Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)
Vol. 6, No. 5, November 2026, Hal. 3929-3940
https://jurnal-id.com/index.php/jupin

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

Evaluasi Deskriptif Hasil Pengujian Mesin Pelurus Puncher Bar Menggunakan Sistem Mekanis Aktuator Electrik

Mukhlis A. Hamarung[1], Abd. Wahab[2], Didit Yantony[3], Simon Parekke[4]

[1] Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik, Politeknik Sorowako, Indonesia
[2,3,4] Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Politeknik Sorowako, Indonesia
Email: mukhlis@politekniksorowako.ac.id; abdul.wahab@politekniksorowako.ac.id; didit.yantony@politekniksorowako.ac.id; simon@politekniksorowako.ac.id

Abstrak

Puncher bar yang digunakan untuk membersihkan sumbatan nikel matte pada lubang tuyere converter dapat mengalami kebengkokan sehingga memerlukan pelurusan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi implementasi aktuator elektrik pada mesin pelurus puncher bar serta mendeskripsikan hasil pelurusan berdasarkan kebengkokan akhir dan waktu proses. Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan mesin dan pengujian fungsional secara deskriptif di Unit Produksi Politeknik Sorowako. Modifikasi meliputi penggantian mekanisme penekan ulir manual dengan aktuator elektrik linier berkapasitas nominal 6.000 N serta penambahan satu pasang roller pengarah. Pengujian dilakukan terhadap tiga puncher bar ASTM A108 berdiameter 25,4 mm dengan kebengkokan awal masing-masing 3, 4, dan 6 cm. Setiap batang menjalani dua tahap penekanan berurutan pada posisi penekan 0 dan 2 mm. Kebengkokan diukur menggunakan meja perata dan mistar baja, kemudian dianalisis berdasarkan perubahan sebelum dan sesudah pelurusan serta ketercapaian target maksimum 0,5 cm. Hasil pengujian menunjukkan kebengkokan setelah tahap pertama sebesar 1,4; 1,7; dan 2,4 cm, yang kemudian berkurang menjadi 0,7; 1,1; dan 0,8 cm setelah tahap kedua. Pengurangan kebengkokan kumulatif masing-masing mencapai 76,67%; 72,50%; dan 86,67%. Total waktu proses setiap batang adalah 80, 85, dan 95 detik, dengan rata-rata 86,67 detik. Kebengkokan akhir terbaik sebesar 0,7 cm masih melampaui target sebesar 0,2 cm. Perbandingan historis belum dapat membuktikan peningkatan kinerja karena kondisi uji tidak setara. Implementasi aktuator elektrik berhasil secara fungsional, tetapi pengaruh posisi penekan belum dapat dipisahkan dari riwayat pembebanan bertahap. Pengembangan selanjutnya memerlukan evaluasi kapasitas aktuator, optimalisasi roller pengarah, pengukuran gaya dan posisi, serta pengujian berulang dengan kondisi pembandingan setara untuk memvalidasi kinerja pelurusan secara lebih menyeluruh.

Kata kunci: *puncher bar, mesin pelurus, aktuator elektrik linier, kebengkokan batang, pengujian fungsional*

Abstract

Puncher bars used to remove nickel matte blockages from converter tuyere openings can become bent and require straightening. This study evaluates the implementation of an electric actuator in a puncher bar straightening machine and describes its performance in terms of residual bending and processing time. Machine development and descriptive functional testing were conducted at the Production Unit of Politeknik Sorowako. Modifications involved replacing the manually operated screw pressing mechanism with a linear electric actuator rated at 6,000 N and adding a pair of guide rollers. Three ASTM A108 puncher bars, each 25.4 mm in diameter, were tested with initial bending deviations of 3, 4, and 6 cm, respectively. Each bar underwent two sequential pressing stages at pressing positions of 0 and 2 mm. Bending was measured using a surface plate and steel ruler, and performance was assessed against a maximum residual bending target of 0.5 cm. Residual bending after the first stage was 1.4, 1.7, and 2.4 cm, decreasing to 0.7, 1.1, and 0.8 cm after the second stage. Corresponding cumulative reductions were 76.67%, 72.50%, and 86.67%. Total processing times were 80, 85, and 95 s, averaging 86.67 s. The best residual bending of 0.7 cm exceeded the target by 0.2 cm. Historical comparisons cannot establish performance improvements because the test conditions were not equivalent. The actuator operated successfully, but pressing-position effects could not be separated from loading history. Further development requires actuator-capacity assessment, guide-roller optimization, force and position measurements, and repeated testing under comparable conditions.

Keywords: *puncher bar, straightening machine, linear electric actuator, bar bending, functional testing*.

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

1. PENDAHULUAN

Puncher bar digunakan untuk membersihkan sumbatan nikel matte pada lubang tuyere di bagian converter. Gambar 1 menunjukkan puncher bar berbentuk batang dengan diameter nominal 1 inci, panjang 70–75 inci, massa sekitar 7 kg, serta pelat bendera pada salah satu ujungnya. Selama penggunaan, batang dapat mengalami kebengkokan pada bagian ujung maupun tengah sehingga memerlukan pelurusan sebelum digunakan kembali.



Gambar 1. Puncher bar setelah digunakan dan perbaikan

Kebutuhan pelurusan dalam pekerjaan perawatan tidak cukup dinilai dari kemampuan mesin menggerakkan batang. Hasil akhirnya harus mendukung penggunaan kembali komponen dengan penyimpangan bentuk yang dapat diterima. Karena itu, evaluasi pengembangan mesin perlu menghubungkan perubahan mekanisme pengoperasian dengan ukuran hasil yang dapat diperiksa. Dalam penelitian ini, ukuran tersebut dibatasi pada kebengkokan sisa dan durasi pengerolan. Manfaat lain, seperti pengurangan kelelahan operator, penghematan biaya perawatan, atau peningkatan umur pakai batang, merupakan kemungkinan manfaat pengembangan yang belum diukur. Pemisahan ini menjaga agar keberhasilan pembuatan mesin tidak langsung disamakan dengan keberhasilan seluruh tujuan operasionalnya.

Mesin yang menjadi dasar pengembangan menggunakan penekanan sistem ulir manual. Menurut observasi dan wawancara yang dilaporkan, pemutaran tuas penekan memerlukan tenaga operator yang besar. Mesin awal memiliki satu pasang roller pengarah. Pengembangan diarahkan pada penggunaan aktuator elektrik untuk menekan puncher bar yang bengkok dan penambahan satu pasang pengarah sebagai dukungan bagi batang selama pembebanan. Dengan demikian, modifikasi pengarah merupakan penambahan terhadap komponen yang telah tersedia.

Pengembangan mesin puncher bar sebelumnya telah dilaporkan oleh Wahab dan Hamarung (2024). Untuk konteks instrumentasi, Bathelt et al. (2023) membahas integrasi pengukuran gaya dan posisi dalam mesin pelurus kawat. Lu et al. (2020) mengembangkan model langkah tekan pada poros D, sedangkan Peukert et al. (2026) mengkaji koreksi bentuk profil T. Literatur tersebut mendukung pembahasan mekanisme dan metode evaluasi, tetapi perbedaan material, geometri, dan kondisi kontak membatasi pemindahan langsung hasilnya ke mesin yang diteliti.

Sebagai penguat kajian, Zhu et al. (2022) membahas optimasi parameter roller menggunakan particle swarm optimization, sedangkan Zhang et al. (2018) mengembangkan model analitis deformasi serta springback dalam proses pelurusan batang berpenampang persegi. Perbedaan dimensi, material, dan konfigurasi antara studi-studi tersebut dan puncher bar dalam penelitian ini membatasi generalisasi hasil secara langsung.

Agniya dan Widiantoro (2022) merancang mesin pelurus baja tulangan berdiameter maksimum 12 mm yang juga dilengkapi mekanisme pembuat gulungan bore pile. Perancangan dilakukan melalui tahap perencanaan, perancangan konsep, perancangan detail, dan dokumentasi. Mesin menggunakan motor listrik 3 kW, sistem transmisi rantai dan sproket serta gearbox. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa

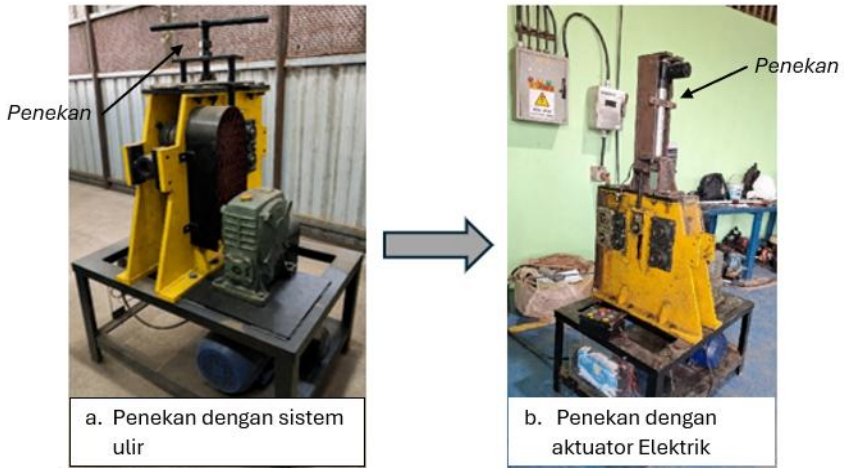
DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

desain mesin pelurus batang dapat dikembangkan dengan menyesuaikan diameter material dan kebutuhan proses. Namun, objeknya berbeda dengan puncher bar dalam penelitian ini, baik dari sisi aplikasi maupun spesifikasi diameter. Biju et al. (2016) juga membahas desain dan analisis mekanisme straightening untuk batang baja komersial. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa mekanisme pelurusan batang membutuhkan pendekatan desain yang mempertimbangkan karakteristik pembebanan dan mekanisme roller.

Landasan mekanis pelurusan berkaitan dengan pembengkokan balik dan pemulihan elastis setelah beban dilepaskan. Yin et al. (2014) menjelaskan bahwa pembengkokan berulang dalam sistem multiroller dapat mengurangi perbedaan kelengkungan awal sebelum tahap pelurusan akhir. Sementara itu, Ma et al. (2017) menempatkan strategi kendali proses sebagai bagian dari pelurusan batang dengan dua roller. Kedua kajian tersebut menunjukkan pentingnya membedakan susunan mesin dari strategi penggunaannya. Pada mesin yang dikembangkan di sini, penambahan pengarah dan penggantian penggerak penekan merupakan perubahan perangkat, sedangkan urutan dua tahap pengerolan merupakan strategi proses yang perlu dievaluasi tersendiri.

Perkembangan sistem mekatronik juga memperlihatkan bahwa gerakan elektrik hanya salah satu unsur dalam pengendalian pelurusan. Bathelt et al. (2022) mengembangkan bantuan penyetelan yang menghubungkan pengukuran kelengkungan secara optik dengan rekomendasi posisi roller. Relevansinya bagi penelitian ini adalah kebutuhan menyimpan hubungan antara kondisi awal batang, setelan mesin, dan hasil akhir secara sistematis. Pengoperasian melalui tombol belum dapat disebut pengendalian kelurusan secara tertutup apabila informasi hasil pengukuran belum digunakan untuk mengoreksi penekanan selama proses.

Kesenjangan penelitian terletak pada belum tersedianya evaluasi terukur terhadap penggantian mekanisme ulir manual menjadi penekan aktuator elektrik dan penambahan roller pengarah pada mesin pelurus puncher bar. Keberhasilan menggerakkan penekan secara elektrik belum dengan sendirinya membuktikan tercapainya kelurusan yang ditargetkan atau peningkatan produktivitas. Selain itu, perubahan konfigurasi pengarah perlu dievaluasi dengan mempertimbangkan perbedaan kondisi pengujian. Gambar 2 memperlihatkan perubahan mekanisme penekan dari ulir manual menjadi aktuator elektrik linier. Kontribusi penelitian ini adalah penyajian evaluasi fungsional awal berdasarkan reduksi kebengkokan, durasi proses, serta identifikasi keterbatasan sistem hasil modifikasi.



Gambar 2. Perubahan sistem penekan

Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan konfigurasi modifikasi mesin pelurus puncher bar, mengevaluasi hasil pengujian fungsional awal berdasarkan kebengkokan akhir dan waktu proses, serta mengidentifikasi keterbatasan desain dan kebutuhan validasi lanjutan. Penelitian tidak dimaksudkan untuk membuktikan keunggulan kausal sistem elektrik terhadap mesin manual, karena kondisi pengujian kedua konfigurasi belum ditetapkan setara.

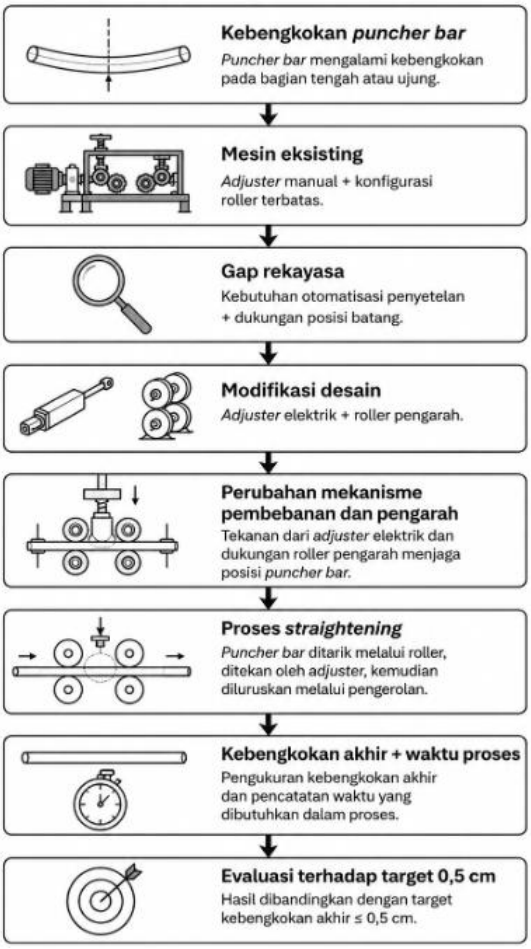
DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pendekatan, lokasi, dan sumber informasi

Penelitian menggunakan pendekatan pengembangan mesin dan pengujian fungsional awal secara deskriptif. Kegiatan berlangsung di Unit Produksi Politeknik Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Evaluasi dilakukan terhadap tiga puncher bar berbeda; hasilnya tidak digunakan untuk inferensi statistik mengenai populasi puncher bar.

Tahapan pengumpulan informasi meliputi observasi mesin awal, studi pustaka, serta wawancara untuk pengembangan mesin sebelumnya. Hasilnya digunakan untuk merumuskan kebutuhan penekanan elektrik dan tambahan pengarah. Gambar 3 menyajikan kerangka konseptual penelitian yang menghubungkan informasi dari observasi mesin awal, studi pustaka, dan wawancara dengan perumusan kebutuhan penekanan elektrik serta penambahan roller pengarah.



Gambar 3. Kerangka konseptual penelitian

2.2. Benda uji dan batas karakterisasi material

Benda uji berupa tiga puncher bar berdiameter nominal 25,4 mm yang dalam dokumentasi penelitian dinyatakan sebagai material ASTM A108. ASTM International (2024) menjelaskan ruang lingkup A108 sebagai spesifikasi batang baja karbon dan paduan hasil pengerjaan dingin. Penyebutan standar tersebut tidak dengan sendirinya memberikan satu nilai kekuatan luluh, kekerasan, atau modulus pengerasan untuk semua batang. Naskah pengujian belum menyertakan identitas grade, sertifikat material, maupun hasil pengujian mekanis masing-masing spesimen. Oleh sebab itu, analisis tidak memasukkan nilai kekuatan material asumtif untuk menghitung kebutuhan gaya tekan.

Ketiga batang diperlakukan sebagai benda uji individual dengan kondisi awal berbeda, bukan sebagai tiga ulangan pada kondisi identik. Penandaan batang 1, 2, dan 3 digunakan untuk

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

mempertahankan keterlacakan hubungan antara pengukuran awal, pengukuran antar-tahap, dan hasil akhir. Variasi kebengkokan awal membantu memperlihatkan respons fungsional mesin pada kondisi yang tersedia, tetapi tidak membentuk rancangan percobaan faktorial. Tidak ada kelompok kontrol yang diuji bersamaan, sehingga analisis diarahkan pada perubahan dalam setiap batang dan penyajian rentang hasil antarbatang.

2.3. Mesin awal dan konfigurasi pengembangan

Tabel 1. Spesifikasi mesin dasar dan konfigurasi modifikasi

Komponen/parameter	Keterangan
Dimensi mesin dasar	930 × 702 × 1.135 mm
Motor utama	Tiga fasa, 5,5 HP, 1.440 rpm
Transmisi	Pulley–v-belt, gearbox, spur gear
Putaran roller	24 rpm
Roller penarik awal	AISI 4140, diameter 5 inci
Pengarah awal	Satu pasang, mild steel, diameter 4 inci
Penekan	Ulir dengan tuas manual
Penekan modifikasi	Aktuator elektrik linier, kapasitas nominal 6.000 N, suplai 12 V, kecepatan nominal 5 mm/s
Modifikasi pengarah	Penambahan satu pasang
Pengoperasian	Tombol forward/reverse dan tombol aktuator remote control

Kapasitas nominal aktuator sebesar 6.000 N, suplai 12 V, dan kecepatan nominal 5 mm/s diperlakukan sebagai spesifikasi komponen, bukan hasil pengukuran selama pengerolan. Gaya yang diterima batang belum diketahui hanya dari kapasitas nominal tersebut. Evaluasi fungsional memeriksa apakah rangkaian penggerak dan penekan dapat digunakan dalam urutan kerja yang ditetapkan, sedangkan evaluasi kapasitas pembebanan memerlukan instrumentasi tambahan. Pembedaan ini diperlukan agar data spesifikasi pada Tabel 1 tidak digunakan sebagai pengganti data gaya, perpindahan, atau daya listrik aktual.

2.4. Prinsip kerja dan prosedur pengujian

Motor utama meneruskan putaran melalui pulley dan V-belt menuju gearbox, kemudian melalui roda gigi ke roller penarik. Pada gerakan forward, batang masuk melalui susunan roller. Tiga puncher bar dengan kebengkokan awal masing-masing 3, 4, dan 6 cm ditempatkan dengan bagian bengkok menghadap ke atas, lalu dimasukkan melalui roller penarik dan roller pengarah. Setelah bagian bengkok berada pada posisi pelurusan, penekan diturunkan menggunakan aktuator elektrik linier. Batang menjalani pengerolan tahap pertama pada posisi penekan yang dicatat sebagai 0 mm dan tahap kedua pada posisi 2 mm; batang kemudian dikeluarkan menggunakan gerakan reverse. Kedua tahap dilakukan secara berurutan pada batang yang sama.

Setiap batang menghasilkan dua pengamatan berurutan, bukan dua pengujian independen: kebengkokan akhir tahap pertama merupakan kebengkokan awal tahap kedua. Parameter yang dicatat meliputi kebengkokan sebelum dan sesudah setiap tahap, posisi penekan yang tercatat, dan waktu proses masing-masing tahap.

Posisi 0 mm dan 2 mm mengikuti pencatatan setelan penekan pada pengujian. Posisi 0 mm tidak ditafsirkan sebagai keadaan tanpa gaya, sebab pada tahap tersebut telah terjadi pengurangan kebengkokan. Dokumentasi belum menjelaskan kalibrasi titik nol, celah kontak awal, atau kesesuaian

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

perpindahan aktuator dengan perpindahan penekan pada kondisi berbeban. Dengan demikian, selisih setelan menunjukkan perubahan posisi yang tercatat, tetapi belum menyediakan ukuran penetrasi efektif terhadap batang. Informasi tersebut perlu dipertahankan sebagai batas pembacaan hasil, terutama ketika membandingkan tahap pertama dan tahap kedua.

2.5. Pengukuran dan analisis

Kebengkokan diukur menggunakan meja perata sebagai bidang acuan dan mistar baja untuk membaca simpangan batang terhadap bidang tersebut, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4. Penilaian dilakukan dengan membandingkan kebengkokan sebelum dan sesudah setiap tahap pelurusan. Pengukuran gaya tekan aktual, arus dan tegangan aktuator saat menerima beban, serta pengukuran simpangan secara kontinu belum dilaporkan sehingga tidak dapat digunakan dalam analisis ini.



Gambar 4. Pengukuran kebengkokan di atas meja Perata

Analisis data dilakukan secara deskriptif menggunakan selisih kebengkokan ($\Delta b = b_0 - b^f$), persentase pengurangan kebengkokan ($\eta b = [(b_0 - b^f)/b_0] \times 100\%$), dan penjumlahan waktu dua tahap untuk setiap batang. Target kebengkokan akhir maksimum 0,5 cm digunakan sebagai kriteria evaluasi sebagaimana dinyatakan dalam rancangan penelitian. Nilai tersebut belum dilengkapi dokumentasi dasar penetapannya, sehingga tidak diklaim sebagai persyaratan standar industri.

Pembacaan kebengkokan pada penelitian ini merupakan ukuran operasional berbasis bidang acuan yang digunakan peneliti. Data tidak memuat peta simpangan sepanjang batang maupun pengukuran kelurusan tiga dimensi. Selain itu, resolusi mistar, pengulangan pembacaan, dan ketidakpastian pengukuran belum dilaporkan. Joint Committee for Guides in Metrology (2008) memberikan kerangka evaluasi ketidakpastian berdasarkan informasi pengukuran dan sumber variasinya. Kerangka tersebut relevan untuk pengujian berikutnya, tetapi ketidakpastian numerik tidak dihitung di sini karena komponen masukan yang diperlukan belum tersedia.

Analisis deskriptif menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta b = b_0 - b_f$$

$$\eta_b = \frac{b_0 - b_f}{b_0} \times 100\%$$

$$t_{total} = t_1 + t_2$$

Keterangan:

b_0 adalah kebengkokan sebelum tahap yang dihitung (cm), sedangkan b_f adalah kebengkokan sesudah tahap tersebut (cm).

Δb menyatakan pengurangan kebengkokan (cm), dan η_b menyatakan persentase pengurangan kebengkokan (%).

t_1 dan t_2 adalah waktu tahap pertama dan kedua (detik); t_total adalah jumlah keduanya.

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

Untuk pengurangan kumulatif, b_0 menggunakan kebengkokan sebelum tahap pertama dan b^f menggunakan hasil akhir tahap kedua. Angka persentase dibulatkan setelah perhitungan, sehingga pembulatan tidak digunakan sebagai masukan perhitungan berikutnya.

3. HASIL

3.1. Hasil pengujian

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian tiga batang dengan kebengkokan awal 3, 4, dan 6 cm. Setiap batang diamati pada dua tahap berurutan. Persentase pengurangan menyatakan perubahan geometris relatif, bukan efisiensi energi atau efisiensi mekanis mesin.

Tabel 2. Hasil Pengujian Mesin Pelurus Puncher Bar

Puncher Bar	b_0 (cm)	Posisi Penekan (mm)	b_f (cm)	Δb (cm)	ηb (%)	Waktu (detik)
1	3	0	1,4	1,6	53,33	42
	1,4	2	0,7	0,7	50	38
2	4	0	1,7	2,3	57,5	45
	1,7	2	1,1	0,6	35,29	40
3	6	0	2,4	3,60	60	54
	2,4	2	0,8	1,6	66,67	41

Tabel 2 menunjukkan dua tahap penekanan berurutan untuk setiap puncher bar. Pada tahap pertama (posisi tercatat 0 mm), kebengkokan akhir sebesar 1,4; 1,7; dan 2,4 cm, dengan penurunan 1,6; 2,3; dan 3,6 cm. Pada tahap kedua (posisi tercatat 2 mm), kebengkokan turun lagi menjadi 0,7; 1,1; dan 0,8 cm, dengan penurunan tambahan 0,7; 0,6; dan 1,6 cm. Persentase pengurangan pada tahap kedua adalah 50,00%; 35,29%; dan 66,67%, masing-masing dihitung dari kondisi sesudah tahap pertama. Persentase pengurangan kumulatif terhadap kondisi awal adalah 76,67%; 72,50%; dan 86,67%. Waktu total kedua tahap berturut-turut 80, 85, dan 95 detik, atau rata-rata 86,67 detik per batang. Semua batang mengalami penurunan kebengkokan, tetapi tidak ada yang memenuhi target kebengkokan akhir maksimum 0,5 cm.

Karena tahapan bersifat berurutan, efek posisi penekan tidak dapat dipisahkan dari riwayat penekanan sebelumnya.

Secara individual, batang 1 mengalami pengurangan kumulatif sebesar 2,3 cm, batang 2 sebesar 2,9 cm, dan batang 3 sebesar 5,2 cm. Selisih kebengkokan akhir terhadap target 0,5 cm berturut-turut adalah 0,2; 0,6; dan 0,3 cm. Hasil ini memperlihatkan bahwa batang dengan kondisi awal paling bengkok tidak selalu menghasilkan kebengkokan akhir terbesar. Batang 3 mempunyai pengurangan absolut maupun relatif terbesar, tetapi batang 1 menghasilkan simpangan sisa terendah. Oleh karena itu, penilaian keberhasilan perlu menampilkan besarnya pengurangan dan hasil akhir secara bersamaan.

Rata-rata kebengkokan akhir ketiga batang adalah 0,87 cm berdasarkan nilai sebelum pembulatan sebesar 0,8667 cm, dengan rentang 0,7–1,1 cm. Rata-rata ini hanya merangkum tiga hasil akhir setelah dua tahap pengerolan; nilai tersebut tidak mencampurkan pengamatan antar-tahap sebagai pengulangan. Proporsi pemenuhan target pada kelompok yang diuji adalah 0 dari 3 batang. Angka itu tidak diproyeksikan menjadi tingkat kegagalan produksi karena jumlah dan pemilihan benda uji belum mendukung estimasi populasi.

Waktu tahap pertama berada pada rentang 42–54 detik, sedangkan tahap kedua berada pada rentang 38–41 detik. Rata-rata masing-masing tahap adalah 47,00 dan 39,67 detik. Walaupun tahap kedua lebih singkat pada ketiga batang, kondisi masuknya berbeda karena batang telah mengalami pelurusan sebelumnya. Waktu yang tercatat juga belum diuraikan menjadi durasi pemasukan, penekanan, pembalikan arah, penyetelan, dan pemeriksaan. Karena itu, rata-rata total 86,67 detik tidak langsung dikonversi menjadi kapasitas produksi per jam atau dijadikan bukti peningkatan produktivitas operator.

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

4. PEMBAHASAN

4.1. Perbandingan deskriptif dengan mesin sebelumnya

Tabel 3. Perbandingan deskriptif mesin penekan ulir dan aktuator elektrik

Parameter	Ulir	Aktuator Elektrik
Sistem penekanan	Manual	Elektrik
Jumlah pengerolan	1 kali	2 kali
Kebengkokan akhir minimal	0,5 cm	0,7 cm
Waktu proses yang dilaporkan	60 detik	86,67 detik

Berdasarkan Tabel 3, hasil terbaik mesin manual yang dilaporkan sebelumnya adalah kebengkokan akhir 0,5 cm dengan waktu proses 60 detik melalui satu kali pengerolan. Pada pengujian modifikasi, hasil terbaik adalah 0,7 cm dan rata-rata waktu proses 86,67 detik melalui dua kali pengerolan. Perbedaan rata-rata waktu sebesar 26,67 detik (44,44% terhadap 60 detik) merupakan perbandingan deskriptif, bukan bukti bahwa aktuator elektrik menyebabkan peningkatan durasi. Jumlah pengerolan dan kesetaraan kondisi pengujian antara mesin awal dan modifikasi berbeda atau belum terdokumentasi, sehingga klaim peningkatan ataupun penurunan kinerja kausal tidak dapat ditarik.

Angka pembanding 0,5 cm dan 60 detik pada Tabel 3 dipertahankan sebagai data historis yang dilaporkan dalam dokumentasi penelitian, dengan keterlacakan sumber dan kondisi uji yang belum lengkap. Angka tersebut tidak disamakan dengan hasil publikasi Wahab dan Hamarung (2024), yang melaporkan kebengkokan akhir 1,5 cm dari kebengkokan maksimum 6 cm dengan waktu satu menit. Perbedaan ini menegaskan perlunya memisahkan data internal pembanding dari data pustaka. Sebelum pengujian komparatif berikutnya, catatan asal data historis, identitas batang, dan prosedur pengukurannya perlu diperiksa kembali.

4.2. Penyetelan aktuator dan riwayat pengerolan

Pada tiga benda uji, perubahan dari kondisi setelah tahap pertama ke kondisi setelah tahap kedua berhubungan dengan berkurangnya kebengkokan akhir: 1,4 menjadi 0,7 cm; 1,7 menjadi 1,1 cm; dan 2,4 menjadi 0,8 cm. Pengujian tidak memisahkan efek posisi penekan 2 mm dari pengaruh tambahan pengerolan dan riwayat pembebanan tahap pertama. Oleh karena itu, data ini belum dapat dipakai untuk menyimpulkan bahwa posisi 2 mm merupakan penyetelan optimal.

Posisi aktuator merupakan variabel penyetelan sistem, tetapi besarnya gaya tekan aktual belum diukur. Penurunan kebengkokan pada tahap kedua menunjukkan adanya perubahan bentuk tambahan selama pengerolan berurutan, bukan pembuktian langsung hubungan sebab-akibat antara setelan posisi tertentu dan besarnya gaya penekanan.

Pengurangan kebengkokan kumulatif terbesar tercatat pada puncher bar dengan kebengkokan awal 6 cm, yaitu 86,67% (dari 6,0 cm menjadi 0,8 cm). Meskipun demikian, hasil akhir tersebut tetap melampaui batas target 0,5 cm.

Riwayat proses menjadi penting ketika satu batang melewati beberapa tahap pelurusan. Pandey et al. (2026) meneliti keterkaitan strategi pelurusan dan geometri perkakas dengan springback pada proses punch-bending kawat tipis. Walaupun objek dan dimensinya berbeda, penelitian tersebut memberikan alasan untuk mencatat urutan pemrosesan sebagai bagian dari kondisi percobaan. Untuk data puncher bar ini, tahap kedua merupakan kombinasi setelan baru dan kondisi material setelah tahap pertama. Kesimpulan mengenai pengaruh posisi memerlukan batang pembanding yang menerima urutan atau setelan berbeda dengan kondisi awal yang sebanding.

4.3. Mekanisme pelurusan dan ketercapaian target

Aktuator elektrik linier menggantikan kebutuhan pemutaran tuas penekan secara manual, sehingga perubahan mekanisme pengoperasian berhasil dilakukan secara fungsional. Walaupun demikian,

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

otomatisasi gerak penekan tidak otomatis menjamin target kelurusan tercapai. Tiga puncher bar menghasilkan kebengkokan akhir 0,7; 1,1; dan 0,8 cm, seluruhnya masih lebih besar dari target 0,5 cm. Bathelt et al. (2023) menekankan nilai integrasi pengukuran gaya pada sistem pelurusan, sedangkan Lu et al. (2020) membahas pendekatan berbasis langkah penekanan pada poros dengan geometri berbeda. Zhang et al. (2018) memperlihatkan pentingnya memperhitungkan springback pada pelurusan batang, dan Zhu et al. (2022) membahas pengaruh parameter geometri roller pada performa pelurusan. Temuan literatur tersebut relevan sebagai penjelasan konseptual, tetapi tidak membuktikan mekanisme penyebab pada mesin yang diuji di sini. Potensi keterbatasan gaya aktuator, kekakuan rangka, konfigurasi roller, dan springback belum dapat dipisahkan karena belum tersedia pengukuran gaya, perpindahan penekan aktual, dan kondisi suplai listrik selama proses.

Dengan target kebengkokan akhir maksimum 0,5 cm, hasil terbaik sebesar 0,7 cm masih mempunyai selisih 0,2 cm. Dasar kriteria target perlu didukung dokumen persyaratan atau spesifikasi teknis yang digunakan peneliti; pada naskah ini target diperlakukan sebagai kriteria rancangan, bukan ketentuan standar yang telah diverifikasi.

Kong dan Yu (2022) menunjukkan bahwa springback yang bergantung pada waktu dapat memengaruhi evaluasi kelurusan pada pelurusan poros ramping. Temuan tersebut tidak membuktikan bahwa perubahan tertunda terjadi pada puncher bar yang diuji, tetapi menunjukkan alasan untuk menyeragamkan waktu tunggu sebelum pembacaan. Tanpa catatan waktu pengukuran setelah pelepasan beban, variasi hasil tidak dapat dipisahkan secara lengkap dari variasi prosedur pemeriksaan. Pengujian berikutnya dapat membandingkan pembacaan segera setelah proses dan setelah waktu tunggu yang ditetapkan untuk menilai kestabilan geometri.

Penggantian tuas dengan aktuator juga belum cukup untuk menyatakan adanya keuntungan ergonomis yang terukur. Operator tetap harus menempatkan batang, mengatur orientasinya, memantau gerakan, dan memeriksa hasil. Pengurangan kebutuhan memutar tuas merupakan perubahan aktivitas kerja yang nyata pada rancangan, tetapi besarnya pengurangan beban fisik belum dinilai. Klaim manfaat bagi operator sebaiknya dikembangkan melalui pengamatan tugas dan pengukuran yang relevan, sehingga perbaikan pengoperasian dapat dinilai bersama kualitas hasil pelurusan.

Dengan demikian, keberhasilan penelitian terbatas pada implementasi fungsional modifikasi penekan dan teramatinya pengurangan kebengkokan. Ketiga spesimen belum mencapai target kelurusan yang ditetapkan. Pengujian lanjutan sebaiknya mencatat tegangan dan arus pada saat aktuator bekerja, mengukur gaya penekanan dan perpindahan aktual, serta mengulangi percobaan dengan spesimen dan kondisi pembandingan yang terkontrol. Penetapan kebutuhan kapasitas aktuator maupun power supply sebaiknya berdasarkan pengukuran beban dan perhitungan teknis, bukan langsung menetapkan spesifikasi peningkatan tanpa bukti.

5. IMPLIKASI PERANCANGAN DAN AGENDA VALIDASI

Implikasi utama bagi perancangan adalah perlunya menghubungkan setelan penekan dengan beban dan hasil geometris yang benar-benar tercapai. Tahap pengembangan berikutnya sebaiknya dimulai dengan pengukuran gaya tekan, perpindahan penekan saat berbeban, dan kondisi tegangan serta arus aktuator. Data tersebut akan membantu membedakan keterbatasan suplai, keterbatasan aktuator, dan kehilangan perpindahan pada struktur. Pengukuran perlu dilakukan secara serempak agar puncak gaya dapat dihubungkan dengan posisi batang dan perubahan bentuk, bukan hanya dicatat sebagai angka maksimum terpisah.

Konfigurasi pengarah perlu divalidasi melalui pencatatan jarak tumpuan, diameter roller, keselarasan sumbu, serta lokasi penekanan terhadap bagian bengkok. Optimasi parameter roller yang dikaji Zhu et al. (2022) memberikan dasar untuk memperlakukan geometri kontak sebagai variabel rancangan. Namun, penerapan metode optimasi pada mesin ini membutuhkan batas dimensi, karakteristik material, dan data pembebanan yang sesuai. Penambahan gaya tanpa memeriksa geometri dan kekakuan struktur belum dapat direkomendasikan sebagai solusi tunggal karena penyebab simpangan sisa belum diidentifikasi.

Rancangan validasi dapat menggunakan batang dengan diameter, grade, panjang, dan kelompok kebengkokan awal yang sebanding. Mesin manual dan mesin modifikasi perlu diuji dengan definisi titik

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

awal dan akhir waktu yang sama. Urutan pengujian sebaiknya diatur untuk mengurangi pengaruh pembelajaran operator atau perubahan kondisi mesin. Setiap kombinasi kondisi perlu memiliki ulangan independen yang jumlahnya ditentukan berdasarkan variasi hasil awal dan ketelitian perbandingan yang diinginkan. Pengulangan pembacaan pada satu batang berguna untuk menilai pengukuran, tetapi tidak menggantikan ulangan proses pada batang berbeda.

Prioritas keluaran validasi adalah kebengkokan akhir, proporsi batang yang memenuhi target, waktu siklus lengkap, dan kestabilan hasil antarulangan. Kriteria maksimum 0,5 cm perlu dihubungkan dengan kebutuhan penggunaan puncher bar dan metode pemeriksaan yang disepakati. Selain kelurusan, pemeriksaan kondisi permukaan dan kemungkinan perubahan bentuk lokal perlu dimasukkan sebelum menyatakan batang layak digunakan kembali. Agenda tersebut menempatkan keberhasilan modifikasi sebagai kemampuan menghasilkan komponen yang memenuhi kebutuhan secara konsisten, bukan sekadar kemampuan menyelesaikan satu siklus gerakan.

6. KETERBATASAN

Penelitian ini dibatasi oleh jumlah benda uji yang kecil dan perbedaan kondisi awal antarbatang. Setiap batang hanya dilaporkan melalui satu rangkaian dua tahap, sehingga belum tersedia ukuran keterulangan proses pada kondisi identik. Hubungan antara kebengkokan awal, setelan penekan, dan hasil akhir belum dapat dinyatakan sebagai model prediksi. Pengujian juga tidak memisahkan pengaruh penggantian penekan dari penambahan pengarah karena kedua perubahan diterapkan dalam satu konfigurasi modifikasi.

Keterbatasan pengukuran mencakup belum tersedianya data gaya aktual, perpindahan berbeban, sifat mekanis spesimen, ketidakpastian pembacaan, dan distribusi simpangan sepanjang batang. Catatan waktu belum mencakup rincian seluruh aktivitas penanganan, sedangkan data pembanding mesin lama belum memiliki kondisi uji yang sepenuhnya terlacak. Penelitian tidak mengukur konsumsi energi, biaya per batang, ketahanan komponen, atau beban kerja operator. Dengan batas tersebut, temuan berlaku sebagai evaluasi deskriptif awal dan dasar penyusunan pengujian lanjutan, bukan sebagai bukti kelayakan produksi massal atau keunggulan umum aktuator elektrik.

7. KESIMPULAN

Penelitian ini memodifikasi mesin pelurus puncher bar dengan mengganti mekanisme penekan ulir manual menjadi aktuator elektrik linier serta menambah satu pasang roller pengarah. Hasil pengujian fungsional awal menunjukkan bahwa sistem penekan dapat dioperasikan untuk meluruskan tiga batang ASTM A108 berdiameter 25,4 mm dengan kebengkokan awal 3, 4, dan 6 cm.

Setelah dua tahap pengerolan, kebengkokan akhir masing-masing batang menjadi 0,7; 1,1; dan 0,8 cm, atau berkurang secara kumulatif sebesar 76,67%; 72,50%; dan 86,67%. Hasil terbaik 0,7 cm dicapai pada batang pertama dengan waktu total 80 detik, sedangkan rata-rata waktu proses ketiga batang adalah 86,67 detik.

Seluruh hasil akhir masih berada di atas target maksimum 0,5 cm, sehingga tidak ada benda uji yang memenuhi kriteria kelurusan tersebut. Dibandingkan data mesin sebelumnya (kebengkokan akhir terbaik 0,5 cm, 60 detik, satu kali pengerolan), konfigurasi modifikasi belum menunjukkan keunggulan kuantitatif. Namun, perbandingan tersebut terbatas karena jumlah pengerolan dan kesetaraan kondisi uji belum sama atau belum didokumentasikan.

Kontribusi penelitian terletak pada evaluasi awal implementasi penekan elektrik dan penyajian keterbatasan hasil pelurusan. Pengembangan selanjutnya perlu memprioritaskan karakterisasi gaya dan perpindahan aktual aktuator, optimasi konfigurasi roller, pengujian berulang pada kondisi yang setara, dan validasi dasar target kelurusan sebelum menarik kesimpulan mengenai peningkatan kinerja mesin.

DAFTAR PUSTAKA

Agniya, R. F., & Widiantoro, H. (2022). Perancangan mesin pelurus baja tulangan diameter 12 mm. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, 13*(1), 700–705. https://doi.org/10.35313/irwns.v13i01.4315

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

ASTM International. (2024). *Standard specification for steel bar, carbon and alloy, cold-finished* (ASTM A108-24). https://doi.org/10.1520/A0108-24

Bathelt, L., Bader, F., Djakow, E., Henke, C., Trächtler, A., & Homberg, W. (2022). Innovative assistance system for setting up a mechatronic straightening machine. *Key Engineering Materials, 926*, 2397–2405. https://doi.org/10.4028/p-vs07w9

Bathelt, L., Scurk, M., Djakow, E., Henke, C., & Trächtler, A. (2023). Novel straightening-machine design with integrated force measurement for straightening of high-strength flat wire. *Sensors, 23*(22), Article 9091. https://doi.org/10.3390/s23229091

Biju, B., Dijin, J. S., Anujith, C., Augustine, A., & Anas, M. P. (2016). Design and analysis of straightening mechanism for commercial steel bars. *International Research Journal of Engineering and Technology, 3*(5), 379–383. https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I580.pdf

Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008). https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E

Kong, Q., & Yu, Z. (2022). Dynamic evaluation method of straightness considering time-dependent springback in bending-straightening based on GA-BP neural network. *Machines, 10*(5), Article 345. https://doi.org/10.3390/machines10050345

Lu, H., Zang, Y., Zhang, X., Zhang, Y., & Li, L. (2020). A general stroke-based model for the straightening process of D-type shaft. *Processes, 8*(5), Article 528. https://doi.org/10.3390/pr8050528

Ma, Z., Ma, L., Wang, R., Huang, Q., & Ma, L. (2017). Study on control strategies of two-roll straightening for bar high precision straightening. *Journal of Mechanical Engineering, 53*(20), 77–88. https://doi.org/10.3901/JME.2017.20.077

Pandey, A. K., Peters, H., Rostek, T., & Homberg, W. (2026). Influence of tool geometry, straightening strategy and tool clearance in thin wire punch-bending. *Journal of Manufacturing and Materials Processing, 10*(5), Article 149. https://doi.org/10.3390/jmmp10050149

Peukert, F. S., Engel, K., & Groche, P. (2026). Straightening methods for flexible T-profile rolling. *International Journal of Material Forming, 19*, Article 119. https://doi.org/10.1007/s12289-026-02083-x

Wahab, A., & Hamarung, M. A. (2024). Rancang bangun alat pelurus puncher bar. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, 8*(1), 64–69. https://doi.org/10.30588/jeemm.v8i1.1816

Yin, J., Zhao, J., Wang, S., Wan, X., & Li, Y. (2014). Principle of multi-roller straightening process and quantitative resolutions of straightening strategies. *Journal of Iron and Steel Research International, 21*(9), 823–829. https://doi.org/10.1016/S1006-706X(14)60148-5

Zhang, Y., Lu, H., Zhang, X., Fan, W., Ling, H., Wei, Q., & Ma, M. (2018). A novel analytical model for straightening process of rectangle-section metal bars considering asymmetrical hardening features. *Advances in Mechanical Engineering, 10*(9). https://doi.org/10.1177/1687814018799158

Zhu, X., Liu, Y., Zhang, S., Cao, J., Sun, J., Chen, S., Wang, X., & Li, S. (2022). Structural parameters optimization of the steel bar straightening machine based on the PSO algorithm. *Mathematical Problems in Engineering, 2022*, Article 4116977. https://doi.org/10.1155/2022/4116977

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2954
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

Halaman ini dikosongkan