pemakanan ( $f$ ). Material yang digunakan adalah aluminium 6061-T6 dengan insert tool dari Sandvik Coromant model CNMG 432. Hasil penelitian menunjukkan hubungan positif linear antara kecepatan potong, kedalaman potong, dan laju pemakanan terhadap kualitas permukaan. Begitu juga, kecepatan potong optimal adalah 145.00, kedalaman potong optimal adalah 0.72, dan laju pemakanan optimal adalah 0.32, menghasilkan kualitas produk sebesar 90.31. Pada titik ini, temuan ini memberikan kontribusi signifikan bagi industri manufaktur dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemesinan.

**Kata kunci:** Aluminium , CNC, MATLAB, Operasi Baris Elementer

## PENDAHULUAN

Proses pemesinan CNC adalah fondasi utama manufaktur modern, penting untuk produksi komponen dengan spesifikasi dan kualitas tinggi (Abougarair & Tabet, 2023). Di samping itu, kualitas produk mesin dipengaruhi oleh parameter seperti kecepatan spindle dan arah pemotongan yang mempengaruhi kekasaran permukaan dan integritas struktural (Habiby et al., 2023). Terlebih lagi, kondisi alat pemotong, terutama keausan, sangat mempengaruhi kualitas mesin dan bisa dipantau dengan metodologi canggih (Geovanni et al., 2023). Selain itu, presisi pemesinan CNC juga dipengaruhi oleh deformasi suhu dan elastis, yang dapat dikoreksi dengan simulasi dan data kontrol (Korotkov, 2023) (Caijun, 2023). Pada akhirnya, sistem hidrolis yang seimbang mengurangi deformasi benda kerja dan meningkatkan presisi mesin CNC.

Parameter pemesinan CNC seperti kecepatan potong, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan berpengaruh signifikan terhadap hasil pemesinan. Demikian pula, kecepatan pemakanan

terutama mempengaruhi kekasaran permukaan, sedangkan kedalaman potong memiliki dampak besar pada tingkat penghapusan material (Equbal et al., 2022). Terlebih lagi, penelitian tentang pemesinan paduan Aluminium menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan dan pemesinan umpan progresif menghasilkan penyelesaian permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan mesin umpan konstan (Bommisetty et al., 2022). Di sisi lain, studi pada baja AISI P20 menemukan bahwa kecepatan pemakanan adalah parameter paling signifikan yang mempengaruhi kekasaran permukaan, sementara itu, kedalaman potong adalah faktor yang paling mempengaruhi gaya pemotongan (AKGÜN & ÖZLÜ, 2022). Oleh karena itu, kecepatan spindle yang lebih tinggi dan arah pemotongan zig-zag terbukti menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah (Habiby et al., 2023). Meskipun begitu, simulasi numerik menunjukkan bahwa kecepatan potong memiliki pengaruh besar pada suhu yang dihasilkan dalam model mesin, sedangkan kedalaman pemotongan memiliki dampak yang lebih kecil terhadap suhu benda kerja (Abdulaali et al., 2022). Sebagai hasilnya, temuan ini menekankan pentingnya

parameter pemesinan dalam hal kekasaran permukaan, keausan alat, dan gaya pemotongan.

Memahami dan mengendalikan sistem persamaan non-linier yang kompleks dalam proses pemesinan memerlukan pendekatan multi-segi. Demikian pula, salah satu metode yang efektif adalah integrasi optimasi off-line dengan kontrol adaptif on-line, terlebih lagi optimalisasi parameter pemesinan seperti stabilitas gaya potong dan kualitas permukaan dapat dicapai dengan teknik seperti algoritma genetik Pareto (Liu et al., 2022). Di sisi lain, penggunaan teknologi kontrol logika yang dapat diprogram meningkatkan kontrol otomatis peralatan mesin CNC dan pengelolaan proses pemesinan (Zhang, 2022). Oleh karena itu, algoritma kontrol lanjutan seperti NCCA dan US-C dapat meningkatkan kualitas mesin CNC dengan mengoptimalkan kecepatan kontur dan meminimalkan kesalahan kontur (Lyubich et al., 2021). Meskipun begitu, integrasi pendekatan kontrol prediktif umum non-linear (RNGPC) membantu mengelola non-linearitas dan perubahan dinamis dalam sistem (Djouadi et al., 2023). Dalam hal ini, penyesuaian sinergis program CNC eksternal dengan dinamika internal proses pemotongan meningkatkan efisiensi ekonomi dan kualitas produksi batch (Vilor Zakovorotny & Valery Gvindjiliya, 2022). Sebagai hasilnya, dengan menggabungkan strategi pengoptimalan dan kontrol lanjutan ini, dimungkinkan untuk mengelola persamaan non-linier kompleks yang mengatur proses pemesinan CNC dan mencapai hasil yang diinginkan dalam hal kekasaran permukaan, keausan alat, dan gaya pemotongan.

Penerapan operasi baris dasar dalam mengoptimalkan parameter mesin bubut CNC dengan bahan aluminium terbukti efektif. Sementara itu, penelitian lain menggunakan metode berbeda, seperti metode array ortogonal Taguchi L27, juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam optimasi parameter mesin telah berhasil diterapkan untuk mengoptimalkan parameter pembubutan CNC untuk Aluminium Alloy 7075, secara signifikan meningkatkan laju penghilangan material, kekasaran permukaan, dan gaya pemotongan (Akhtar et al., 2021). Namun demikian, metode Taguchi yang dikombinasikan dengan algoritma genetik telah digunakan untuk mengoptimalkan kekasaran permukaan pada bahan Al6061, menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan adalah faktor paling dominan yang mempengaruhi kualitas permukaan (Pohtys et al., 2018). Dalam kenyataannya, efektivitas mesin CNC dapat dievaluasi menggunakan Keseluruhan Efektivitas Peralatan yang mempertimbangkan waktu henti, pengurangan kecepatan, dan kualitas produk, memberikan pandangan yang lebih holistik tentang kinerja alat berat (Arifin et al., 2023). Lebih dari itu, teknik pengoptimalan lanjutan seperti

Algoritma Genetik Penyortiran Non-Dominasi (NSGA III) dan pengoptimal berbantuan penggilingan telah digunakan untuk proses penggilingan akhir, menunjukkan peningkatan signifikan dalam tingkat penghilangan material dan kekasaran permukaan (Ghosh & Martinsen, 2020) (Ghosh et al., 2020). Terutama, metode ini memanfaatkan model komputasi dan algoritma evolusi untuk menangani kompleksitas dan non-linearitas proses pemesinan.

Aluminium 6061-T6 adalah material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifat mekaniknya yang unggul, termasuk kekuatan dan ketahanan terhadap korosi. Untuk mencapai kualitas permukaan yang tinggi dan umur alat yang optimal dalam pemesinan shaft aluminium 6061-T6 dengan menggunakan insert tool carbide pada mesin CNC turning, diperlukan optimasi parameter pemesinan yang tepat. Penelitian ini berfokus pada optimasi parameter pemesinan dan evaluasi sistem persamaan non-linear untuk meningkatkan kualitas shaft aluminium 6061-T6. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan teoritis yang signifikan bagi industri manufaktur, terutama dalam upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemesinan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak MATLAB sebagai alat utama untuk analisis data. Dalam penelitian ini, kami menggunakan mesin CNC Turning jenis Haas ST-20 yang memiliki kecepatan spindle hingga 4000 RPM, diameter chuck 8.3 inci, dan max swing 23 inci. Mesin ini mampu melakukan turning dengan diameter maksimum 12.0 inci dan panjang pemotongan maksimum 20.75 inci. Material yang diproses adalah Aluminium 6061-T6, yang terkenal dengan densitas  $2.70 \text{ g/cm}^3$ , tensile strength 310 MPa, yield strength 276 MPa, dan hardness 95 HB. Untuk pemesinan, kami menggunakan insert tool dari Sandvik Coromant, model CNMG 432 yang terbuat dari carbide dan dilapisi dengan Titanium Aluminium Nitride (TiAlN). Ukuran tool ini adalah 12mm x 12mm x 4mm dengan panjang cutting edge 12mm dan corner radius 0.8mm.

Produk yang dihasilkan dari penelitian ini adalah shaft untuk aplikasi otomotif dengan panjang 150 mm dan diameter 50 mm. Shaft ini dihasilkan dengan spesifikasi toleransi diameter  $\pm 0.02 \text{ mm}$  dan surface finish Ra  $0.8 \mu\text{m}$ .

Data dari penelitian ini merupakan eksperimen terhadap 10 sampel dengan variasi kecepatan potong (V), kedalaman potong (d), dan laju pemakanan (f) untuk mengukur pengaruhnya terhadap kualitas (Q) hasil pemesinan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menuliskan persamaan yang menggambarkan hubungan antara parameter operasi dan kualitas produk. Persamaan non-linear yang digunakan adalah :

$$Q_i = a \cdot V_i^2 + b \cdot d_i^2 + c \cdot f_i^2 + d \quad (1)$$

$Q_i$ : Kualitas hasil pemesinan pada percobaan atau pengamatan ke- $i$ .

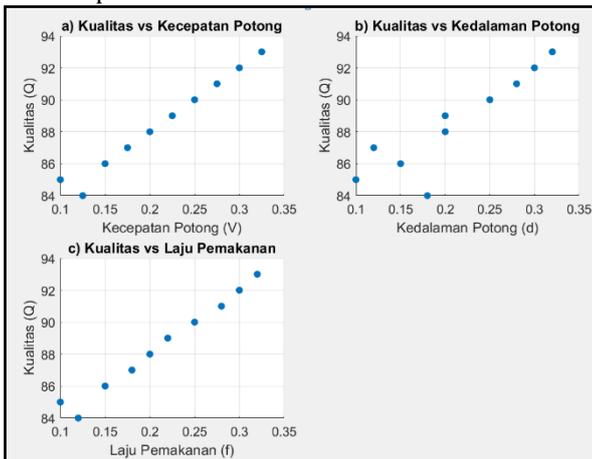
$V_i$ : Kecepatan potong pada percobaan atau pengamatan ke- $i$ .

$d_i$ : Kedalaman potong pada percobaan atau pengamatan ke- $i$ .

$f_i$ : Laju pemakanan pada percobaan atau pengamatan ke- $i$ .

$a, b, c$ : Koefisien yang menggambarkan pengaruh masing-masing parameter (kecepatan potong, kedalaman potong, dan laju pemakanan) terhadap kualitas hasil pemesinan.

$d$ : Konstanta yang mencakup faktor-faktor lain yang mempengaruhi kualitas tetapi tidak dimasukkan sebagai variabel independen.



Gambar 1. (a) kualitas vs kecepatan potong (b) kualitas vs kedalaman potong (c) kualitas vs laju pemakanan

Pada gambar 1a terlihat adanya hubungan linear positif yang nyata antara kecepatan potong ( $V$ ) dan kualitas ( $Q$ ). Temuan menarik ini menunjukkan bahwa dengan meningkatkan kecepatan potong dari 100 hingga 145, kualitas produk secara konsisten naik dari 84 hingga 94. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan potong adalah faktor penting dalam meningkatkan kualitas produk.

Sementara itu, pada gambar 1b. juga menunjukkan hubungan linear positif antara kedalaman potong ( $d$ ) dan kualitas ( $Q$ ). Peningkatan kedalaman potong dari 0,5 hingga 0,75 dikaitkan dengan peningkatan kualitas dari 84 hingga 94. Yang menarik adalah bahwa meskipun penambahan kedalaman potong dapat meningkatkan beban kerja pada alat, hal ini justru menghasilkan kualitas yang lebih baik.

Demikian pula, Pada gambar 1c terdapat korelasi positif linear antara laju pemakanan ( $f$ ) dan kualitas ( $Q$ ). Laju pemakanan yang lebih tinggi, dari 0,1 hingga 0,35, menunjukkan peningkatan kualitas dari 84 hingga 94. Temuan ini menarik karena menunjukkan bahwa dengan meningkatkan laju pemakanan, proses produksi bisa lebih efisien tanpa mengorbankan kualitas.

```

% Data sampel (gantikan dengan data yang sesuai)
V = [100, 120, 110, 115, 105, 130, 125, 140, 135, 145];
d = [0.5, 0.6, 0.55, 0.52, 0.58, 0.65, 0.6, 0.7, 0.68, 0.72];
f = [0.1, 0.2, 0.15, 0.18, 0.12, 0.25, 0.22, 0.3, 0.28, 0.32];

% Inisialisasi variabel untuk menyimpan nilai optimal
max_Q = -Inf;
optimal_V = 0;
optimal_d = 0;
optimal_f = 0;

% Mencari nilai optimal dengan memeriksa semua kombinasi parameter
for i = 1:length(V)
    for j = 1:length(d)
        for k = 1:length(f)
            Q = 0.0009 * V(i)^2 + 1.2 * d(j)^2 + 7.5 * f(k)^2 + 70;
            if Q > max_Q
                max_Q = Q;
                optimal_V = V(i);
                optimal_d = d(j);
                optimal_f = f(k);
            end
        end
    end
end

% Menampilkan hasil
fprintf('Parameter operasi yang optimal:\n');
fprintf('Kecepatan Potong (V) = %.2f\n', optimal_V);
fprintf('Kedalaman Potong (d) = %.2f\n', optimal_d);
fprintf('Laju Pemakanan (f) = %.2f\n', optimal_f);
fprintf('Kualitas Produk (Q) = %.2f\n', max_Q);
    
```

Gambar 2. Kode MATLAB untuk Operasi Baris Elementer

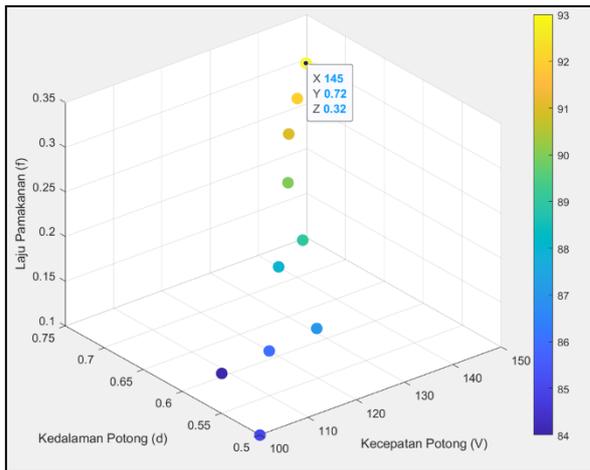
Pada Gambar 2 Menunjukkan Kode MATLAB untuk Operasi Baris Elementer untuk 10 sample pada proses OBE yang merupakan perhitungan yang panjang dan berulang, perhitungan tersebut dituangkan dalam bentuk kode MATLAB untuk mempercepat proses dan mendapatkan hasil yang akurat. Dalam penelitian ini, digunakan 10 sampel dengan variasi kecepatan potong ( $V$ ), kedalaman potong ( $d$ ), dan laju pemakanan ( $f$ ) untuk mengukur pengaruhnya terhadap kualitas ( $Q$ ) hasil pemesinan. MATLAB memungkinkan simulasi dan analisis dilakukan lebih cepat dan mengurangi risiko kesalahan manusia, sehingga hasil yang diperoleh lebih andal dan konsisten.

Tabel 1. Hasil parameter operasi yang optimal

Parameter	Nilai
Kecepatan Potong (V)	145.00
Kedalaman Potong (d)	0.72
Laju Pemakanan (f)	0.32
Kualitas Produk (Q)	90.31

Tabel 1 menunjukkan hasil MATLAB yang berupa parameter operasi yang optimal untuk kecepatan potong ( $V$ ), kedalaman potong ( $d$ ), laju pemakanan ( $f$ ), dan kualitas produk ( $Q$ ) hasil pemesinan. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai optimal untuk kecepatan potong adalah 145.00, kedalaman potong 0.72, dan laju pemakanan 0.32, yang menghasilkan kualitas produk sebesar 90.31. Hal yang menarik dari analisis ini adalah

bahwa kombinasi dari parameter tersebut secara signifikan mempengaruhi kualitas hasil pemesinan



Gambar 3. Plot 3D hubungan antara kedalaman potong (d), kecepatan potong (v), laju pemakanan (f), dan kualitas produk (q).ode matlab untuk operasi baris elementer untuk 10 sample

Gambar 3 menunjukkan Analisis pola yang jelas dimana variasi dalam Kedalaman Potong dan Kecepatan Potong mempengaruhi Laju Pemakanan dan Kualitas Produk. Pengelompokan data berdasarkan skala warna menunjukkan perubahan signifikan pada parameter yang diukur. Hal ini menyoroti korelasi kuat antara variabel-variabel tersebut, yang dapat membantu optimasi parameter pemesinan untuk efisiensi dan kualitas hasil yang lebih baik. Sebagai hasilnya, parameter operasi yang optimal ditemukan pada Kecepatan Potong (V) sebesar 145.00, Kedalaman Potong (d) sebesar 0.72, Laju Pemakanan (f) sebesar 0.32, dan Kualitas Produk (Q) mencapai nilai 90.31.

## PENUTUP

Penelitian ini menarik karena berhasil menemukan hubungan linear positif antara kecepatan potong, kedalaman potong, dan laju pemakanan terhadap kualitas hasil pemesinan pada material aluminium 6061-T6. Temuan utama menunjukkan bahwa kecepatan potong optimal adalah 145.00 m/min, kedalaman potong optimal adalah 0.72 mm, dan laju pemakanan optimal adalah 0.32 mm/rev, yang menghasilkan kualitas produk sebesar 90.31%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulaali, H. H., Abdul Ahleem, S. M., & Kadhim, A. K. J. (2022). The Effect of Machining Parameters on the Temperature Distribution in Metal Cutting Operation. *International Journal of Heat and Technology*, 40(5), 1234–1240. <https://doi.org/10.18280/ijht.400515>
- Abougarair, A. J., & Tabet, M. A. (2023). *Practical work for exploring the capabilities and benefits of CNC technology*. 9(2), 55–60. <https://doi.org/10.15406/iratj.2023.09.00264>
- AKGÜN, M., & ÖZLÜ, B. (2022). Optimization of Cutting Parameters Affecting Cutting Force and Surface Roughness in Machining of AISI P20 Die Steel. *Open Journal of Nano*, 7(1), 31–40. <https://doi.org/10.56171/ojn.1039567>
- Akhtar, M. N., Sathis, T., Mohanavel, V., Afzal, A., Arul, K., Ravichandran, M., Rahim, I. A., Alhady, S. S. N., Bakar, E. A., & Saleh, B. (2021). Optimization of process parameters in cnc turning of aluminum 7075 alloy using l27 array-based taguchi method. *Materials*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/ma14164470>
- Arifin, A., Tama, I., & Sumantri, Y. (2023). Analysis the Effectiveness of Cnc Turning Machines Type Xtra 420 Using the Overall Equipment Method Effectiveness (Oee). *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 11(1), 46–53. <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.2023.011.015>
- Bommisetty, S. R., Chettu, K. B., & Hanumanthappa, S. N. (2022). Study and Experimental Investigation of the Effect of Progressive Feed Rate on Surface Roughness in CNC End Milling Process Using RSM. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 55(5), 581–591. <https://doi.org/10.18280/jesa.550503>
- Caijun, L. (2023). *Analysis of CNC machine tool self-circulating hydraulic balance system*. 6(6), 39–44. <https://doi.org/10.25236/AJETS.2023.060606>
- Djouadi, H., Ouari, K., Belkhier, Y., Lehouche, H., Ibaouene, C., Bajaj, M., AboRas, K. M., Khan, B., & Kamel, S. (2023). Non-linear multivariable permanent magnet synchronous machine control: A robust non-linear generalized predictive controller approach. *IET Control Theory and Applications*, 17(12), 1688–1702. <https://doi.org/10.1049/cth2.12509>
- Equbal, A., Equbal, M. A., Equbal, M. I., Ravindrannair, P., Khan, Z. A., Badruddin, I. A., Kamangar, S., Tirth, V., Javed, S., & Kittur, M. I. (2022). Evaluating CNC Milling Performance for Machining AISI 316 Stainless Steel with Carbide Cutting Tool Insert. *Materials*, 15(22), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma15228051>
- Geovanni, D., Alfredo, R., Zamudio-ram, I., Armando, I., Trejo-hern, M., & Antonino-daviu, J. A. (2023). *Methodology for Tool Wear Detection in CNC Machines Based on Fusion Flux Current of Motor and Image Workpieces*.
- Ghosh, T., & Martinsen, K. (2020). NSGA III for CNC End Milling Process Optimization. *Communications in Computer and Information*

- Science*, 1203 *CCIS*, 185–195.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-15-4301-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4301-2_16)
- Ghosh, T., Wang, Y., Martinsen, K., & Wang, K. (2020). A surrogate-assisted optimization approach for multi-response end milling of aluminum alloy AA3105. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(9–10), 2419–2439.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-020-06209-6>
- Habiby, M. N. A., Istianto, uspo V., & Fahmi, M. (2023). *Optimization Of Cutting Direction Parameters For A Cnc Milling Machining Process Pocket On Structure And Surface Roughness On Postep Motorcycle Spare Parts*. 135–143.  
<https://doi.org/10.21776/MECHTA.2023.004.02.3>
- Korotkov, V. G. (2023). *The modeling of elastic deformations by the cnc machine technological system*. 1(42), 34–39.  
<https://doi.org/10.31319/2519-2884.42.2023.4>
- Liu, H., Wang, Y., & Dong, J. (2022). Application of combined optimization strategy and system of CNC machining parameter. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(7), 1–11.  
<https://doi.org/10.1177/16878132221110004>
- Lyubich, V. K., Kurmashev, A. D., & Frolov, V. Y. (2021). Synthesis of the CNC machine control algorithms optimized with respect to the contour error using the genetic algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 1753(1).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1753/1/012027>
- Pothys, P., Selvam, R., & Kumar, A. S. (2018). *Evaluation of Optimal Machining Parameters for Turning by Using Genetic Algorithm*. 6(07), 1–5.
- Vilor Zakovorotny, L., & Valery Gvindjiliya, E. (2022). Process control synergetics for metal-cutting machines. *Journal of Vibroengineering*, 24(1), 177–189.  
<https://doi.org/10.21595/jve.2021.22087>
- Zhang, L. (2022). Application of programmable logic control in the nonlinear machine automation control using numerical control technology. *Nonlinear Engineering*, 11(1), 428–436.  
<https://doi.org/10.1515/nleng-2022-0229>