



Produksi Paku Diameter 5 mm, Panjang 50 mm, Tahan Karat Kapasitas 10 kg/Jam

Muhammad Yazid Bustomy¹, Syamsul Hadi^{2*}, Zanetta Al Azhar³, Mohammad Sheva Firdaus⁴, Yudhistira Satria Nugroho⁵

¹⁻⁵Program Studi Diploma III, Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Program Studi Doktor Terapan Optimasi Desain Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: yazidbustomy12@gmail.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id^{2*}, zanettaalazhar@gmail.com³, shevafirdauslawang18@gmail.com⁴, yudhistirasatria06@gmail.com⁵.

*Penulis Korespondensi: syamsul.hadi@polinema.ac.id

Abstract. Problems faced in the need for nails in the furniture industry, and various civil engineering works, which are uniform and standard sizes. The production objective is to obtain nails with a diameter of 5 x 50 mm, which are not easily rusted, with uniform and standard sizes. Production methods include: nail design with dimensions of 5 x 50 mm diameter; preparation of low carbon steel wire, AISI 1020, diameter 5 mm in the form of a coil with a diameter of 600 mm; straightening the steel wire coil through a die; cutting the tip of the pointed shape into a length of 50 mm; forming the nail head (haeding) with a head diameter of 8 mm and a head thickness of 1.5 mm; coating by dipping into molten zinc (hot dip galvanized) at a temperature of 500°C for 30 seconds; and quality control on shape, straightness, and dimensions. The production results are nails with a diameter of 5 x 50 mm which are rust-resistant, uniform and standard in size with a production cost of IDR 24,000/kg, a production process duration of 6 minutes/kg which has an impact on being used in construction, the furniture industry, and various civil engineering works wood, plastic, composites, thin metal plates, walls.

Keywords: AISI 1020 Steel; Nail Diameter 5 Mm; Nail Head Diameter 8 Mm; Nail Length 50 Mm; Steel Nail.

Abstrak. Permasalahan yang dihadapi pada kebutuhan paku dalam bidang industri mebel, dan berbagai pekerjaan teknik sipil, yang seragam dan ukuran sesuai standar. Tujuan produksi untuk memperoleh paku berukuran diameter 5 x 50 mm, tidak mudah berkarat yang ukurannya seragam dan standar. Metode produksi meliputi: desain paku berdimensi diameter 5 x 50 mm; penyiapan kawat baja karbon rendah, AISI 1020, diameter 5 mm berupa coil berdiameter gulungan 600 mm; pelurusan gulungan kawat baja melalui cetakan (*die*); pemotongan ujung bentuk runcing menjadi panjang 50 mm; pembentukan kepala paku (*haeding*) kepalanya berdiameter 8 mm dan tebal kepala 1,5 mm; pelapisan dengan pencelupan ke dalam Seng cair (*hot dip galvanized*) pada temperatur 500°C selama 30 detik; dan pemeriksaan mutu pada bentuk, kelurusan, dan dimensi. Hasil produksi berupa paku berdimensi diameter 5 x 50 mm yang tahan karat, ukurannya seragam dan standar dengan biaya produksi Rp 24.000,-/kg, durasi proses produksi 6 menit/kg yang berdampak dapat digunakan pada konstruksi, industri mebel, dan berbagai pekerjaan teknik sipil kayu, plastik, komposit, pelat logam tipis, tembok.

Kata kunci: Baja AISI 1020; Diameter Kepala Paku 8 Mm; Diameter Paku 5 Mm; Paku Baja; Panjang Paku 50 Mm.

1. LATAR BELAKANG

Paku baja sebagai produk logam yang sering dipakai untuk kehidupan sehari-hari, khususnya dalam bidang konstruksi bangunan, industri mebel, dan berbagai pekerjaan teknik lainnya. Perannya sebagai alat penyambung yang sederhana, namun vital menjadikan paku sebagai komponen yang tidak bisa diabaikan dalam menunjang kekuatan dan kerapian suatu konstruksi. Seiring dengan pesatnya pertumbuhan sektor konstruksi dan industri manufaktur di Indonesia, kebutuhan terhadap paku baja terus mengalami peningkatan yang signifikan seiring perkembangan sektor konstruksi dan manufaktur.

Paku baja umumnya diproduksi dari bahan baku kawat baja dengan kadar karbon rendah (kurang dari 0,3%), yang dikenal memiliki sifat ulet, mudah dibentuk, sekaligus cukup kuat untuk menahan beban mekanis ketika digunakan sebagai pengikat. Karakteristik inilah yang menjadikan baja karbon rendah sebagai bahan utama dalam proses produksi paku secara massal. Selain hal tersebut, proses pembentukan kawat baja melalui metode cold drawing memungkinkan diperolehnya dimensi produk yang lebih seragam dan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Proses wire drawing juga dapat meningkatkan sifat mekanik bahan akibat terjadinya deformasi plastis selama proses penarikan kawat (Kisrane-Bouzidi *et al.* , 2020).

Secara umum, proses produksi paku melibatkan serangkaian tahapan manufaktur yang dimulai dari penyiapan kawat baja dalam bentuk gulungan (*coil*), proses *wire drawing* untuk mendapatkan diameter yang sesuai, pemotongan kawat sesuai panjang yang ditentukan, pembentukan kepala paku melalui proses *cold heading*, pembentukan ujung paku melalui proses *pointing*, hingga *finishing* yang harus dikendalikan dengan cermat agar produknya masuk standar dimensi dan mutunya.

Spesifikasi produk paku baja berdiameter 5 x 50 mm, dan target kapasitas produksi sebesar 10 kg/jam yang bertujuan memperoleh gambaran yang terstruktur mengenai setiap tahapan manufaktur paku baja.

2. KAJIAN TEORITIS

Produksi adalah serangkaian langkah mengubah dari bahan mentah menjadi produk bernilai tambah lebih tinggi. Dalam konteks manufaktur logam, produksi melibatkan berbagai teknik pembentukan yang memanfaatkan sifat plastisitas bahan untuk memperoleh bentuk dan dimensi target (Groover, 2021). Efisiensi produksi sebagai indikator kesuksesan sebuah sistem manufaktur. Peningkatan efisiensi produksi dapat meningkatkan luaran, mengurangi pemborosan, dan mendukung produktivitas manufaktur.

Jenis baja karbon rendah berkadar karbon di bawah 0,3% sering dipakai dalam industri manufaktur karena keunggulan sifat mekanis yang seimbang antara kekuatan dan keuletan, mudah dibentuk melalui proses cold working, dan memiliki kemampuan las yang baik (Amri *et al.* , 2022).

Dalam industri paku, baja karbon rendah dipilih sebagai bahan baku, karena kemampuannya untuk dibentuk menjadi kawat melalui proses penarikan (*wire drawing*) tanpa mengalami keretakan. Kisrane-Bouzidi *et al.* (2020) menjelaskan bahwa proses wire drawing menyebabkan peningkatan densitas dislokasi, penyempurnaan ukuran butir, dan peningkatan kekuatan bahan akibat deformasi plastis selama proses penarikan kawat, tetapi peningkatan

kekuatan tersebut umumnya diikuti oleh penurunan keuletan bahan seiring bertambahnya tingkat deformasi.

Wire drawing adalah pembentukan logam dengan cara menarik kawat melalui sebuah cetakan (*die*) berdiameter lebih kecil, sehingga diameter kawat berkurang dan panjangnya bertambah. Prosestersebut dilakukan pada kondisi dingin (*cold working*), sehingga menghasilkan perubahan pada sifat mekanis bahan akibat *strain hardening*. Pemilihan jalur *drawing* dan parameter mesin yang tepat dapat meningkatkan efisiensi proses *wire drawing*. Zavdoveev *et al* . (2020) menjelaskan bahwa proses *wire drawing* dapat memperhalus ukuran butir (*grain refinement*) dan meningkatkan kekerasan bahan akibat akumulasi deformasi plastis selama proses penarikan kawat yang menunjukkan bahwa proses *wire drawing* tidak hanya berfungsi untuk mengurangi diameter kawat, tetapi juga berpengaruh terhadap sifat mekanis bahan yang akan digunakan sebagai bahan baku paku.

Amanda & Viklund (2022) menjelaskan bahwa kecepatan penarikan kawat (*drawing speed*) merupakan satu parameter penting yang memengaruhi mutu permukaan kawat dan produktivitas proses produksi. Oleh karenanya, pengaturan parameter proses yang tepat diperlukan agar mutu kawat tetap terjaga tanpa mengurangi efisiensi produksi.

Cold heading atau *cold forming* adalah pembentukan logam pada temperatur kamar dengan cara memberikan tekanan menggunakan punch dan *die*, tanpa pemotongan. Prosestersebut merupakan metode yang sangat efisien untuk membentuk kepala pada produk-produk *fastener* untuk baut, sekrup, *rivet*, dan paku. Keunggulan utama *cold heading* adalah minimnya sisa bahan (*scrap*) yang dihasilkan karena volume *blank* ditekan langsung ke dalam *die* tanpa pemotongan (Anonim, 2025). Selain hal tersebut, karena tidak memerlukan panas, prosestersebut lebih ramah lingkungan dan lebih selamat bagi pekerja.

Mutu produk kawat baja amat berdampak karena beberapa faktor: mutu bahan mentah, kondisi dan pengaturan parameter mesin, kecepatan produksi, dan tingkat presisi dimensi produk akhir. Ridlo *et al* . (2023) dalam penelitiannya tentang mutu kawat baja menggunakan metode FMEA menemukan bahwa tipe cacat terbanyak terjadi dalam produksi kawat baja *single wire* adalah kawat bergelombang (40,0%), diameter *over* (22,6%), dan kawat tergores (15,9%) yang menunjukkan bahwa pengendalian dimensi dan kondisi permukaan bahan merupakan aspek kritis yang harus diperhatikan selama proses produksi berlangsung.

3. METODE PENELITIAN

Produksi berfokus pada pengamatan dan pengukuran aktual produksi secara sistematis guna mendapat data objektif dan terpercaya. Desain penelitian dilakukan dengan mengamati keseluruhan produksi paku sejak semula (penyiapan bahan mentah) sampai menjadi produk akhir untuk mengetahui tahapan kerja secara detail dan mengukur kinerja mesin yang digunakan.

Objek penelitian adalah produksi paku baja dengan spesifikasi sebagai berikut: Diameter paku: 5 mm, Panjang paku: 50 mm, Kapasitas produksi target: 10 kg/jam, dan Bahan baku: kawat baja karbon rendah (*low carbon steel*).

Data dalam produksi diperoleh melalui empat cara, yaitu: observasi langsung terhadap setiap tahapan produksi paku di lapangan, pengukuran waktu produksi menggunakan stopwatch untuk menghitung kapasitas aktual mesin, pengukuran dimensi produk menggunakan mistar sorong (*vernier caliper*) untuk memverifikasi kesesuaian dimensi dengan spesifikasi, dan hasil penelitian terdahulu.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi: *stopwatch* digital untuk mengukur waktu setiap tahapan proses produksi, mistar sorong (*vernier caliper*) dengan akurasi 0,02 mm terhadap ukuran diameter dan panjang paku, timbangan digital untuk mengukur berat hasil produksi per satuan waktu, dan mesin pembuat paku otomatis (*automatic nail making machine*).

Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil produksi aktual terhadap spesifikasi yang telah ditentukan. Aspek yang dianalisis meliputi: dimensi paku (diameter dan panjang), waktu produksi per siklus, kapasitas produksi aktual (kg/jam), dan mutu produk secara visual dan dimensional.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan mentah dipakai untuk produksi paku adalah kawat baja karbon rendah dalam bentuk gulungan (*coil*). Kawat baja dipilih berdasarkan beberapa kriteria teknis, antara lain kadar karbon di bawah 0,3%, tidak terdapat cacat permukaan untuk goresan atau karat, dan memiliki diameter awal yang sesuai dengan kebutuhan proses *wire drawing* berikutnya.

Sebelum diproses lebih lanjut, kawat baja diinspeksi secara visual untuk memastikan mutu bahan baku memenuhi standar. Menurut Ridlo *et al.* (2023), cacat pada bahan baku kawat baja untuk permukaan bergelombang dan diameter tidak seragam merupakan faktor dominan yang menyebabkan produk akhir tidak memenuhi spesifikasi. Oleh karenanya, seleksi bahan baku yang ketat menjadi langkah awal yang sangat penting dalam menjaga konsistensi mutu

produk. Setelah bahan baku diseleksi, kawat baja dilewatkan melalui serangkaian *die* (cetakan) berdiameter yang semakin mengecil dalam proses *wire drawing* yang bertujuan untuk mereduksi diameter kawat secara bertahap dari diameter awal menuju diameter target 5 mm dengan toleransi dimensi yang ketat.

Wire drawing dilakukan secara dingin (*cold drawing*), yang berarti tidak ada pemanasan bahan selama proses berlangsung yang menyebabkan terjadinya strain hardening pada bahan, yang mana kekerasan kawat meningkat, namun keuletan (*ductility*) cenderung menurun seiring bertambahnya tingkat deformasi. Jung *et al.* (2020) menyatakan bahwa proses *cold drawing* dapat meningkatkan kekuatan tarik baja akibat deformasi plastis yang terjadi selama proses penarikan kawat, meskipun pada saat yang sama keuletan bahan cenderung menurun.

Kisrane-Bouzidi *et al.* (2020) menjelaskan bahwa *wire drawing* meningkatkan densitas dislokasi, memperhalus ukuran butir, dan meningkatkan kekuatan tarik bahan akibat deformasi plastis selama penarikan kawat yang menunjukkan bahwa pengendalian parameter *wire drawing* sangat penting untuk memperoleh paku dengan mutu mekanik dan dimensi yang konsisten.

Kawat yang telah mencapai diameter 5 mm selanjutnya dipotong menggunakan mesin pemotong otomatis sesuai panjang yang telah ditentukan, yaitu 50 mm. Pemotongan berlangsung sangat cepat dan terprogram otomatis oleh mesin pembuat paku, sehingga setiap potongan kawat memiliki panjang yang seragam.

Ketelitian pada pemotongan sangat kritis untuk menjaga keseragaman dimensi paku. Simpangan (toleransi) panjang yang diizinkan umumnya tidak lebih dari $\pm 0,5$ mm dari panjang nominal 50 mm. Kecepatan pemotongan dan ketajaman mata pisau pemotong merupakan dua faktor yang paling berpengaruh terhadap akurasi dan mutu hasil potongan (Groover, 2021).

Satu ujung kawat yang telah dipotong kemudian dibentuk menjadi kepala paku melalui proses *cold heading* yang ujung kawatnya ditekan oleh *punch* ke dalam *die* dengan gaya tekan yang cukup besar, sehingga bahan mengalami deformasi plastis dan membentuk kepala paku yang pipih dan melebar.

Cold heading memiliki keunggulan dibandingkan proses pembentukan kepala dengan pemesinan, yaitu tidak menghasilkan sisa bahan (*scrap*) yang berarti, karena volume bahan hanya berpindah dan berubah bentuk tanpa ada yang terbuang (Anonim, 2025). Selain hal tersebut, proses pembentukan dingin (*cold forming*) mampu menghasilkan komponen dengan akurasi dimensi yang baik, efisiensi penggunaan bahan yang tinggi, dan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan proses pemesinan konvensional (Yang *et al.*., 2023). Hal tersebut

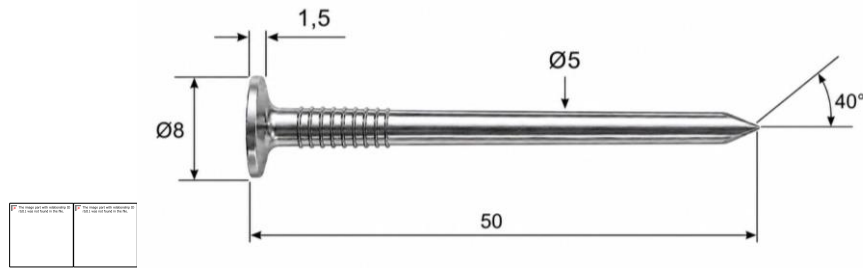
menunjukkan bahwa penggunaan metode *cold heading* pada produksi paku sangat sesuai untuk produksi massal karena dapat meningkatkan efisiensi bahan sekaligus menjaga keseragaman dimensi produk yang dihasilkan. Bentuk kepala paku yang dihasilkan harus memiliki diameter dan ketebalan yang sesuai standar agar dapat memberikan gaya tahan yang cukup saat digunakan pada bahan kayu maupun papan.

Ujung kawat pada sisi yang berlawanan dengan kepala dibentuk menjadi runcing (lancip) melalui proses *pointing* yang dilakukan dengan menekan dan menggerinda ujung kawat hingga membentuk sudut lancip yang memudahkan penetrasi paku ke dalam bahan saat digunakan.

Sudut keruncingan ujung paku sangat mempengaruhi kemudahan penetrasi dan kekuatan sambungan yang dihasilkan. Ujung yang terlalu tumpul akan membutuhkan gaya pukul yang lebih besar dan berpotensi merusak bahan yang disambung, sedangkan ujung yang terlalu lancip dapat melemahkan kekuatan batang paku di area ujung tersebut. Dalam proses pembentukan dingin, geometri ujung dan distribusi deformasi bahan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap mutu produk akhir dan kinerja komponen saat digunakan (Baygut, 2020). Hal tersebut menunjukkan bahwa pengendalian bentuk dan sudut ujung paku perlu dilakukan secara konsisten agar diperoleh keseimbangan antara kemudahan penetrasi dan kekuatan mekanis paku saat digunakan pada berbagai jenis bahan.

Setelah semua tahapan pembentukan selesai, paku melewati *finishing* yang meliputi pemolesan permukaan untuk mengurangi gesekan saat penggunaan dan memberikan tampilan yang lebih bersih dan menarik. Pada beberapa varian paku, proses finishing juga mencakup pelapisan anti karat (galvanisasi atau elektroplating) untuk meningkatkan ketahanan korosi produk.

Menurut Abdullah dan Tjahjanti (2021), galvanisasi mampu melapisi permukaan paku yang dapat menghalangi pengkaratan dan memperpanjang umur pakai produk. Selain hal tersebut, Smak *et al.* (2021) menjelaskan bahwa pelapisan galvanis tidak hanya meningkatkan ketahanan korosi, tetapi juga membantu mempertahankan sifat mekanik bahan selama masa penggunaan. Anonim (2023) juga menyatakan bahwa pelapisan *hot-dip galvanizing* mampu memberikan perlindungan korosi mistar panjang pada baja dan dapat digunakan pada berbagai kategori lingkungan korosif. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses finishing memiliki peran penting dalam meningkatkan mutu dan daya tahan paku, terutama ketika digunakan pada lingkungan yang lembap atau berpotensi menyebabkan korosi. Bentuk dan dimensi produk paku baja sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk dan Dimensi Produk Paku Baja.

Dari hasil observasi langsung di lapangan, tahapan produksi paku dapat dirangkum sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Proses Produksi Paku Ø5 mm × 50 mm.

No.	Nama Proses	Deskripsi	Parameter Kritis
1	Seleksi Bahan Baku	Pemeriksaan visual dan dimensi kawat baja karbon rendah dalam bentuk <i>coil</i>	Tidak ada cacat permukaan, diameter sesuai spesifikasi
2	<i>Wire Drawing</i>	Penarikan kawat secara bertahap melalui <i>die</i> untuk mereduksi diameter menjadi 5 mm	Derajat reduksi, kecepatan tarik, pelumasan die
3	<i>Cutting</i> (Pemotongan)	Pemotongan kawat otomatis sesuai panjang target 50 mm	Panjang potongan $\pm 0,5$ mm, ketajaman pisau pemotong
4	<i>Heading</i> (Pembentukan Kepala)	Pembentukan kepala paku melalui <i>cold heading</i> dengan <i>punch</i> dan <i>die</i>	Gaya tekan <i>punch</i> , bentuk dan dimensi kepala paku
5	<i>Pointing</i> (Pembentukan Ujung)	Pembentukan ujung runcing paku melalui tekanan dan penggerindaan	Sudut keruncingan, panjang tirus ujung paku
6	<i>Finishing</i>	Pemolesan permukaan dan pelapisan anti karat (jika diperlukan)	Kehalusan permukaan, ketebalan lapisan pelindung

Dari hasil pengamatan dan pengukuran waktu produksi selama sesi observasi, kapasitas aktual mesin pembuat paku berhasil mencapai ± 10 kg/jam. Nilai tersebut telah sesuai dengan target spesifikasi yang direncanakan sejak awal. Satu kilogram paku dengan spesifikasi $\phi 5$ mm × 50 mm mengandung sekitar 150-160 butir paku, sehingga dalam satu jam mesin mampu memproduksi sekitar 1.500-1.600 butir paku.

Kapasitas produksi sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kecepatan kerja mesin dan kontinuitas proses produksi. Semakin stabil kinerja mesin dan semakin minim gangguan yang terjadi (misalnya kawat putus, kemacetan pada die, atau kerusakan komponen), maka luaran yang dihasilkan semakin konsisten. Menurut Mayang *et al.* (2022), peningkatan efisiensi proses produksi bisa mengurangi aktivitas tidak bernilai (*waste*), sehingga kapasitas produksi dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Selain hal tersebut, Setiawan (2022) menjelaskan bahwa pengendalian parameter proses dan identifikasi potensi kegagalan produksi sejak dini dapat membantu menjaga kestabilan luaran yang dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencapaian kapasitas produksi tidak hanya bergantung pada kemampuan

mesin, tetapi juga pada efektivitas pengelolaan proses produksi dan perawatan peralatan secara berkelanjutan.

Goyal *et al.* (2022) menjelaskan bahwa pengurangan *cycle time* merupakan salah satu strategi penting dalam meningkatkan efisiensi proses manufaktur karena dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi pemborosan selama proses produksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengendalian durasi pada setiap tahapan produksi paku dapat berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi keseluruhan proses produksi.

Aized *et al.* (2020) menjelaskan bahwa pengurangan waktu siklus (*cycle time*) dapat meningkatkan produktivitas sistem produksi dan membantu perusahaan memenuhi target luaran secara lebih efektif. Dengan demikian, pengendalian durasi pada setiap tahapan proses produksi paku menjadi penting untuk menjaga efisiensi dan kapasitas produksi yang telah direncanakan. Selain hal tersebut, Taifa dan Vhora (2019) menyatakan bahwa analisis *cycle time* dapat digunakan untuk menandai aktivitas bernilai tambah, sehingga produktivitas sistem manufaktur bisa ditingkatkan. Oleh karenanya, evaluasi durasi pada setiap tahapan produksi paku mendasari usaha peningkatan proses dan efisiensi produksi secara berkelanjutan.

Ning *et al.* (2022) menjelaskan bahwa estimasi biaya manufaktur yang akurat sangat penting dalam perencanaan produksi karena berpengaruh terhadap pengambilan keputusan dan efisiensi penggunaan sumber daya. Dengan demikian, perhitungan biaya produksi paku perlu mempertimbangkan seluruh komponen biaya secara sistematis agar diperoleh estimasi biaya yang realistis.

Hellweg *et al.* (2023) menyatakan bahwa estimasi biaya manufaktur dapat digunakan sebagai dasar dalam pengendalian biaya dan evaluasi kelayakan proses produksi. Oleh karenanya, analisis biaya produksi tidak hanya berfungsi untuk menentukan biaya per unit produk, tetapi juga sebagai dasar pengambilan keputusan dalam kegiatan manufaktur.

Pengukuran dimensi produk dilakukan pada sampel acak sebanyak 20 butir paku dari setiap 100 butir yang dihasilkan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa: Diameter paku berkisar antara 4,97 mm hingga 5,03 mm, dengan nilai rata-rata 5,00 mm; Panjang paku berkisar antara 49,6 mm hingga 50,4 mm, dengan nilai rata-rata 50,0 mm; dan Seluruh sampel yang diukur berada dalam batas toleransi yang dapat diterima ($\pm 0,5$ mm untuk panjang dan $\pm 0,03$ mm untuk diameter). Hasil tersebut menunjukkan bahwa mesin pembuat paku beroperasi dengan tingkat presisi yang baik dan konsisten. Konsistensi dimensi produk merupakan indikator mutu yang penting, karena paku dengan dimensi tidak seragam dapat menyebabkan masalah dalam aplikasi penggunaannya, untuk sulitnya penetrasi atau lemahnya kekuatan sambungan (Ridlo *et al.*, 2023). Selain hal tersebut, Yang *et al.* (2023) menyatakan bahwa

proses cold forming yang dikendalikan dengan baik mampu menghasilkan produk dengan akurasi dimensi yang tinggi dan mutu yang konsisten. Hal tersebut menunjukkan bahwa kestabilan proses produksi dan pengendalian parameter mesin berperan penting dalam menjaga kesesuaian dimensi produk terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan.

Selama proses observasi, teridentifikasi beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi produksi paku, antara lain: (1) mutu bahan baku: Kawat baja dengan permukaan cacat atau diameter tidak seragam dapat menyebabkan kemacetan mesin dan meningkatkan tingkat produk cacat (*reject*). Hal tersebut sejalan dengan temuan Ar Ridlo *et al.* (2023) yang menemukan bahwa cacat kawat bergelombang dan diameter *over* merupakan penyebab dominan produk tidak memenuhi spesifikasi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengendalian mutu bahan baku sejak tahap awal menjadi langkah penting untuk menjaga kelancaran proses produksi dan meminimalkan produk cacat' (2) Pengaturan parameter mesin: Kecepatan mesin, tekanan punch, dan pengaturan die harus dikalibrasi secara berkala. Pengaturan yang tidak tepat dapat menyebabkan bentuk kepala paku yang tidak sempurna atau ujung paku yang tidak lancip secara simetris. Menurut Setiawan (2022), penerapan pendekatan FMEA pada proses pembentukan dingin dapat membantu mengidentifikasi potensi kegagalan proses, sehingga mutu produk dapat lebih terjaga. Oleh karenanya, pengaturan parameter mesin yang tepat menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas proses produksi; (3) Pelumasan: Penggunaan pelumas yang tepat pada proses *wire drawing* dan *cold heading* sangat penting untuk mengurangi gesekan, memperpanjang umur *die*, dan menjaga mutu permukaan produk. Pelumasan yang baik juga dapat mengurangi keausan komponen mesin, sehingga biaya perawatan dapat ditekan; dan perawatan mesin: Kondisi mesin yang prima menjadi syarat utama tercapainya kapasitas produksi yang optimal. Keausan komponen untuk *die*, *punch*, dan pisau pemotong harus dipantau secara rutin. perawatan yang dilakukan secara berkala dapat mengurangi risiko downtime dan menjaga kontinuitas produksi. Selain faktor-faktor tersebut, penandaan dan pengurangan langkah tidak nilai (*waste*) juga menjadi aspek penting dalam meningkatkan efisiensi proses produksi. Pengendalian waste yang baik dapat membantu mengurangi pemborosan waktu, bahan, dan biaya, sehingga produktivitas produksi dapat meningkat (Mayang *et al.* ., 2022). Hal tersebut menunjukkan bahwa upaya peningkatan efisiensi tidak hanya dilakukan melalui perbaikan teknis mesin, tetapi juga melalui pengelolaan proses produksi yang lebih efektif dan minim pemborosan.

Biaya produksi dan durasi proses produksi paku baja diameter 5 mm, panjang 50 mm sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi Biaya dan Waktu Produksi Paku Baja Diameter 5 mm, Panjang 50 mm

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Detik)
1	Desain paku diameter 5 mm dan panjang 50 mm	3.000	20
2	Penyiapan kawat baja karbon rendah, AISI 1020, diameter 5 mm berupa gulungan berdiameter gulungan 600 mm	8.000	60
3	Pelurusan gulungan kawat baja melalui cetakan (<i>die</i>)	5.000	50
4	Pemotongan ujung bentuk runcing menjadi panjang 50 mm	1.000	50
5	Pembentukan kepala paku (<i>haeding</i>) berdiameter kepala 8 mm dan tebal kepala 1,5 mm	3.000	90
6	Pelapisan dengan pencelupan ke dalam Seng cair (<i>hot dip galvanized</i>) pada temperatur 500°C selama 30 detik	3.000	50
7	Pemeriksaan mutu pada bentuk, kelurusan, dan dimensi	1.000	40
	Jumlah	24,000	360
	Pajak 10%	2.400	
	Laba 15%	3.600	
	Total/Harga jual/unit	30,000	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil produksi paku diameter 5 mm, panjang 50 mm yang tahan karat, ukurannya seragam dan standar dengan biaya produksi Rp 24.000,-/kg, durasi proses produksi 6 menit/kg yang berdampak dapat digunakan pada konstruksi, industri mebel, dan berbagai pekerjaan teknik sipil (kayu, plastik, komposit, pelat logam tipis, tembok).

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, F. & Tjahjanti, P. H. (2021). Analysis of Corrosion Resistant Steel Coating Using Hot Dip Galvanization. *Proceedings of the 1st Seminar Nasional Sains 2021, Mechanical Engineering*, 1(1), DOI:<https://doi.org/10.21070/pels.v1i1.846>
- Aized, T., Shahid, M., Mahmood, S., & Khan, A. (2020). Production System Performance Improvment Through Cycle Time Reduction. *Processes*, 8(12), 1623. <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/12/1623/pdf>
- Amanda, L. B. & Viklund, F. (2022). *The Influence of Drawing Speed on Steel Wire Surface Quality*. Tesis, Master of Science in Industrial Engineering and Management, Orebro University, Swedia.
- Amri, M. S., Kurniyanto, H. B., Suyono, Y. E., & Rohmat, I. K. (2022). Analisis Multiple Repair Pada Material Baja Karbon SA 333 Grade 6 dengan Proses GTAW terhadap Kekerasan, Ketangguhan, Dan Struktur Mikro. *Jurnal Invotek Polbeng*, 12(1), 15-22. <https://doi.org/10.35314/ip.v12i1.2309>
- Anonim (2025). *Cold Forming / Cold Heading Manufacturing Process*. The Federal Group USA. <https://www.tfgusa.com/capabilities/cold-forming/>
- Baygut, Ahmet. (2020). Investigation of the Cold Forging Operation Steps' Effect on Formability Characteristics. *Celal Bayar University Journal of Science*, 16(4), 2020, 437-443. Doi: 10.18466/cbayarfbe.833596

- Goyal, A., Jain, V., & Lyons, A. (2022). Sustainable Manufacturing through Systematic Reduction of Cycle Time. *Sustainability*, 14(24), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su142416473>
- Groover, M. P. (2021). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Hellweg, Fynn, Cacaj, Ardian, Haneke, Simon, & Albers, Albert. (2023). Method for Reference-Based Manufacturing Cost Estimation: Evaluation Study Using a Prototype. *Proceedings of the Design Society*, 3, 2625-2634. DOI:10.1017/pds.2023.263
- Jung, Jin Young, An, Kang Suk, Park, Pyeong Yeol, & Nam, Won Jong. (2020). Effects of Wire Drawing and Annealing Conditions on Torsional Ductility of Cold Drawn and Annealed Hyper-Eutectoid Steel Wires. *Metals*, 10(8), 1-11. <https://doi.org/10.3390/met10081043>
- Kisrane-Bouzidi, Ahmed, Zidani, Mosbah, Nebbar, Mohamed Cherif, Abid, Tarek, Helbert, Anne-Laure, Brisset, Francois, & Baudin, Thierry. (2020). Mechanical Properties and Texture Evolution of High-Carbon Steel Wires during Wire Drawing: Strand Manufacturing. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 49, 130-138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.49.130>
- Ning, Fangwei, Qu, Hongquan, Shi, Yan, Cai, Maolin, & Xu, Weiqing. (2022). Feature-Based and Process-Based Manufacturing Cost Estimation. *Machines*, 10(5), 1-20. <https://doi.org/10.3390/machines10050319>
- Anonim, (2023). Hot Dip Galvanizing and Corrosion Categories. Nordic Galvanizers. <https://nordicgalvanizers.com/wp-content/uploads/2023/05/Corrcat-rev-5-2023.pdf>
- Ridlo, Arnanda Ahmad, Priyana, Efta Dhartikasari, & Negoro, Yanuar Pandu. (2023). Analisis Kualitas Hasil Produksi Kawat Baja Single Wire di PT. XYZ dengan Menggunakan Metode FMEA. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII (1), 4438-4444. <https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/6028>
- Setiawan, D. (2022). Redesigning Cold Heading Dies with FMEA and DFM Approach. <https://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/opsi/article/view/7635>
- Smak, Martin, Konrad, Michal, Vavra, Pavel, Kolega. (2021). *The Influence of Hot-Dip Galvanizing on the Mechanical Properties of High-Strength Steels*. *Materials*, 14(18), 5405. <https://doi.org/10.3390/ma14185405>
- Taifa, I. W. R., & Vhora, T. N. (2019). Cycle Time Reduction for Productivity Improvement in the Manufacturing Industry. DOI:10.22116/jiems.2019.93495
- Mayang, V., Hartanti, L. P. S. & Mulyono, J. (2022). Identifikasi Waste pada Proses Produksi Paku Menggunakan Metode Waste Assessment Model. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(1), 1-8. DOI:<https://doi.org/10.20527/bpi.v5i1.122>
- Yang, Chih-Cheng, Liu, Chao-Hsien, Lin, Chun-Hao, & Chen, Ming-Jen. (2023). The Study of Multi-Stage Cold Forming Process for Steel Components. *Applied Sciences*. 13(10), 1-12. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6299>
- Zavdoveev, A., Baudin, T., Rogante, M., Pashinska, E., & Skoryk, M. (2020). *Shear Impact during Steel Wire Drawing on Grain Boundaries and Mechanical Properties*. *Letters of Materials*, 10(4s), 558-565. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2020-4-558-565>