



Manufaktur Kunci Pas-Kunci Ring M14mm Baja Tempa, Ukuran 200x6,5mm, Kapasitas 20 Biji/Jam

Balena Insan Faza¹, Syamsul Hadi^{2*}, Reynaldi Wahyu Ramadhan³, Azril Ihza Fahreza⁴, Emir Rashid Hibatullah⁵, Shoultan Rashid Alahuddin⁶

^{1,3-6}Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

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

Email: fasabalena@polinema.ac.id¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id², aldi.reynaldi0341@gmail.com³, azrilafz25@gmail.com⁴, emirrh2005@gmail.com⁵, rashidshoultan@gmail.com⁶

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. *The opening of the wrench opening for M14 bolts is broken in use as a problem encountered in field activities. The manufacturing objective is to obtain an M14 mm wrench-ring wrench from forged steel measuring 200x6.5 mm. The manufacturing method includes: wrench design on one end and ring wrench design on the other end for bolt size M14 mm, cutting sufficient volume of steel material after forging according to the design, wrench forging on one end and ring wrench forging on the other end for bolt size M14, Chromium plating; finishing of wrench gap and hexagon for ring wrench with a distance of 22 mm, and quality-dimension-standard inspection. The manufacturing results are in the form of a paired wrench with an M14 mm ring wrench made of forged steel coated with chromium measuring 200x6.5 mm with a total production cost of IDR 30,000/unit, and a process duration of 3 minutes/unit which has the impact that the paired wrench with a ring wrench for M14 mm bolts measuring 200x6.5 mm can be used for M14 bolts in general with an opening width of 22 mm for both ends as a wrench or ring wrench.*

Keywords: *AISI 1045 Steel; Combination Wrench; Forging; Manufacturing; Production Capacity.*

Abstrak. Patah terbukanya bukaan kunci pas untuk baut M14 dalam penggunaan sebagai permasalahan yang ditemui dalam kegiatan di lapangan. Tujuan manufaktur untuk memperoleh kunci pas-kunci ring M14 mm dari bahan baja hasil tempa berukuran 200x6,5 mm. Metode manufaktur meliputi: desain kunci pas pada satu ujungnya dan desain kunci ring pada ujung yang lainnya untuk ukuran baut M14 mm, pemotongan bahan baja yang volumenya mencukupi setelah ditempa sesuai dengan desain, penempaan kunci pas di satu ujungnya dan penempaan kunci ring di ujung lainnya untuk ukuran baut M14, pelapisan Kromium; finishing celah kunci pas dan segi enam untuk kunci ring berjarak 22 mm, dan pemeriksaan mutu-dimensi-standar. Hasil manufaktur berupa kunci pas berpasangan dengan kunci ring M14 mm dari bahan baja hasil tempa yang dilapis Kromium berukuran 200x6,5 mm dengan total biaya produksi Rp 30.000,-/unit, dan durasi proses 3 menit/unit yang berdampak bahwa kunci pas pasangan kunci ring untuk baut M14 mm berukuran 200x6,5 mm dapat digunakan untuk baut M14 umumnya dengan lebar bukaan 22 mm untuk kedua ujungnya sebagai kunci pas atau kunci ring.

Kata Kunci: Baja AISI 1045; Kapasitas Produksi; Kunci Kombinasi; Manufaktur; Penempaan.

1. LATAR BELAKANG

Manufaktur komponen perkakas manual berbahan logam, khususnya kunci pas atau kunci ring, dalam kenyataannya masih belum sepenuhnya didesain secara terintegrasi antara aspek bahan, proses pembentukan, dan kapasitas produksi yang dihasilkan. Kunci pas sebagai satu perkakas manual memiliki peranan penting dalam kegiatan industri maupun perbengkelan, sehingga dituntut memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap beban, dan dimensi yang presis, namun pada praktiknya desain manufaktur kunci pas seringkali belum memperhatikan keterkaitan antara pemilihan bahan, tahapan produksi, dan target

kapasitas produksi, sehingga diperlukan suatu penelitian untuk mengkaji manufaktur secara sistematis dan terukur.

Penempaan (*forging*) merupakan satu metode yang secara luas digunakan dalam pembuatan perkakas manual karena mampu menghasilkan produk dengan kekuatan yang lebih baik dibandingkan metode lainnya. Proses tersebut dilakukan dengan memberikan gaya tekan atau pukulan pada bahan logam dalam kondisi panas, sehingga terjadi deformasi plastis. Melalui proses tersebut, struktur butir bahan menjadi lebih rapat dan homogen, sehingga meningkatkan sifat mekanik produk. Selain hal tersebut, penempaan juga memiliki keunggulan dalam mengurangi kehilangan bahan selama pembentukan, sehingga lebih efisien dalam penggunaan bahan (Septiawan dkk., 2023). Produk-produk hasil penempaan banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, untuk alat pertanian, perkakas rumah tangga, hingga komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi (Krawczyk et al., 2023). Hubungan antara parameter *forging*, mikrostruktur, dan sifat mekanik menjadi faktor penting dalam menghasilkan produk tempa bermutu tinggi, termasuk pada manufaktur kunci pas yang menjadi objek penelitian tersebut. Oleh karenanya, penelitian tersebut difokuskan pada desain proses manufaktur kunci pas kunci ring M14 mm berbahan baja tempa dengan dimensi 200x6,5 mm dan target kapasitas produksi 20 biji/jam (Schino, 2021). Desain proses yang tepat diperlukan untuk mencapai target produksi 20 biji/jam secara efisien.

Meskipun memiliki beberapa keunggulan, penempaan yang dilakukan di industri kecil dan menengah masih menghadapi berbagai kendala. Satu permasalahan adalah penggunaan metode penempaan secara manual yang masih mengandalkan tenaga manusia yang tidak hanya membutuhkan tenaga kerja yang besar, tetapi juga memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan dan kontinuitas produksi. Kemampuan pekerja dalam melakukan pukulan secara berulang juga terbatas, sehingga kapasitas produksi menjadi lebih rendah dan tidak konsisten (Septiawan dkk., 2023). Selain faktor tenaga kerja, efisiensi *forging* juga dipengaruhi oleh karakteristik mesin dan distribusi energi selama proses deformasi bahan, Kondisi tersebut menjadi tantangan dalam memenuhi target produksi kunci pas-kunci ring M14 mm 20 biji/jam secara konsisten (Song dkk., 2024). Pemilihan mesin dan pemanfaatan energi yang efisien sangat penting untuk menjaga kestabilan kapasitas produksi 20 biji/jam.

Permasalahan lain yang sering muncul dalam manufaktur berbasis *forging* adalah terkait dengan pengendalian temperatur dan pendinginan. Proses tempa panas harus dilakukan pada temperatur diatas rekristalisasi agar bahan mudah dibentuk dan tidak mengalami pengerasan regangan, namun jika temperatur tidak terkontrol dengan baik, maka dapat menyebabkan cacat pada bahan. Selain hal tersebut, pendinginan yang tidak tepat dapat

mengakibatkan bahan menjadi getas dan rentan terhadap retak (Akbar dkk., 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa pengendalian parameter proses, untuk temperatur pemanasan dan media pendingin, sangat berpengaruh terhadap mutu produk akhir, Pada manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm, pengendalian temperatur *forging* dan pendinginan diperlukan untuk memperoleh kekuatan dan ketahanan aus yang sesuai dengan fungsi perkakas manual. Penelitian AISI 1045 menunjukkan bahwa perbedaan pendinginan merubah struktur mikro juga tingkat kekerasannya (Sugimoto, 2021). Pemilihan media pendingin yang tepat diperlukan untuk memperoleh kekerasan dan mutu kunci pas-kunci ring yang sesuai dengan kebutuhan penggunaan.

Dari penelitian terdahulu diperoleh hasil diantaranya bahwa penggunaan mesin tempa logam dengan sistem *forging hammer* mampu meningkatkan efisiensi produksi dan menghasilkan penempaan yang lebih cepat dan stabil dibandingkan metode manual (Septiawan et al., 2023). Mesin tempa dengan penggerak motor listrik memungkinkan penempaan dilakukan secara kontinyu, sehingga meningkatkan kapasitas produksi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia. Selain hal tersebut, penerapan mesin tempa mini semi otomatis pada industri pandai besi juga terbukti dapat meningkatkan produktivitas dan mutu produk yang dihasilkan, terutama dalam pembuatan perkakas manual dan produk logam lainnya (Akbar et al., 2021). Optimasi parameter operasi pada mesin *forging* juga terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menjaga mutu produk hasil penempaan, sistem *forging hammer* dipilih karena mampu mendukung pencapaian target produksi senilai 20 biji/jam pada proses pembuatan kunci pas-kunci ring (Song et al., 2024).

Penelitian lain menunjukkan bahwa perlakuan panas memiliki berfungsi meningkatkan sifat mekanik bahan, khususnya kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan baja AISI 1045 meningkat dari 91,00 HR_B menjadi 101,33 HR_B setelah dilakukan *quenching* menggunakan media air (Rahman et al., 2024). Hal tersebut menunjukkan bahwa laju pendinginan yang lebih cepat dapat meningkatkan kekerasan bahan secara signifikan (Akbar et al., 2021). Selain *hardening*, perlakuan *tempering* juga diperlukan untuk meeduksi tegangan sisa dan menaikkan ketangguhan bahan setelah proses pengerasan, Perlakuan panas tersebut diterapkan untuk meningkatkan kinerja mekanik kunci pas-kunci ring M14 mm agar mampu menahan beban torsi selama penggunaan. Selain manufaktur, pemilihan bahan merupakan faktor penting dalam pembuatan kunci pas-kunci ring M14 mm. Bahan yang dipakai harus mempunyai gabungan yang baik untuk kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus supaya bisa menahan beban puntir saat digunakan. Bahan AISI 1045 dipakai dalam penelitian tersebut karena tergolong *medium carbon steel* yang memiliki sifat mekanik

yang baik dan mudah diproses melalui *forging* dan *heat treatment*. Penelitian mengenai baja karbon menengah menunjukkan bahwa perlakuan termomekanik dan pembentukan struktur martensit dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan bahan terhadap deformasi plastis (Xu & Zhang, 2022). Selain hal tersebut, baja karbon tinggi juga sering digunakan karena memiliki tingginya kekuatan dan kekerasannya, walaupun rendah keuletannya daripada baja karbon rendah (Akbar et al., 2021). Bahan AISI 1045 sebagai baja karbon menengah sering dipakai untuk komponen mekanik karena baiknya perpaduan sifat keras, kuat, dan tahan aus dan dapat ditingkatkan sifat mekaniknya melalui proses *heat treatment* (Sugimoto, 2021). Baja AISI 1045 dipilih karena memiliki keseimbangan antara kekuatan, kekerasan, dan kemudahan perlakuan panas yang sesuai untuk pembuatan kunci pas-kunci ring.

Menurut Campi et al., (2020), waktu produksi dipengaruhi oleh waktu pemotongan bahan, pemanasan, *forging*, dan aktivitas bongkar-muat dan penyiapan mesin, sehingga seluruh tahapan tersebut perlu diperhitungkan dalam penentuan kapasitas produksi. Efisiensi waktu pada setiap tahap produksi sangat berpengaruh terhadap pencapaian target kapasitas manufaktur. Manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm berbahan baja tempa dengan ukuran 200x6,5 mm dan kapasitas produksi 20 biji/jam melalui analisis kebutuhan bahan, perhitungan gaya tempa, dan penentuan parameter proses yang sesuai untuk menghasilkan produk bermutu dan efisien dapat terlaksana.

2. KAJIAN TEORITIS

Penempaan adalah suatu perubahan bentuk logam kondisi plastis melalui gaya tekan padanya untuk memperoleh target bentuk dan dimensi (Ridwana et al., 2025). Penempaan yang memperhatikan dua faktor yaitu tegangan dan temperatur pada proses kerja yang dimana bisa di aplikasikan pada pembuatan kunci pas-kunci ring M14 mm karena secara teoritis teori tersebut menjelaskan faktor yang menjadi keunggulan struktural yang signifikan. Dengan melalui penempaan, struktur butir bahan akan menjadi lebih rapat dan searah dengan kontur benda kerja, sehingga meningkatkan sifat mekanik produk dibandingkan dengan pengerjaan panas lainnya (Chen et al., 2022). Besarnya gaya tempa dan kondisi pelumasan selama *forging* juga mempengaruhi deformasi bahan, mutu permukaan, dan tegangan sisa pada produk hasil tempa (Zhao et al., 2022). Pemanfaatan gaya tekan melalui pukulan mekanis menyebabkan deformasi plastis yang memaksa struktur butir logam menjadi lebih rapat dan searah dengan kontur produk. Hal tersebut selaras dengan data bahwa produk hasil tempa memiliki ketahanan beban yang lebih tinggi dibandingkan metode pengecoran karena minimnya porositas internal. Selain hal tersebut, efisiensi bahan dalam proses tersebut tercapai karena pembentukan

dilakukan mendekati bentuk akhir (*near net shape*), sehingga mengurangi volume bahan yang terbuang pada tahap penyelesaian. Selain menghasilkan struktur butir yang lebih baik, perkembangan teknologi *forging* saat ini juga didukung oleh penggunaan simulasi numerik dan optimasi parameter proses. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa hubungan antara parameter *forging*, evolusi struktur mikro, dan sifat mekanik sangat menentukan mutu produk hasil tempa. Pengendalian parameter proses yang tepat dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dan meningkatkan efisiensi manufaktur (Schino, 2021).

Menurut (Song et al., 2024), efisiensi proses *forging* dipengaruhi oleh karakteristik mesin, distribusi energi deformasi, dan parameter operasi yang digunakan selama proses pembentukan bahan. Pengendalian parameter tersebut dapat meningkatkan mutu produk sekaligus menekan kehilangan energi selama proses manufaktur. Pengendalian beban *forging* menjadi parameter penting karena mempengaruhi mutu produk dan efisiensi proses manufaktur (Zhao et al., 2022). Pada penelitian tersebut, *forging* digunakan untuk membentuk kunci pas-kunci ring M14 mm dari baja tempa berukuran akhir 200×6,5 mm. Proses tersebut dipilih karena mampu menghasilkan struktur butir yang lebih rapat, sehingga meningkatkan kekuatan kunci terhadap beban puntir saat digunakan untuk mengencangkan maupun mengendurkan baut M14.

Pemilihan bahan untuk alat manual harus mempertimbangkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik agar tidak terjadi kegagalan saat menerima beban puntir (torsi) (Xu & Zhang, 2022). Berdasarkan paparan oleh Xu & Zhang (2022) secara teoritis dapat diaplikasikan dalam penentuan bahan untuk kunci pas-kunci ring M14 mm, pemilihan baja dengan spesifikasi khusus menjadi faktor krusial. Penggunaan bahan untuk Chrome Vanadium atau baja karbon tinggi dipilih karena kemampuannya dalam menahan beban torsi tinggi tanpa mengalami kegagalan deformasi.

Desain kunci pas harus ergonomis namun tetap memperhatikan distribusi tegangan pada bagian rahang dan leher kunci agar tidak mudah patah atau bengkok (Xu & Zhang, 2022). Berdasarkan studi desain yang telah dipaparkan disebutkan bahwa dimensi kunci pas dengan panjang 200 mm dan tebal 6,5 mm memerlukan bahan yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang optimal agar tetap ergonomis dan kokoh. Berdasarkan hasil analisis bahan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa, baja AISI 1045 juga menjadi alternatif yang layak karena banyak digunakan pada komponen otomotif dan transmisi, sehingga memerlukan kekerasan dan ketahanan aus yang baik (Fhaizal & Sunyoto, 2025). Bahan AISI 1045 mempunyai *machinability* yang bagus dan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada kondisi hasil *forging* maupun normalisasi (Rajendran dkk., 2023; Sugimoto, 2021). Selain hal tersebut, bahan AISI

1045 sering dipakai pada komponen mekanik karena baiknya sifat kuat, keras, dan tahan aus dan dapat ditingkatkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas (Sukarno et al.,2025). Dalam penelitian tersebut dipilih baja AISI 1045 sebagai bahan kunci pas-kunci ring M14 mm karena baiknya gabungan sifat kuat, tangguh, dan tahan aus, juga baik mampu tempanya, sehingga cocok dipakai pada manufaktur berbasis *forging* dengan target kapasitas produksi 20 biji/jam.

Baja adalah senyawa Fe dan C yang kerap dicampurkan elemen lain guna memperoleh sifat bahan yang diinginkan (Chen et al.,2022). Dalam lingkup industri manufaktur, penggunaan baja menjadi bahan bermacam-macam produk industri konstruksi dan mesin, sebagai contoh aneka baja yang ada pada pasaran adalah baja AISI 1045. Baja dapat diperlakukan melalui perlakuan panas guna memperoleh sifat mekanik dari kebutuhan atau tujuan dari suatu produk. Pada manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm, *hardening* pada baja AISI 1045 dilakukan dengan memanaskan bahan hingga temperatur austenit, lalu dicelup cepat agar diperoleh struktur mikro martensit yang lebih keras daripada struktur awal berupa ferrit-perlit (Setiawan dkk., 2024). Perlakuan panas pada baja AISI 1045 juga mampu meningkatkan karakteristik mekanik melalui perubahan mikrostruktur yang terjadi selama proses pemanasan dan pendinginan terkontrol (Martins et al., 2026). *Hardening* dilakukan dengan memanaskan bahan hingga daerah austenit, lalu dicelup cepat untuk memperoleh struktur martensit yang keras sekali. Tingkat kekerasan sangat tergantung pada fluida pendingin yang dipakai saat *quenching* (Rahman et al.,2024; Sugimoto, 2021).

Variasi media pendingin dan laju pendinginan menghasilkan perubahan karakteristik struktur mikro dan tingkat kekerasan yang berbeda pada baja AISI 1045 (Vieira dkk., 2021). Pada permukaan baja diinginkan kekerasan tinggi dari gabungan ketangguhan di dalam komponen dengan perlakuan panas lanjutan guna memperoleh keuletan AISI 1045 dengan *tempering* antara 200°C dan 600°C (Chen et al.,2022). *Tempering* diperlukan untuk meningkatkan ketangguhan baja AISI 1045, sehingga kunci pas-kunci ring tidak hanya keras, tetapi juga lebih tahan terhadap beban dan benturan saat digunakan. Berdasarkan data hasil pengujian menunjukkan bahwa pengendalian temperatur selama penempaan dan perlakuan panas (*heat treatment*) menentukan mutu akhir kunci pas. Pemanasan pada temperatur austenit yang diikuti *quenching* ke dalam air terbukti meningkatkan kekerasan bahan secara drastis. Sebagai contoh, nilai kekerasan baja dapat meningkat hingga mencapai angka 101,33 HR_B setelah melalui fase tersebut (Rahman et al.,2024), namun laju pendinginan yang tepat sangat krusial, pendinginan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan timbulnya retak mikro pada bahan (Chen et al., 2022), jadi penekanan pentingnya akurasi durasi pencelupan, pendinginan yang terlalu ekstrem tanpa kontrol dapat memicu tegangan sisa yang berujung pada retak

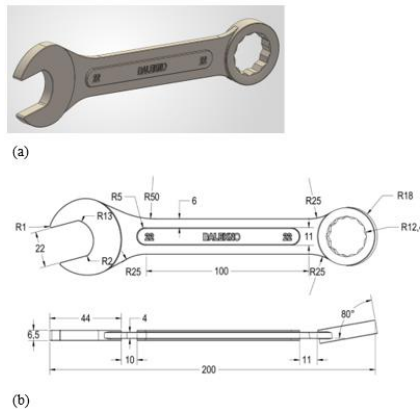
mikro, sehingga temperatur media pendingin harus dijaga pada rentang tertentu untuk menjaga keuletan produk. Selain *quenching*, perlakuan *tempering* juga diperlukan untuk mengurangi tegangan sisa akibat pendinginan cepat dan meningkatkan ketangguhan bahan tanpa mengurangi kekuatan secara signifikan.

Efisiensi produksi perusahaan sebagai optimalisasi sumber daya penghasil luaran maksimal dan masukan minimal berupa biaya, waktu, tenaga kerja, dan pemakaian bahan dan mesin. Dipandang produksi efisien bila kegiatan dapat menaikkan nilai tambah dan menghemat biaya. Tingginya efisiensi perusahaan manandai optimal produksinya yang berakibat kinerjanya naik dan daya saingnya unggul yang ditandai oleh produktivitas bergantung pada faktor operasional jam kerja dan pemanfaatan mesin produksinya (Putri et al.,2025). Selain faktor operasional, efisiensi proses forging juga dipengaruhi oleh distribusi energi deformasi, karakteristik mesin, dan parameter operasi yang digunakan selama proses pembentukan bahan (Song et al., 2024). Pengaturan parameter proses dan pemilihan mesin yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi produksi dan mutu hasil penempaan kunci pas-kunci ring.

Berdasarkan paparan hasil analisis efisiensi dan produktivitas manufaktur yang dilakukan oleh Putri et al., (2025) dapat disimpulkan bahwa penggunaan mesin tempa mekanis (*forging hammer*) adalah solusi agar proses produksi yang dilakukan pada kunci pas mencapai target kapasitas 20 biji/jam yang menjadikan satu faktor penting sebagai penentu efisiensi produksi. Analisis pada sistem produksi menunjukkan bahwa penggunaan mesin bertenaga motor listrik mampu menghilangkan hambatan *fatigue* (kelelahan) yang dialami tenaga kerja manual. Dengan kecepatan pukulan yang stabil dan kontinu, waktu siklus pembuatan satu unit kunci pas dapat ditekan secara signifikan. Optimasi parameter operasi pada mesin forging tidak hanya meningkatkan kapasitas produksi, tetapi juga membantu menjaga konsistensi mutu produk dan mengurangi kehilangan energi selama proses manufaktur (Song et al.,2024). Selain meningkatkan *luaran*/jam, mekanisasi tersebut juga menjamin konsistensi dimensi produk (presisi), yang merupakan syarat utama dalam standar alat teknik manufaktur.Pada akhirnya, integrasi teknologi mesin yang berefisien akan menciptakan keunggulan operasional melalui minimalisasi biaya/unit produk yang dihasilkan (Putri et al., 2025). Dalam penelitian tersebut target kapasitas produksi ditetapkan senilai 20 biji/jam. Oleh karenanya, penggunaan mesin *forging hammer* mekanis menjadi alternatif yang dipilih untuk menekan waktu siklus produksi hingga sekitar 3 menit/unit sekaligus menjaga konsistensi dimensi kunci pas-kunci ring M14 mm yang dihasilkan.

3. METODE PENELITIAN

Metode manufaktur kunci pas–kunci ring M14 mm yang fokus pada integrasi antara pemilihan bahan baku, teknik pembentukan, hingga sistem mekanisasi dapat mencapai target kapasitas produksi yang telah ditetapkan. Desain kunci pas-kunci ring M14 mm ukuran 200 × 6,5 mm sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Desain Kunci Pas-Kunci Ring M14 mm Ukuran 200 × 6,5 mm: (a) Isometris, dan Proyeksi.

Objek penelitian yang digunakan adalah kunci pas-kunci ring M14 mm berbahan baja tempa untuk panjang 200 mm dan tebal 6,5 mm. Produk didesain dalam memenuhi kebutuhan penggunaan pada baut dan mur ukuran M14 dan memiliki target kapasitas produksi senilai 20 biji/jam. Model produk dibuat menggunakan perangkat lunak CAD sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Prosedur manufaktur mencakup beberapa tahapan sistematis sebagai berikut: (1) Karakterisasi bahan: melakukan analisis pemilihan bahan baja karbon menengah AISI 1045 sebagai bahan baku kunci pas-kunci ring M14 mm berdasarkan sifat kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan kemampuan tempa yang diperlukan pada proses manufaktur, (2) Analisis Penempaan (*Forging*): mengkaji penempaan panas (*hot forging*) untuk membentuk profil kunci pas–kunci ring M14 mm, sehingga diperoleh dimensi produk yang sesuai dan struktur mikro yang lebih homogen, (3) Optimasi Perlakuan Panas (*Heat Treatment*): menentukan parameter perlakuan panas berupa quenching dan tempering guna meningkatkan kekerasan dan ketangguhan kunci pas–kunci ring, sehingga mampu menahan beban puntir selama penggunaan, dan (4) Evaluasi Mekanisasi Produksi: evaluasi penggunaan mesin *forging hammer* mekanis dalam proses produksi untuk mencapai target kapasitas 20 biji/jam dengan mutu produk yang konsisten. Data manufaktur parameter proses dan pengujian mutu produk akhir. Parameter yang diukur meliputi: (1) kekerasan mekanik: Pengukuran kekerasan bahan dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh proses forging dan perlakuan panas terhadap mutu

kunci pas–kunci ring M14 mm, (2) kapasitas luaran: Penghitungan jumlah produk yang dihasilkan/jam berdasarkan waktu siklus produksi untuk memastikan target kapasitas 20 biji/jam dapat tercapai, (3) mutu fisik: Pemeriksaan dimensi produk, kesesuaian bentuk hasil forging, dan identifikasi cacat untuk retak mikro, deformasi berlebih, dan cacat permukaan pada kunci pas–kunci ring yang dihasilkan, dan (4) waktu siklus produksi: pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu produk kunci pas–kunci ring mulai dari pemanasan bahan *forging*, *finishing*, hingga produk siap digunakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penempaan panas pada manufaktur kunci pas–kunci ring M14 mm berbahan baja AISI 1045 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap mutu produk yang dihasilkan. Deformasi plastis yang terjadi selama proses forging mampu menghasilkan struktur butir yang lebih rapat, sehingga meningkatkan kekuatan dan ketahanan produk terhadap beban puntir. Teknik tersebut dilakukan dengan memanaskan bahan hingga temperatur rekristalisasi, lalu diberikan tekanan atau pukulan, sehingga deformasi palstis pada bahan tersebut. Deformasi tersebut mengubah struktur mikro bahan, membuat butiran yang terarah tersebut berkontribusi dalam meningkatkan sifat mekanik, terutama daya tarik dan ketahanan pada beban torsi yang merupakan karakteristik utama dalam aplikasi kunci pas. Selain hal tersebut, teknik penempaan juga terbukti dapat mengurangi cacat internal untuk berkurangnya cacat internal tersebut, produk yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dan masa pakai yang lebih panjang.

Oleh karenanya, penempaan menjadi cara yang sangat efektif untuk menciptakan alat manual dengan mutu tinggi dan kinerja yang optimal dalam berbagai situasi kerja. Dari sudut pandang bahan, penelitian tersebut mengungkapkan bahwa pemilihan jenis baja punya dampak besar terhadap keinerja dan ketahanan kunci pas. Baja AISI 1045 dipilih sebagai bahan utama dalam manufaktur kunci pas–kunci ring M14 mm karena memiliki kombinasi kekuatan, kekerasan, ketangguhan, dan kemampuan tempa yang baik. bahan tersebut juga mudah ditingkatkan sifat mekaniknya melalui proses quenching dan tempering. bahan tersebut dapat menahan tekanan puntir yang tinggi tanpa mengalami deformasi yang permanen, menjadikannya ideal untuk digunakan dalam alat manual. Disamping hal tersebut, bahan tersebut menunjukkan kemampuan tempa yang baik, memudahkan dalam proses pembentukan tanpa menghasilkan cacat yang signifikan. Memilih bahan dengan bijak juga mendukung efisiensi produksi, karena dapat mengurangi risiko kegagalan saat proses manufaktur berlangsung. Sebaliknya penggunaan bahan yang tidak sesuai dapat menimbulkan beragam

masalah untuk retakan, patahan, atau keausan yang lebih cepat, yang pada akhirnya akan menurunkan mutu produk secara keseluruhan. Jadi, analisis dan pemilihan bahan harus dipandang sebagai langkah yang sangat krusial dalam desain proses manufaktur yang paling efisien.

Pada fase perlakuan panas, penelitian menunjukkan bahwa mode *quenching* memberikan peningkatan kekerasan bahan yang cukup signifikan. Metode tersebut dilakukan dengan memanaskan bahan sampai mencapai fase austenit, lalu mendinginkannya secara cepat menggunakan media untuk air. Pendinginan yang cepat tersebut menyebabkan perubahan pada struktur mikro menjadi lebih keras, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan deformasi, namun, penelitian juga menekankan bahwa proses *quenching* harus dilakukan dengan pengawasan yang ketat karena berpotensi menimbulkan cacat untuk retakan mikro dan tegangan sisa jika tidak dilaksanakan dengan baik. Aspek untuk pemanasan, durasi penahanan, dan laju pendinginan harus dicermati agar mencapai hasil maksimal. Untuk meminimalkan efek kerapuhan yang diakibatkan oleh *quenching*, biasanya dilakukan *tempering* sebagai langkah lanjutan yang bertujuan untuk meningkatkan keuletan bahan. Dengan kombinasi yang tepat antara *quenching* dan *tempering*, bahan dapat mencapai keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan, sehingga mampu memenuhi kebutuhan secara optimal.

Dari segi produksi, penerapan mesin tempa mekanis memberikan lonjakan efisiensi yang sangat berarti jika dibandingkan dengan cara manual. Mesin tempa yang dioperasikan dengan motor listrik mampu melakukan pukulan dengan tenaga yang stabil, dangam, dan berulang dalam waktu yang singkat. Hal tersebut memungkinkan proses produksi berlangsung lebih cepat dan menghasilkan barang dengan mutu yang konsisten. Selain hal tersebut, penggunaan mesin mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual yang memiliki batasan dalam hal kekuatan dan konsistensi kerja. Dengan adanya otomatisasi, waktu siklus produksi dapat dipersingkat yang mengarah pada peningkatan kapasitas secara signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan waktu siklus senilai 3 menit/unit, target kapasitas produksi 20 biji/jam dapat dicapai dengan penggunaan mesin *forging hammer* mekanis yang mampu bekerja secara kontinu dan menghasilkan mutu produk yang seragam. Selain meningkatkan luaran, pemanfaatan mesin juga berperan dalam meningkatkan keselamatan kerja karena mengurangi kemungkinan cedera akibat pekerjaan manual yang berat dan berulang. Oleh karenanya, mekanisasi merupakan satu elemen kunci dalam meningkatkan efisiensi dan mutu produksi di sektor manufaktur.

Selain aspek teknis, efisiensi dalam produksi juga dipengaruhi oleh pengelolaan keseluruhan sistem produksi, untuk pengaturan alur kerja, pemanfaatan bahan, dan pengelolaan waktu dalam produksi. Penelitian menunjukkan bahwa perencanaan proses yang baik dapat mengurangi waktu yang terlewat antara proses dan meningkatkan pemakaian mesin dan tenaga kerja. Kolaborasi yang baik antara mesin, operator, dan sistem kerja yang terstruktur dengan baik diperoleh efektivitas dan efisiensi produksi yang lebih. Selain hal tersebut, pengawasan mutu di setiap langkah produksi juga mempunyai peran crucial dalam memastikan produk yang dihasilkan memenuhi standar yang ditetapkan. Dengan adanya sistem pengendalian mutu yang *solid*, produk cacat dapat diminimalkan, sehingga mengurangi limbah bahan dan waktu. Hal tersebut secara langsung mempengaruhi penurunan biaya produksi dan peningkatan daya saing produk di pasar. Oleh karena itu, pendekatan yang terstruktur dalam pengelolaan produksi menjadi sangat penting untuk mencapai efisiensi yang maksimal.

Hasil studi juga mengindikasikan bahwa hubungan antara faktor-faktor proses untuk temperatur, tekanan, dan durasi memiliki dampak yang rumit terhadap mutu produk yang dihasilkan. Penyimpangan kecil dalam elemen-elemen tersebut dapat menghasilkan pergeseran signifikan pada struktur mikro dan karakteristik mekanis dari bahan. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan kontrol proses yang akurat dan kontinyu guna mempertahankan mutu produk. Menggunakan instrumen pengukur dan sistem pemantauan yang tepat dapat membantu dalam mengawasi elemen proses secara langsung. Selain hal tersebut, pelatihan bagi operator juga berperan penting dalam memastikan bahwa proses produksi diikuti sesuai prosedur yang ditentukan.

Dengan cara tersebut, perpaduan antara teknologi, sistem pengendalian, dan sumber daya manusia menjadi aspek krusial dalam mempertahankan kestabilan produksi. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan dalam proses manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm sangat dipengaruhi oleh keterkaitan antara proses penempaan (*forging*), pemilihan bahan baja AISI 1045, perlakuan panas, dan sistem produksi yang digunakan. Keempat elemen tersebut berhubungan erat dan harus didesain secara bersama-sama untuk menciptakan produk yang optimal. Mutu produk yang lebih baik bukan hanya dipengaruhi oleh satu faktor, melainkan bersumber dari semua unsur terkait. Selain hal tersebut, tingginya efisiensi produksi juga merupakan aspek tambahan yang krusial dalam meningkatkan daya saing industri manufaktur. Dengan begitu, penerapan teknologi yang tepat, pengendalian proses yang efektif, dan pemilihan bahan yang sesuai menjadi hal utama dalam memproduksi barang bermutu tinggi. Pendekatan terintegrasi tersebut diharapkan dapat menjadi pedoman untuk pengembangan proses pembuatan alat manual di masa depan, sehingga mampu

memenuhi permintaan akan mutu dan produktivitas yang semakin meningkat. Untuk memenuhi target produksi senilai 20 buah kunci pas/jam, perlu dihitung waktu siklus (*cycle time*) yang tersedia bagi setiap unit produk. Waktu siklus diperoleh dari pembagian total waktu produksi/jam terhadap jumlah unit yang harus dihasilkan yang dihitung dengan Rumus (1).

CT = Waktu Tersedia/Target Produksi, Diketahui: Target produksi = 20 buah/Jam, Waktu tersedia = 60 menit/Jam, Rumus siklus waktu: $CT = \frac{Waktu\ Tersedia}{Target\ Produksi}$(i)

$$CT = \frac{60\ Menit}{20\ buah} = 3\ Menit/Unit.....(ii)$$

Setiap satu buah kunci pas harus selesai diproduksi dalam waktu paling lama 3 menit. Seluruh tahapan proses mulai dari *forging*, *trimming*, *finishing*, hingga inspeksi akhir harus mampu diselesaikan di dalam rentang waktu tersebut agar target kapasitas 20 biji/jam dapat tercapai secara konsisten. Angka tersebut menjadi acuan penting dalam pengaturan kecepatan mesin tempa mekanis dan penjadwalan alur kerja di lantai produksi.

Sebelum menentukan total kebutuhan bahan baku, terlebih dahulu dihitung volume dan massa dari satu buah kunci pas berdasarkan dimensi yang telah ditetapkan yang dihitung dengan Rumus (2).

$$V = p \times l \times t.....(iii)$$

Dimensi kunci pas: Panjang (p) = 200 mm, Lebar (l) = 25 mm, Tebal (t) = 6,5 mm Perhitungan volume benda: $V = p \times l \times t$, $V = 200 \times 25 \times 6,5 = 32500\ mm^3 = 32,5\ cm^3$. Dengan massa jenis baja AISI 1045 senilai $\rho = 7,85\ g/cm^3$, massa satu buah kunci pas dihitung dengan Rumus (3).

$$M = \rho \times V.....(iv)$$

Sebagai berikut: $m = \rho \times V$, $m = 7,85g/cm^3 \times 32,5\ cm^3$, $m = 255,125\ g = 0,255\ kg$. Jadi massa satu produk adalah: $m = 255,125\ g = 0,255\ kg$. Dalam praktik produksi, dapat ditambahkan *allowance* 10-15% untuk proses *trimming* dan *finishing*, sehingga kebutuhan bahan baku awal/unit antara 0,28 dan 0,29 kg.

Berdasarkan massa satu produk yang telah diperoleh, total kebutuhan bahan baja AISI 1045 untuk memenuhi target produksi 20 buah/jam dihitung dengan Rumus (4).

$$M = Jumlah\ Produk/Jam \times Massa/Produk.....(v)$$

$M = Jumlah\ Produk/Jam \times Massa/Produk$, $M = 20\ buah \times 0,255\ kg = 5,10\ kg/Jam$. Jadi kebutuhan bahan baja AISI 1045 menjadi: $M = 5,10\ kg/jam$. Dengan demikian, kebutuhan bahan baku baja AISI 1045 yang harus tersedia di lini produksi Adalah sekitar 5,10 kg/jam. Angka tersebut menjadi dasar dalam perencanaan pengadaan bahan, pengelolaan stok gudang, dan penjadwalan pengiriman bahan baku agar proses produksi dapat berjalan tanpa terputus.

Untuk memastikan mesin tempa yang digunakan mampu membentuk bahan secara optimal, perlu dilakukan estimasi gaya tempa minimum yang dibutuhkan. Gaya tempa dihitung berdasarkan hubungan antara tegangan alir bahan pada kondisi panas dan luas penampang efektif benda kerja dengan Rumus (5) (Beer dkk., 2021).

$$F = \sigma_f \times A \dots \dots \dots (vi)$$

Diketahui: Tegangan alir bahan panas (σ_f) = 70 MPa (baja AISI 1045 pada temperatur tempa). Luas penampang efektif (A) = 250 mm. Dengan menggunakan rumus pada nomor 5 maka bisa dapat di dapatkan nilai gaya tempa minimum: $F = 70 \text{ N/mm}^2 \times 250 \text{ mm}^2 = 17500 \text{ N} = 17,5 \text{ kN}$.

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan gaya tempa minimum senilai 17,5 kN. Nilai tersebut menunjukkan bahwa manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm dapat dilakukan menggunakan mesin *forging hammer* berkapasitas 15-35 kN, sehingga tersedia faktor keamanan yang memadai selama proses pembentukan berlangsung. Nilai gaya tersebut juga mendukung tercapainya target kapasitas produksi senilai 20 biji/jam dengan mutu produk yang konsisten. Hasil perhitungan manufaktur kunci pas-kunci ring sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Manufaktur Kunci Pas-Kunci Ring.

Parameter	Nilai	Satuan
Waktu siklus produksi (CT)	3	Menit/Unit
Volume benda kerja (V)	32500 (32,5)	mm ³ (cm ³)
Massa/produk (m)	255,125 (0,255)	g (kg)
Kebutuhan bahan/Jam (M)	5,10	kg/Jam
Estimasi gaya tempa minimum (F)	17500 = 17,5	N (kN)

Berdasarkan hasil perhitungan gaya tempa senilai 30 kN dan kebutuhan bahan senilai 5,10 kg/jam, proses penempaan panas pada baja AISI 1045 mampu menghasilkan kunci pas–kunci ring M14 mm dengan dimensi 200 × 6,5 mm yang memenuhi target kapasitas produksi 20 biji/jam. Struktur butir yang terbentuk selama proses *forging* meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap beban torsi yang bekerja pada rahang kunci. Estimasi biaya dan waktu manufaktur kunci pas-kunci ring M14 mm baja tempa, ukuran 200x6,5 mm sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi Biaya dan Waktu Manufaktur Kunci Pas-Kunci Ring M14 mm Baja Tempa, Ukuran 200x6,5 mm.

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Detik)
1	Desain desain kunci pas pada satu ujung dan kunci ring pada ujung lainnya untuk baut M14 mm; pemotongan	4.000	20
2	Pemotongan bahan baku sesuai kebutuhan volume produk	3.000	20
3	Penempaan (<i>forging</i>) pada kedua ujung untuk membentuk profil kunci pas dan kunci ring	10.000	70
4	Pelapisan Kromium	5.000	30

5	Finishing pada bagian bukaan kunci pas dan segi enam kunci ring dengan ukuran 22 mm	6.000	20
6	Pemeriksaan mutu-dimensi-standar	2.000	20
	Jumlah	30.000	180
	Pajak 10%	2.500	
	Laba 15%	3.750	
	Total/Harga jual/unit	31.250	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil manufaktur kunci pas berpasangan dengan kunci ring M14 mm dari bahan baja hasil tempa yang dilapis Kromium berukuran 200x6,5 mm dengan total biaya produksi Rp 30.000,-/unit, dan durasi proses 3 menit/unit yang berdampak bahwa kunci pas pasangan kunci ring untuk baut M14 mm berukuran 200x6,5 mm dapat digunakan untuk baut M14 umumnya dengan lebar bukaan 22 mm untuk kedua ujungnya sebagai kunci pas atau kunci ring. Saran tindak lanjut atas simpulan adalah lapisan lebih baik lagi jika dilapis dengan Kromium-Vanadium,

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, N., Andrijono, D., & Mardjuki. (2021). Variasi media pendinginan terhadap kekerasan material logam hasil tempa tempa panas pandai besi. *Journal of Transmisi Universitas Merdeka Malang*, 13(1), 145–156. <https://doi.org/10.26905/jtmt.v13i1.2004>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Jr., DeWolf, J. T., & Maruzek, D. F. (2021). *Mechanics of materials* (6th ed.). McGraw-Hill Education. <https://dl.icdst.org/pdfs/files3/2da7c6222d8d17ac4fbb8f36a401dda2.pdf>
- Campi, F., Mandolini, M., Favi, C., Checcacci, E., & Germani, M. (2020). An analytical cost estimation model for the design of axisymmetric components with open-die forging technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 110, 1869–1892. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05948-w>
- Chen, X., Wu, B., Li, J., Zhang, X., Zuo, P., Wu, X., & Li, J. (2022). Microstructural evolution in large-section plastic mould steel during multi-directional forging. *Metals*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/met12071175>
- Fhaizal, M. A., & Sunyoto, S. (2025). Efek perbedaan media quenching pada sifat mekanik baja karbon AISI 1045. *Techno-Socio Ekonomika*, 18(2), 200–210. <https://doi.org/10.32897/techno.2025.18.2.4568>
- Krawczyk, J., Łukaszek-Sołek, A., Śleboda, T., Lisiecki, Ł., Bembenek, M., Cieślak, J., Góral, T., & Pawlik, J. (2023). Tool wear issues in hot forging of steel. *Materials*, 16(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ma16020471>
- Martins, C. O. D., Costa Junior, J. C. B., Biehl, L. V., & Medeiros, J. L. B. (2026). Applying nondestructive ultrasonic technique in the metrological control of heat treatment of AISI 1045 steels. *Metrology*, 6(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/metrology6010015>
- Putri, N. A., Hakiki, R., Purwadi, J., & Budiarmo. (2025). Analisis efisiensi proses produksi dalam meningkatkan produktivitas perusahaan manufaktur. *Jurnal Sains dan*

- Rahman, Arif, Z., Suheri, & Widodo, S. B. (2024). Innovative Jominy test equipment for evaluating the hardening of AISI 1045 steel. *Jurutera: Jurnal Umum Teknik Terapan*, 11(2), 100–107. <https://doi.org/10.55377/jurutera.v11i02.10937>
- Rajendran, N., Yurgel, C. C., Misiolek, W. Z., & Alves de Sousa, R. (2023). Hot forging die design optimization using FEM analysis for near-net forming of 18CrNiMo7-6 steel pinion shaft. *Metals*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/met13040815>
- Ridwana, I. R., Fakhurriza, Sadewa, B. A., Sari, R. A. P., Arridwan, Z., & Hastuti, S. (2025). Tinjauan literatur: Penyempurnaan proses penempaan logam dengan analisis tegangan dan temperatur. *Jurnal Ilmiah Nusantara*, 3(1), 344–354. <https://doi.org/10.61722/jinu.v3i1.7591>
- Schino, A. D. (2021). Mechanical properties and microstructure of forged steels. *Metals*, 11(8), 1–2. <https://doi.org/10.3390/met11081177>
- Septiawan, A., Mukhnizar, M., & Zulkarnain, Z. (2023). Pembuatan mesin tempa logam dengan system forging hammer. *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi dan Sains*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.56248/marostek.v2i1.41>
- Setiawan, H., Ruskandi, C., & Latif, A. (2024). Study of hardening process of AISI 1045 steel material with variation of heating temperature, media, and cooling media volume for shaft application. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(3), 560–567. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i3.20957>
- Song, H., Durand, C., Baudouin, C., & Bigot, R. (2024). Dynamic modelling and efficiency prediction for forging operations under a screw press. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(1–2), 645–656. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14145-y>
- Sugimoto, K. I. (2021). Recent progress of low and medium-carbon advanced martensitic steels. *Metals*, 11(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/met11040652>
- Sukarno, N. A., Azis, A., Budianti, S. I., & Sampurno, C. B. K. (2025). Pengaruh proses quenching dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1045. *Perwira Journal of Science & Engineering*, 5(1), 140–144. <https://doi.org/10.54199/pjse.v5i1.493>
- Vieira, E. da R., Biehl, L. V., Medeiros, J. L. B., Costa, V. M., & Macedo, R. J. (2021). Evaluation of the characteristics of an AISI 1045 steel quenched in different concentration of polymer solutions of polyvinylpyrrolidone. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79060-0>
- Xu, W., & Zhang, J. (2022). Investigation of through-thickness residual stress, microstructure and texture in radial forged high-strength alloy steel tubes. *Metals*, 12(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/met12040622>
- Zhao, Y., Zheng, J., Chen, L., & Liu, X. (2022). Static recrystallization behavior of low-carbon Nb-V-microalloyed forging steel. *Metals*, 12(10), 1–10. <https://doi.org/10.3390/met12101745>