

The background of the cover is a composite industrial image. On the left, there's a vertical section showing molten metal being poured or processed, with bright orange and yellow sparks. Below that, a horizontal section shows a glowing orange metal slab being processed by rollers. In the bottom left, a large metal flange or pipe end is visible. On the right side, there's a stack of various metal products, including round bars, square bars, and hexagonal bars, all in a dark, metallic finish. The overall color palette is dominated by the orange and yellow of the molten metal, the dark greys and blacks of the machinery and finished products, and a light grey/white diagonal band that separates the author's name from the title.

Dr. Yani Kurniawan, S.T., M.T.

TEKNOLOGI PEMBENTUKAN LOGAM

Forging
Rolling
Extrusion

Dr. Yani Kurniawan, S.T., M.T.

TEKNOLOGI PEMBENTUKAN LOGAM

Forging
Rolling
Extrusion

TEKNOLOGI PEMBENTUKAN LOGAM
Forging, Rolling, Extrusion

Penulis:
Yani Kurniawan

Desain Cover:
Helmaria Ulfa

Sumber Ilustrasi:
www.freepik.com

Tata Letak:
Handarini Rohana

Proofreader:
Aas Masruroh

ISBN:
978-634-317-232-1

Cetakan Pertama:
Agustus, 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang
by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:
WIDINA MEDIA UTAMA
Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025
Website: www.penerbitwidina.com
Instagram: @penerbitwidina
Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya buku referensi yang berjudul “Pembentukan Logam: *Forging*, *Rolling*, dan *Extrusion*” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu sumber pembelajaran dan referensi bagi mahasiswa, dosen, praktisi industri, maupun pembaca umum yang memiliki ketertarikan pada bidang teknik manufaktur dan proses pembentukan logam.

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat menuntut pemahaman yang mendalam mengenai berbagai metode pembentukan logam yang digunakan dalam dunia industri. Proses *forging*, *rolling*, dan *extrusion* merupakan bagian penting dalam teknik pembentukan logam karena memiliki peranan besar dalam menghasilkan komponen dengan sifat mekanik, dimensi, dan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan industri modern. Oleh karena itu, pemahaman mengenai prinsip kerja, karakteristik proses, parameter operasi, hingga kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode menjadi sangat penting.

Buku ini disusun secara sistematis dengan harapan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai konsep dasar hingga penerapan proses pembentukan logam di dunia industri. Materi yang disajikan mencakup teori dasar deformasi plastis, jenis-jenis proses *forging*, *rolling*, dan *extrusion*, peralatan yang digunakan, analisis proses, serta contoh penerapan dalam bidang manufaktur.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki berbagai kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan buku ini pada masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap buku ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi referensi yang berguna dalam mendukung proses pembelajaran dan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang teknik manufaktur dan proses pembentukan logam.

Penulis
Yani Kurniawan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
BAGIAN 1 PENDAHULUAN	1
A. Pengertian Teknologi Pembentukan	1
B. Sejarah Perkembangan Proses Pembentukan	1
C. Peran Teknologi Pembentukan Dalam Industri Manufaktur	2
D. Klasifikasi Proses Pembentukan Logam.....	3
E. Keunggulan dan Keterbatasan Proses Pembentukan	5
F. Tren dan Perkembangan Teknologi Pembentukan Modern	5
G. Ringkasan Bagian 1	7
BAGIAN 2 PROSES TEMPA (FORGING)	9
A. Pengertian dan Prinsip Dasar Tempa	9
B. Klasifikasi Proses Tempa.....	10
C. Penempaan Cetakan Terbuka (Open Die Forging)	11
D. Penempaan Cetakan Impresi (Impression-Die Forging).....	16
E. Penempaan Tanpa Flash (Flashless Forging)	20
F. Peralatan dan Mesin Tempa.....	22
G. Cacat Pada Produk Tempa.....	24
H. Pengaruh Parameter Proses Tempa	27
I. Ringkasan Bagian 2	36
BAGIAN 3 PROSES Pengerolan (ROLLING)	39
A. Prinsip Dasar Rolling	39
B. Pengerolan Datar (Flat Rolling)	41
C. Pengerolan Bentuk (Shape Rolling)	47
D. Rolling Mills	49
E. Proses Lain Yang Berkaitan Dengan Pengerolan	52
F. Cacat Pada Rolling	56
G. Pengaruh Parameter Proses Rolling	59
H. Ringkasan Bagian 3	71

BAGIAN 4 PROSES EKSTRUSI (EXTRUSION).....	73
A. Prinsip Dasar Ekstrusi	73
B. Jenis-Jenis Ekstrusi.....	74
C. Ekstrusi Langsung dan Tidak Langsung (Direct and Indirect Extrusion)	74
D. Ekstrusi Dingin, Hangat, dan Panas	78
E. Pemrosesan Kontinu Versus Pemrosesan Diskrit.....	83
F. Analisis Ekstrusi	83
G. Cacat Pada Ekstrusi.....	87
H. Pengaruh Parameter Proses Ekstrusi	92
I. Ringkasan Bagian 4	103
BAGIAN 5 KESELAMATAN DAN LINGKUNGAN	
DALAM PROSES PEMBENTUKAN	105
A. Risiko Kerja Pada Proses Pembentukan	105
B. Standar Keselamatan.....	106
C. Ergonomi Dalam Pembentukan.....	107
D. Limbah dan Dampak Lingkungan.....	108
E. Produksi Berkelanjutan	108
F. Ringkasan Bagian 5	109
DAFTAR PUSTAKA.....	111
INTISARI	123
PROFIL PENULIS.....	125

BAGIAN 1

PENDAHULUAN

A. PENGERTIAN TEKNOLOGI PEMBENTUKAN

Teknik pembentukan merupakan cabang ilmu dan teknologi manufaktur yang mempelajari proses pembentukan material, khususnya logam, melalui deformasi plastis tanpa pengurangan massa yang signifikan (1). Proses ini menggunakan gaya mekanik untuk mengubah bentuk benda kerja sesuai cetakan atau alat pembentuk. Berbeda dengan pemesian yang menghilangkan material, pembentukan mempertahankan volume sehingga lebih efisien dalam penggunaan bahan serta dapat meningkatkan sifat mekanik melalui penyempurnaan struktur butir dan pengerasan regangan (2). Teknologi pembentukan mencakup berbagai proses pembentukan logam seperti penempaan (*forging*), pengerolan (*rolling*), dan ekstrusi (*extrusion*) (3). Proses-proses tersebut digunakan secara luas dalam industri untuk menghasilkan komponen struktural, bagian mesin, dan produk rekayasa lainnya.

B. SEJARAH PERKEMBANGAN PROSES PEMBENTUKAN

Proses pembentukan merupakan salah satu teknologi manufaktur tertua dalam sejarah peradaban manusia. Sejak zaman prasejarah, khususnya pada era tembaga dan perunggu, manusia telah membentuk logam lunak seperti emas dan tembaga melalui penempaan manual menggunakan alat sederhana (4). Teknik ini dimanfaatkan untuk menghasilkan perhiasan, senjata, serta berbagai peralatan rumah tangga.

BAGIAN 2

PROSES TEMPA (*FORGING*)

A. PENGERTIAN DAN PRINSIP DASAR TEMPA

Penempaan merupakan proses deformasi plastis di mana benda kerja dibentuk melalui gaya tekan di antara dua cetakan, baik dengan mekanisme benturan berulang maupun tekanan bertahap (28). Proses ini bertujuan untuk menghasilkan bentuk tertentu dengan memanfaatkan aliran material di bawah pengaruh gaya kompresi yang tinggi. Dalam praktiknya, penempaan dapat dilakukan pada kondisi panas, hangat, atau dingin, tergantung pada sifat material dan spesifikasi produk yang diinginkan (29).

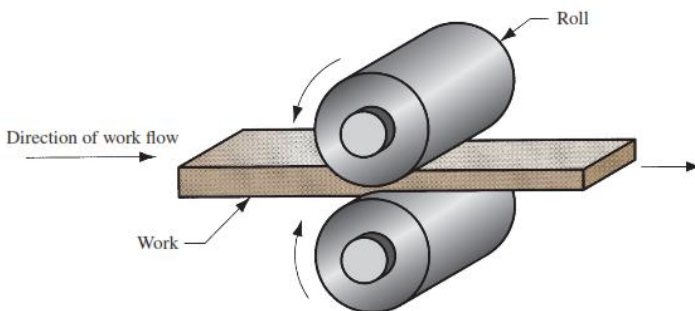
Dalam industri modern, penempaan memegang peranan penting karena mampu menghasilkan komponen dengan kekuatan dan keandalan tinggi. Proses ini digunakan dalam industri otomotif dan kedirgantaraan untuk memproduksi poros engkol, batang penghubung, roda gigi, komponen struktural pesawat, serta bagian turbin mesin jet. Selain itu, industri baja dan logam dasar lainnya memanfaatkan penempaan untuk membentuk geometri dasar komponen berukuran besar, yang selanjutnya diproses melalui pemesinan guna mencapai dimensi akhir dan tingkat presisi yang ditetapkan.

BAGIAN 3

PROSES Pengerolan (*ROLLING*)

A. PRINSIP DASAR *ROLLING*

Rolling merupakan proses deformasi plastis di mana ketebalan benda kerja direduksi melalui gaya tekan yang dihasilkan oleh dua rol berputar berlawanan arah (42). Rotasi rol, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1, berfungsi untuk menarik sekaligus menekan material di antara keduanya. Proses dasar yang diperlihatkan adalah pengerolan datar (*flat rolling*), yang digunakan untuk mengurangi ketebalan penampang persegi panjang. Variasi proses yang terkait adalah pengerolan bentuk (*shape rolling*), yaitu pembentukan penampang persegi menjadi profil struktural seperti balok I.



Gambar 3.1. Proses *rolling* (khususnya, *flat rolling*) (4).

Proses *rolling* bersifat padat modal dan memerlukan fasilitas berskala besar (*rolling mill*), sehingga ekonomis untuk produksi massal produk standar seperti pelat dan lembaran. Umumnya

BAGIAN 4

PROSES EKSTRUSI (*EXTRUSION*)

A. PRINSIP DASAR EKSTRUSI

Ekstrusi (*extrusion*) merupakan proses pembentukan logam berbasis deformasi tekan (*compressive forming process*) di mana material benda kerja dipaksa mengalir melalui suatu bukaan cetakan (*die opening*) sehingga menghasilkan produk dengan bentuk penampang yang sama dengan geometri cetakan tersebut. Secara konseptual, proses ini dapat dianalogikan dengan menekan pasta gigi keluar dari tabung. Proses ekstrusi telah dikenal sejak sekitar tahun 1800 (96).

Dalam perkembangannya, proses ekstrusi modern memiliki beberapa keunggulan utama, antara lain (97):

- Mampu menghasilkan berbagai bentuk penampang yang kompleks, khususnya pada proses ekstrusi panas (*hot extrusion*).
- Meningkatkan struktur butir dan sifat kekuatan material pada proses ekstrusi dingin dan hangat (*cold dan warm extrusion*).
- Mampu menghasilkan toleransi dimensi yang relatif presisi, terutama pada ekstrusi dingin.
- Pada beberapa operasi ekstrusi, limbah material sangat kecil atau bahkan hampir tidak ada.

BAGIAN 5

KESELAMATAN DAN LINGKUNGAN DALAM PROSES PEMBENTUKAN

A. RISIKO KERJA PADA PROSES PEMBENTUKAN

Proses pembentukan logam melibatkan interaksi kompleks antara manusia, mesin, material, dan energi dalam skala besar. Aktivitas ini secara inheren mengandung berbagai potensi bahaya yang dapat mengancam keselamatan dan kesehatan pekerja. Risiko kerja dalam proses pembentukan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu bahaya mekanis, termal, fisik, kimia, dan ergonomic (119).

Bahaya mekanis merupakan risiko yang paling dominan, terutama pada penggunaan mesin seperti *press machine*, *rolling mill*, dan mesin ekstrusi. Pekerja berisiko mengalami cedera akibat terjepit, tertarik, atau tertimpa oleh komponen mesin yang bergerak. Selain itu, benda kerja yang mengalami deformasi dapat terpental atau pecah, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan (120).

Bahaya termal umumnya terjadi pada proses pembentukan panas (*hot forming*), di mana logam diproses pada suhu tinggi. Paparan terhadap material panas dapat menyebabkan luka bakar serius, baik melalui kontak langsung maupun radiasi panas. Lingkungan kerja dengan suhu tinggi juga dapat menyebabkan kelelahan termal (*heat stress*) yang berdampak pada kinerja dan kesehatan pekerja (121).

DAFTAR PUSTAKA

1. Tekkaya AE. Metal Forming. In: Springer Handbook Of Mechanical Engineering. Springer; 2021. Or. 357–408.
2. Wang ZC, Prangnell PB. Microstructure Refinement And Mechanical Properties Of Severely Deformed Al–Mg–Li Alloys. Mater Sci Eng A. 2002(E)Ko ;328(1–2):87–97.
3. Zhang SH, Wang ZR, Wang ZT, Xu Y, Chen KB. Some New Features In The Development Of Metal Forming Technology. J Mater Process Technol. 2004(E)Ko ;151(1–3):39–47.
4. Groover M. Fundamentals Of Modern Manufacturing Materials, Processes And Systems. John Wiley Sons. 2010(E)Ko ;493.
5. Zhang C, Yang J. A History Of Mechanical Engineering. Springer; 2020.
6. Mair G. Manufacturing History. In: Mastering Manufacturing. Springer; 1993. Or. 14–30.
7. Gopal PM, Kavimani V, Sudhagar S. Evolution And Recent Advancements Of Composite Materials In Industrial Applications. In: Applications Of Composite Materials In Engineering. Elsevier; 2025. Or. 317–34.
8. Osakada K. History Of Plasticity And Metal Forming Analysis. J Mater Process Technol. 2010(E)Ko ;210(11):1436–54.
9. Oh SI, Wu WT, Tang JP, Vedhanayagam A. Capabilities And Applications Of FEM Code DEFORM: The Perspective Of The Developer. J Mater Process Technol. 1991(E)Ko ;27(1–3):25–42.
10. Youssef HA, El-Hofy HA, Ahmed MH. Manufacturing Technology: Materials, Processes, And Equipment. Crc Press; 2023.
11. Zhang HC, Huq ME. Tolerancing Techniques: The State-Of-The-Art. Int J Prod Res. 1992(E)Ko ;30(9):2111–35.
12. Kalpakjian S. Manufacturing Processes For Engineering Materials. Pearson Education India; 1985.

13. <https://www.alekvs.com/metal-forming-processes-forging-rolling-drawing-and-extrusion/>. No Title.
14. <https://www.blog.imajin.id/post/proses-pembuatan-pengolahan-lembaran-logam-sheet-metal-working>. No Title.
15. Ullah S, Li Y, Li X, Xu P, Li D. A Review On The Deformation Mechanism And Formability Enhancement Strategies In Incremental Sheet Forming. Arch Civ Mech Eng. 2022(E)Ko ;23(1):55.
16. Ingarao G, Di Lorenzo R, Micari F. Sustainability Issues In Sheet Metal Forming Processes: An Overview. J Clean Prod. 2011(E)Ko ;19(4):337–47.
17. Zhu YT, Langdon TG. The Fundamentals Of Nanostructured Materials Processed By Severe Plastic Deformation. Jom. 2004(E)Ko ;56(10):58–63.
18. Hu P, Ma N, Liu L Zhong, Zhu Y Guo. Theories, Methods And Numerical Technology Of Sheet Metal Cold And Hot Forming: Analysis, Simulation And Engineering Applications. Springer Science & Business Media; 2012.
19. Ferguson BL. Design For Deformation Processes. In: Materials Selection And Design. ASM International; 1997. Or. 730–44.
20. Yuan S. Modern Hydroforming Technology. Springer; 2023.
21. Emmens WC, Sebastiani G, Van Den Boogaard AH. The Technology Of Incremental Sheet Forming—A Brief Review Of The History. J Mater Process Technol. 2010(E)Ko ;210(8):981–97.
22. Sharma SK, Kodli BK, Saxena KK. Micro Forming And Its Applications: An Overview. Key Eng Mater. 2022(E)Ko ;924:73–91.
23. <https://kdmfab.com/id/hydroforming-process/>. No Title.
24. Kumar A, Mishra G, Gulati V, Srivastava A, Kumar P, Kumar V, Et Al. A Comprehensive Review On Heat-Assisted Incremental Sheet Forming. Int J Interact Des Manuf. 2023(E)Ko ;18:1–19.

25. Trzepieciński T, Dell'isola F, Lemu HG. Multiphysics Modeling And Numerical Simulation In Computer-Aided Manufacturing Processes. Metals (Basel). 2021(E)Ko ;11(1):175.
26. Sivarajan S, Padmanabhan R. Green Machining And Forming By The Use Of Surface Coated Tools. Procedia Eng. 2014(E)Ko ;97:15–21.
27. <https://Zulfikar.Blog.Uma.Ac.Id/2025/03/15/Sejarah-Perkembangan-Metode-Elemen-Hingga/>. No Title.
28. Saktiawan A. Analisis Pengaruh Proses Penempaan Pada Bahan Logam Terhadap Kekuatan Impak. Universitas Medan Area; 2023.
29. Adprianto F. Pengaruh Variasi Pukulan Pada Proses Forging Hot Working Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. Universitas Islam Riau; 2022.
30. Bhaduri A. Forging. In: Mechanical Properties And Working Of Metals And Alloys. Springer; 2018. Or. 465–519.
31. Wang J, Langlois L, Rafiq M, Bigot R, Lu H. Study Of The Hot Forging Of Weld Cladded Work Pieces Using Upsetting Tests. J Mater Process Technol. 2014(E)Ko ;214(2):365–79.
32. Xilu C. Open Die Forging. In: The ECPH Encyclopedia Of Mining And Metallurgy. Springer; 2026. Or. 1473–6.
33. Markov OE, Perig A V, Zlygoriev VN, Markova MA, Kosilov MS. Development Of Forging Processes Using Intermediate Workpiece Profiling Before Drawing: Research Into Strained State. J Brazilian Soc Mech Sci Eng. 2017(E)Ko ;39(11):4649–65.
34. Kocks UF. A Statistical Theory Of Flow Stress And Work-Hardening. Philos Mag. 1966(E)Ko ;13(123):541–66.
35. Royslance D. Yield And Plastic Flow. Masschusetts Inst Technol. 2001(E)Ko ;
36. Altan T. Forging. In: Design Of Tools For Deformation Processes. Springer; 1986. Or. 157–97.

37. Wang Q, Shao B, Wang S, Zhou X, Li J, Guo X, Et Al. A Novel Combined Forming Technology By Multi-Directional Die Forging And Split-Flow Load-Reduction: Significantly Reducing The Forming Load Of Large-Size Deep-Cavity Components. *J Mater Process Technol.* 2025(E)Ko ;119110.
38. Semiatin SL. Workability In Forging. In: *Metalworking: Bulk Forming.* ASM International; 2005.
39. Groover MP. *Introduction To Manufacturing Processes.* Wiley Global Education; 2016.
40. Davim JP. *Materials Forming, Machining And Tribology.* Springer, Heidelb. 2013(E)Ko ;10:973–8.
41. Groover MP. *Fundamentals Of Modern Manufacturing Materials.* 2019(E)Ko ;
42. Akhyar I, ST MP. *BUKU AJAR PROSES Pengerjaan Logam.* Samudra Biru; 2022.
43. Darmawan A. *Proses Pengecoran Logam Pembuatan Ornament Hiasan Pagar.* Universitas Medan Area; 2024.
44. Tools A. *Open-Die Forging.* 2005(E)Ko ;
45. Bhoyar V, Umredkar S. *Manufacturing Processes Part II: A Brief Review On Forging.* *Int J Innov Eng Sci.* 2020(E)Ko ;5(1):26–32.
46. Connolly D, Sivaswamy G, Rahimi S, Vorontsov V. Miniaturised Experimental Simulation Of Open-Die Forging. *J Mater Res Technol.* 2023(E)Ko ;26:3146–61.
47. Shirgaokar M. *Process Design In Impression-Die Forging.* In: *Cold And Hot Forging: Fundamentals And Applications.* ASM International; 2005. Or. 159–83.
48. Thomas A, Bannister I. *The Accuracy Of Forging Load Estimation In Drop Forging.* In: *Proceedings Of The Seventeenth International Machine Tool Design And Research Conference: Held In Birmingham 20th–24th September, 1976.* Springer; 1977. Or. 343–53.

49. Gronostajski Z, Hawryluk M. The Main Aspects Of Precision Forging. Arch Civ Mech Eng. 2008(E)Ko ;8(2):39–55.
50. Dean TA. Precision Forging. Proc Inst Mech Eng Part C J Mech Eng Sci. 2000(E)Ko ;214(1):113–26.
51. Vazquez V, Altan T. Die Design For Flashless Forging Of Complex Parts. J Mater Process Technol. 2000(E)Ko ;98(1):81–9.
52. Handbook FI. Forging Industry Association. Am Soc Met (ASM), Met Park Cleveland, Ohio. 1985(E)Ko ;90.
53. Milutinović M, Vilotić D. Precision Forging–Tool Concepts And Process Design. Adv Technol Mater. 2008(E)Ko ;33(1–2):73–89.
54. Altan T, Shirgaokar M. Hammers And Presses For Forging. 2005(E)Ko ;
55. Saberi S, Fischer J, Stockinger M, Tikal R, Afsharnia R. Theoretical And Experimental Investigations Of Mechanical Vibrations Of Hot Hammer Forging. Int J Adv Manuf Technol. 2021(E)Ko ;114(9):3037–45.
56. Ridwana IR, Sadewa BA, Sari RAP, Arridwan Z, Hastuti S. TINJAUAN LITERATUR: PENYEMPURNAAN PROSES PENEMPAAN LOGAM DENGAN ANALISIS TEGANGAN DAN TEMPERATUR. J Ilm Nusantara. 2026(E)Ko ;3(1):344–54.
57. Rathi MG, Jakhade NA. An Overview Of Forging Processes With Their Defects. Int J Sci Res Publ. 2014(E)Ko ;4(6):1–7.
58. Deng L, Wang X, Jin J, Xia J. Precision Forging Technology For Aluminum Alloy. Front Mech Eng. 2018(E)Ko ;13(1):25–36.
59. Biba N, Vlasov A, Krivenko D, Duzhev A, Stebunov S. Closed Die Forging Preform Shape Design Using Isothermal Surfaces Method. Procedia Manuf. 2020(E)Ko ;47:268–73.
60. Madhankumar S, Narayanan KRH, Harini V, Gokulraj K V, Selvakumar S, Dharshini R, Et Al. Study And Selection Of Hot Forging Die Materials And Hardness. Mater Today Proc. 2021(E)Ko ;45:6563–6.

61. Dindorf R, Wos P. Energy-Saving Hot Open Die Forging Process Of Heavy Steel Forgings On An Industrial Hydraulic Forging Press. *Energies*. 2020(E)Ko ;13(7):1620.
62. Silveira AC De F, Bevilaqua WL, Dias VW, De Castro PJ, Epp J, Rocha A Da S. Influence Of Hot Forging Parameters On A Low Carbon Continuous Cooling Bainitic Steel Microstructure. *Metals (Basel)*. 2020(E)Ko ;10(5):601.
63. Huang X, Zang Y, Guan B, Ji H. Optimization Of The Die Forging Parameters Of 21-4N Heat-Resistant Steel By Processing Maps. *Trans Indian Inst Met*. 2021(E)Ko ;74(11):2713–28.
64. 施为钟, 龚红英, 王斌, 孙后青, 赵小云, 周志伟, Et Al. Multi-Objective Optimization Of Forming Quality Of Automobile C-Pillar Parts Based On Response Surface Method And NSGA-II. *J Plast Eng*. 2021(E)Ko ;28(8):30–7.
65. Srivastava S, Garg RK. Process Parameter Optimization Of Gas Metal Arc Welding On IS: 2062 Mild Steel Using Response Surface Methodology. *J Manuf Process*. 2017(E)Ko ;25:296–305.
66. Peng A, Xiao X, Yue R. Process Parameter Optimization For Fused Deposition Modeling Using Response Surface Methodology Combined With Fuzzy Inference System. *Int J Adv Manuf Technol*. 2014(E)Ko ;73(1):87–100.
67. Li J, Wang A, Lu J, Kang N, Huang J, Wang B, Et Al. Optimization Of Precision Die Forging Process Parameters Of Hub Bearing Ring Based On Response Surface Method. *J Mater Eng Perform [Internet]*. 2025(E)Ko ;34(18):20570–85. Available At: <https://doi.org/10.1007/S11665-025-11161-1>
68. Gusti MHC, Permata E, Dwiprasetyo OH. SISTEM KERJA HOT METAL DETECTOR PADA ROLL TABLE INTERFACE PEMBUATAN BAJA PROFIL PT. KRAKATAU BAJA KONSTRUKSI. *Teknika*. 2025(E)Ko ;10(2):11–7.
69. Habibie FM, Simamora GRR, Prayitno SA. Characteristics Of Food Raw Materials Made From Rubber Seeds Based On

Variations In Soaking And Heating Times For Tempeh Production: Karakteristik Bahan Baku Pangan Berbahan Biji Karet Berdasarkan Variasi Lama Perendaman Dan Pemanasan Untuk Pembuatan Tempe. *J Trop Food Agroindustrial Technol.* 2025(E)Ko ;6(02):47–54.

70. Wusatowski Z. *Fundamentals Of Rolling.* Elsevier; 2013.
71. Ginzburg VB, Ballas R. *Flat Rolling Fundamentals.* CRC Press; 2000.
72. Kalpakjian S, Schmid SR. *Manufacturing Processes For Engineering Materials–5th Edition.* Agenda. 2014(E)Ko ;12:1.
73. Committee ASMIH. *Properties And Selection--Irons, Steels, And High-Performance Alloys.* Libk. 1. ASM International; 1990.
74. Mielnik EM. *Metalworking Science And Engineering.* McGraw-Hill. New York; 1991.
75. Groover MP. *Fundamentals Of Modern Manufacturing: Materials, Processes, And Systems.* John Wiley & Sons; 2010.
76. Lapovok R, Thomson PF. An Approach To The Optimal Design Of Rolling Passes. *Int J Mach Tools Manuf.* 1997(E)Ko ;37(8):1143–54.
77. SAITO Y, MORIGA M, KATO K. Calculation Of Spread And Elongation Of Bars In Rolling Pass Sequences, Square-Oval, Square-Diamond And Round-Oval. *Tetsu-To-Hagane.* 1977(E)Ko ;63(12):1819–27.
78. Smirnov EN, Smirnov AN, Sklyar VA, Marchuk M V, Orlov GA, Belevitin VA, Et Al. Investigation Of Contact Conditions In Box Pass At Sectional Rolling Of CCB Possessing Rhomboidity Defect. *Steel Transl.* 2021(E)Ko ;51(11):814–21.
79. Zhang S, Zhang D, JIANG F, LEE MG. Characteristics Of Surface And Subsurface Of Formed Thread Parts By Axial-Infeed Thread Rolling Process. *Chinese J Aeronaut.* 2023(E)Ko ;36(3):471–81.

80. Allwood JM, Tekkaya AE, Stanistreet TF. The Development Of Ring Rolling Technology. *Steel Res Int.* 2005(E)Ko ;76(2–3):111–20.
81. Neugebauer R, Hellfritzs U, Lahl M, Milbrandt M, Schiller S, Druwe T. Gear Rolling Process. In: *Process Machine Interactions: Prediction And Manipulation Of Interactions Between Manufacturing Processes And Machine Tool Structures.* Springer; 2013. Or. 475–90.
82. Erman E. The Influence Of The Processing Parameters On The Performance Of The Two-Roll Piercing Operation. *J Mech Work Technol.* 1987(E)Ko ;15(2):167–79.
83. Harris JN. *Mechanical Working Of Metals: Theory And Practice.* Libk. 36. Elsevier; 2014.
84. Ginzburg VB. *High-Quality Steel Rolling: Theory And Practice.* CRC Press; 1993.
85. Ikumapayi OM, Akinlabi ET, Onu P, Abolusoro OP. Rolling Operation In Metal Forming: Process And Principles–A Brief Study. *Mater Today Proc.* 2020(E)Ko ;26:1644–9.
86. Jain V, Patra S, Halder C, Hasan SM, Ghosh A. Study On The Formation Of Alligator Crack And Edge Crack In High Silicon Grain Oriented Electrical Steel During Cold Rolling. *J Appl Phys.* 2022(E)Ko ;132(10).
87. Gourdet S, Montheillet F. An Experimental Study Of The Recrystallization Mechanism During Hot Deformation Of Aluminium. *Mater Sci Eng A.* 2000(E)Ko ;283(1–2):274–88.
88. Jazaeri H, Humphreys FJ. The Transition From Discontinuous To Continuous Recrystallization In Some Aluminium Alloys: I–The Deformed State. *Acta Mater.* 2004(E)Ko ;52(11):3239–50.
89. Valiev RZ, Langdon TG. Principles Of Equal-Channel Angular Pressing As A Processing Tool For Grain Refinement. *Prog Mater Sci.* 2006(E)Ko ;51(7):881–981.

90. Sakai T, Miura H, Yang X. Ultrafine Grain Formation In Face Centered Cubic Metals During Severe Plastic Deformation. *Mater Sci Eng A*. 2009(E)Ko ;499(1–2):2–6.
91. Johnson W, Needham G. Further Experiments In Asymmetrical Rolling. *Int J Mech Sci*. 1966(E)Ko ;8(6):443–55.
92. Sachs G, Klingler LJ. The Flow Of Metals Through Tools Of Circular Contour. 1947(E)Ko ;
93. Jiang J, Ding Y, Zuo F, Shan A. Mechanical Properties And Microstructures Of Ultrafine-Grained Pure Aluminum By Asymmetric Rolling. *Scr Mater*. 2009(E)Ko ;60(10):905–8.
94. Hallberg H, Wallin M, Ristinmaa M. Modeling Of Continuous Dynamic Recrystallization In Commercial-Purity Aluminum. *Mater Sci Eng A*. 2010(E)Ko ;527(4–5):1126–34.
95. Hallberg H. Influence Of Process Parameters On Grain Refinement In AA1050 Aluminum During Cold Rolling. *Int J Mech Sci*. 2013(E)Ko ;66:260–72.
96. Bauser M, Sauer G, Siegert K, Castle AF. Extrusion. ASM International; 2006.
97. Muthukumarappan K, Karunanithy C. Extrusion Process Design. *Handb Food Process Des*. 2012(E)Ko ;710–42.
98. Qamar SZ, Chekotu JC, Al-Maharbi M, Alam K. Shape Complexity In Metal Extrusion: Definitions, Classification, And Applications. *Arab J Sci Eng*. 2019(E)Ko ;44(9):7371–84.
99. Kraft FF, Gunasekera JS. Conventional Hot Extrusion. 2005(E)Ko ;
100. Dieter GE. Sheet Metal Forming. *Mech Metall* 3rd Ed UK Mcgraw-Hill. 1988(E)Ko ;651–78.
101. Huda Z. Metal Extrusion. In: *Metal Forming Processes: Fundamentals, Analysis, Calculations*. Springer; 2024. Or. 121–41.
102. Hawkins DN. Warm Working Of Steels. *J Mech Work Technol*. 1985(E)Ko ;11(1):5–21.

103. Shen L, Bellus M. Numerical Simulation Of Multistep Warm Extrusion Forming For The Outer Race Of Universal Joint. J Eng Sci Technol Rev. 2018(E)Ko ;11(6).
104. Schey JA. Introduction To Manufacturing Processes. Libk. 2. McGraw-Hill New York; 1987.
105. Johnson W. The Pressure For The Cold Extrusion Of Lubricated Rod Through Square Dies Of Moderate Reduction At Slow Speeds. J Inst Met. 1957(E)Ko ;85(9):403–8.
106. Zimmerman Z, Darlington H, Kottcamp Jr EH. Selection Of Operating Parameters To Prevent Central Bursting Defects During Cold Extrusion. In: Metal Forming: Interrelation Between Theory And Practice: Proceedings Of A Symposium On The Relation Between Theory And Practice Of Metal Forming, Held In Cleveland, Ohio, In October, 1970. Springer; 1971. Or. 47–62.
107. Avitzur B. Analysis Of Central Bursting Defects In Extrusion And Wire Drawing. 1968(E)Ko ;
108. Mcallen PJ, Phelan P. Numerical Analysis Of Axisymmetric Wire Drawing By Means Of A Coupled Damage Model. J Mater Process Technol. 2007(E)Ko ;183(2–3):210–8.
109. Arif AFM, Sheikh AK, Qamar SZ, Raza MK, Al-Fuhaid KM. Product Defects In Aluminum Extrusion And Its Impact On Operational Cost. In: Proceedings Of The 6th Saudi Engineering Conference, Dhahran, Saudi Arabia. 2002. Or. 14–7.
110. Hsiang Loh G, Pei E, Gonzalez-Gutierrez J, Monzón M. An Overview Of Material Extrusion Troubleshooting. Appl Sci. 2020(E)Ko ;10(14):4776.
111. Chekotu JC. Analysis Of Product And Tooling Defects In Extrusion. Sultan Qaboos University (Oman); 2017.
112. Rosato D V, Rosato D V. Extrusion. In: Plastics Processing Data Handbook. Springer; 1990. Or. 91–169.
113. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties And Working Of Metals And Alloys. Springer; 2018. Or. 599–646.

114. Qamar SZ, Pervez T, Chekotu JC. Die Defects And Die Corrections In Metal Extrusion. Metals (Basel). 2018(E)Ko ;8(6):380.
115. <https://Get-It-Made.Co.Uk/Guides/Aluminium-Extrusion-Guide>. No Title [Internet]. Available At: <https://Get-It-Made.Co.Uk/Guides/Aluminium-Extrusion-Guide>
116. Chandrasekaran M, John YMS. Effect Of Materials And Temperature On The Forward Extrusion Of Magnesium Alloys. Mater Sci Eng A [Internet]. 2004(E)Ko ;381(1):308–19. Available At:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509304004824>
117. Onuh SO, Ekoja M, Adeyemi MB. Effects Of Die Geometry And Extrusion Speed On The Cold Extrusion Of Aluminium And Lead Alloys. J Mater Process Technol [Internet]. 2003(E)Ko ;132(1):274–85. Available At:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360200941X>
118. Flitta I, Sheppard T. Effect Of Pressure And Temperature Variations On FEM Prediction Of Deformation During Extrusion. Mater Sci Technol. 2005(E)Ko ;21(3):339–46.
119. Kusmendar I, St MT. Pengendalian Risiko. Keselam DAN Kesehat KERJA Teor DAN PENERAPANNYA. 2026(E)Ko ;31.
120. Yusba ASA, Siboro I, Liku JEA. ANALISIS KESELAMATAN KERJA PEKERJAAN MESIN BUBUT PADA PT. DUMA NUSATAMA DI BALIKPAPAN. IDENTIFIKASI. 2025(E)Ko ;11(3):712–8.
121. Desta Bulan C. Hubungan Antara Paparan Panas Dengan Safety Awareness Pada Pekerja Di PT Mahligai Indococo Fiber Lampung Selatan. 2025(E)Ko ;
122. Ice Irawati SKM. BUKU AJAR KEBISINGAN DAN GETARAN KERJA. Penerbit Yapista; 2026.

123. Paramean FS. PENGARUH PAPARAN KEBISINGAN, USIA, DAN MASA KERJA DI TEMPAT KERJA TERHADAP AMBANG BATAS PENDENGARAN PEKERJA PEMBUATAN TIANG LISTRIK BETON (Studi Kasus: PT. XYZ Gowa)= The Effect Of Noise Exposure, Age, And Period Of Work In The Workplace On The Hearing Threshold Of Concrete Electric Pole Workers. Universitas Hasanuddin; 2023.
124. Parinduri F, Parinduri SH, Nasution AJ. Analisis Zat Kimia Berbahaya Dan Kepunahan Biota Dalam Fisika Lingkungan. Gravity J. 2024(E)Ko ;3(2):41–55.
125. Arsi F. BUKU ERGONOMI INDUSTRI. Penerbit Widina; 2025.
126. Basuki R, Musyahidah M, Risnawati A, Sumiati B. Kesehatan Lingkungan Dan Kesehatan Kerja: Paparan, Risiko, Dan Strategi Mitigasi. PT Mafy Media Literasi Indonesia; 2025.
127. Affandi S. PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI. Katalog Buku Karya Dosen ITATS. 2020(E)Ko ;31–62.
128. Mukimin A. Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam Dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro; 2006.
129. Rusianto T. Ekologi Industri.
130. Ciptadi G, Anggayasti WL, Susanto S, Rachmawati C, Makikui JJ, Ubit RI. Manajemen Lingkungan Dan Keberlanjutan Pembangunan. Universitas Brawijaya Press; 2023.

INTISARI

Pembentukan logam merupakan salah satu proses manufaktur yang memanfaatkan deformasi plastis untuk mengubah bentuk dan dimensi material tanpa menghilangkan massa secara signifikan. Tiga metode utama yang banyak digunakan dalam industri adalah forging (penempaan), rolling (pengerolan), dan extrusion (ekstrusi). Meskipun memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu memberikan gaya tekan pada material, masing-masing proses memiliki karakteristik, keunggulan, dan aplikasi yang berbeda. Keberhasilan ketiga proses tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti temperatur, laju deformasi, gesekan, tingkat reduksi, geometri perkakas, serta sifat material. Pengendalian parameter yang tepat akan menghasilkan produk dengan kualitas dimensi, struktur mikro, dan sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Perkembangan teknologi manufaktur telah mendorong peningkatan kinerja proses pembentukan logam melalui penggunaan simulasi numerik, teknologi dies yang lebih canggih, sistem kendali proses, dan integrasi dengan konsep smart manufacturing. Berbagai inovasi tersebut memungkinkan optimasi aliran material, pengurangan kebutuhan energi, peningkatan kualitas produk, serta efisiensi penggunaan bahan baku. Selain itu, pemahaman terhadap hubungan antara parameter proses dan perilaku material selama deformasi menjadi dasar penting dalam perancangan proses yang efektif, ekonomis, dan mampu menghasilkan produk dengan performa yang tinggi.

Di samping aspek teknis, keselamatan kerja dan perlindungan lingkungan merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam setiap proses pembentukan logam. Penggunaan mesin berkapasitas besar, temperatur tinggi, dan tekanan yang signifikan menuntut penerapan prosedur keselamatan yang ketat serta penggunaan alat pelindung diri yang sesuai. Sementara itu, pengelolaan limbah, pengendalian emisi, pengurangan konsumsi energi, dan penggunaan pelumas yang lebih ramah lingkungan menjadi bagian penting dalam penerapan manufaktur berkelanjutan. Dengan demikian, keberhasilan proses pembentukan logam tidak hanya

ditentukan oleh kualitas dan produktivitas yang dicapai, tetapi juga oleh kemampuan industri dalam menjamin keselamatan kerja dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

PROFIL PENULIS



Dr. Yani Kurniawan, S.T., M.T. lahir di Klaten pada 17 Februari 1989. Beliau menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Pancasila pada tahun 2012 dan meraih gelar Magister Teknik (M.T.) di bidang Teknik Mesin dari universitas yang sama pada tahun 2014. Selanjutnya, beliau memperoleh gelar Doktor dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2021. Sejak tahun 2014, beliau berkiprah sebagai dosen di Universitas Pancasila. Selama menjalankan karier akademiknya, beliau aktif melakukan penelitian dan telah mempresentasikan hasil penelitiannya dalam berbagai seminar dan konferensi ilmiah, baik di tingkat nasional maupun internasional. Selain itu, beliau juga telah menerbitkan berbagai artikel ilmiah pada jurnal nasional dan internasional yang berfokus pada bidang proses manufaktur, pemesinan mikro (*micromachining*), perancangan produk, serta teknologi manufaktur.



Pembentukan logam merupakan salah satu proses manufaktur yang memanfaatkan deformasi plastis untuk mengubah bentuk dan dimensi material tanpa menghilangkan massa secara signifikan. Tiga metode utama yang banyak digunakan dalam industri adalah forging (penempaan), rolling (pengerolan), dan extrusion (ekstrusi). Meskipun memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu memberikan gaya tekan pada material, masing-masing proses memiliki karakteristik, keunggulan, dan aplikasi yang berbeda. Keberhasilan ketiga proses tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti temperatur, laju deformasi, gesekan, tingkat reduksi, geometri perkakas, serta sifat material. Pengendalian parameter yang tepat akan menghasilkan produk dengan kualitas dimensi, struktur mikro, dan sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Perkembangan teknologi manufaktur telah mendorong peningkatan kinerja proses pembentukan logam melalui penggunaan simulasi numerik, teknologi dies yang lebih canggih, sistem kendali proses, dan integrasi dengan konsep smart manufacturing. Berbagai inovasi tersebut memungkinkan optimasi aliran material, pengurangan kebutuhan energi, peningkatan kualitas produk, serta efisiensi penggunaan bahan baku. Selain itu, pemahaman terhadap hubungan antara parameter proses dan perilaku material selama deformasi menjadi dasar penting dalam perancangan proses yang efektif, ekonomis, dan mampu menghasilkan produk dengan performa yang tinggi.

Di samping aspek teknis, keselamatan kerja dan perlindungan lingkungan merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam setiap proses pembentukan logam. Penggunaan mesin berkapasitas besar, temperatur tinggi, dan tekanan yang signifikan menuntut penerapan prosedur keselamatan yang ketat serta penggunaan alat pelindung diri yang sesuai. Sementara itu, pengelolaan limbah, pengendalian emisi, pengurangan konsumsi energi, dan penggunaan pelumas yang lebih ramah lingkungan menjadi bagian penting dalam penerapan manufaktur berkelanjutan. Dengan demikian, keberhasilan proses pembentukan logam tidak hanya ditentukan oleh kualitas dan produktivitas yang dicapai, tetapi juga oleh kemampuan industri dalam menjamin keselamatan kerja dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

