



Al Jazari Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Journal homepage:
<https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/IJR/index>
p-ISSN 2502-4922, e-ISSN 2615-0867



Pengembangan Sistem Pencekaman *Milling Toolboy* untuk Meningkatkan Stabilitas *Arbor* BT40 pada Rotasi 180°

Albertus Yustinus Novi Misgi Prabowo Adi^{a*}, Yohanes Oscar Andrian^b, Suyanto^c, FX Ristiawan Tri Saputro^d, Gabriel Yuvicko Eda Setyawan^e

^{a,b,c,d,e} Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta

^a novi.misgi@atmi.ac.id, ^b oscar.andrian@atmi.ac.id, ^c suyanto@atmi.ac.id, ^d tri.saputro@atmi.ac.id,

^e gabriel.20221036@student.atmi.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 16 Maret 2026

Diterima dalam bentuk revisi: 4 Mei 2026

Diterima/publis: 8 Mei 2026

Abstrak

Milling toolboy merupakan alat bantu untuk menahan *arbor* saat proses pemasangan dan pelepasan alat potong serta *pull stud*. Pada kondisi eksisting di Bengkel WAD Politeknik ATMI Surakarta, sistem pencekaman berbasis pegas tidak mampu mempertahankan *arbor* BT40 pada posisi rotasi 180°, terutama untuk massa di atas 2,5 kg, sehingga berpotensi menyebabkan *arbor* terlepas dan membahayakan operator. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pencekaman *milling toolboy* dengan mengganti mekanisme pegas menjadi sistem ulir berbasis baut M10 yang dilengkapi *guide pin*. Metode penelitian meliputi analisis teoritis gaya berat *arbor*, gaya pegas, gaya aksial baut, serta perhitungan faktor keamanan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian fungsional pada variasi massa *arbor* 2 kg hingga 3,5 kg. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pegas hanya menghasilkan gaya 16 N dengan faktor keamanan 0,47, sedangkan sistem ulir menghasilkan gaya aksial 2500 N dengan faktor keamanan 72,8. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem lama tidak mampu menahan *arbor* pada massa di atas 2,5 kg, sementara sistem baru mampu mempertahankan seluruh variasi massa secara stabil pada posisi 180°. Meskipun waktu pengoperasian sedikit lebih lama, sistem baru memberikan peningkatan signifikan pada aspek keselamatan dan keandalan. Pengembangan ini terbukti meningkatkan fungsi dan stabilitas *milling toolboy* dalam kondisi kerja aktual.

Kata Kunci

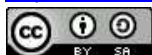
Milling Toolboy, Sistem

Pencekaman, Stabilitas *Arbor*

Abstract

Milling toolboy is a supporting device used to hold an *arbor* during cutter and *pull stud* installation and removal. In the existing condition at the WAD Workshop of Politeknik ATMI Surakarta, the spring-based clamping system was unable to maintain the stability of a BT40 *arbor* at a 180° rotation position, particularly for masses above 2.5 kg, posing potential safety risks. This study aims to develop an improved clamping system by replacing the spring mechanism with a threaded M10 bolt system equipped with a guide pin. The research method includes theoretical analysis of *arbor* weight, spring force, bolt axial force, and safety factor calculation, followed by functional testing using *arbor* masses ranging from 2 kg to 3.5 kg. The results show the spring-based system generated a maximum clamping force of 16 N with a safety factor of 0.47, while the threaded system produced 2500 N with a safety factor of 72.8. Functional testing indicates that the old system failed to hold the *arbor* above 2.5 kg, whereas the new system maintained full stability at 180° for all tested masses. Although the threaded system required slightly longer operation time, it significantly improved safety and reliability. The development successfully enhances the functional performance and stability of the *milling toolboy* under actual workshop conditions.

<http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v11.i1.23020>



@UNISKA 2026. Diterbitkan oleh UPT Publikasi dan Pengelolaan Jurnal

Jurnal Al Jazari is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Milling toolboy merupakan alat bantu penahan yang digunakan untuk menjaga posisi dan kestabilan

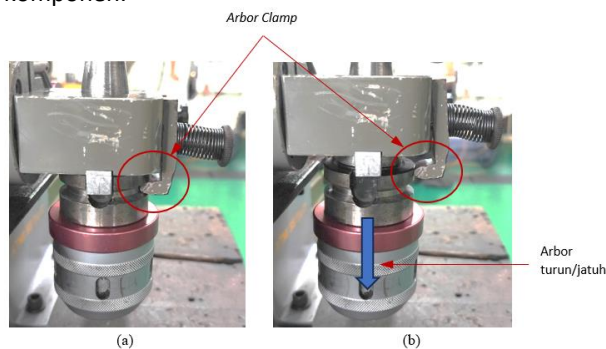
arbor selama proses pemasangan dan pelepasan alat potong maupun *pull stud* pada mesin frais. *Arbor* pada mesin frais berfungsi sebagai pemegang alat potong

yang mentransmisikan putaran dari *spindle* ke *cutter*, sehingga selama proses perakitan atau pembongkaran diperlukan sistem penopang yang mampu menahan beban *arbor* secara aman dan stabil (Aulia dkk., 2023).

Dalam praktik manufaktur, penggunaan alat bantu pencekaman atau *fixture* bertujuan untuk meningkatkan kestabilan komponen, mengurangi beban manual operator, serta meningkatkan aspek ergonomi dan keselamatan kerja (Setiawan dkk., 2023).

Di Bengkel WAD Politeknik ATMI Surakarta, *arbor* yang digunakan adalah tipe BT40. Pada kondisi eksisting, sistem pencekaman *milling toolboy* menggunakan mekanisme pegas sebagai sumber gaya utama untuk menahan *arbor*. Pada saat pemasangan atau pelepasan *pull stud*, posisi *arbor* harus diputar hingga 180° sehingga *pull stud* berada di bagian atas. Pada posisi tersebut, sistem pencekaman harus mampu menahan beban *arbor* terhadap gaya gravitasi agar tetap stabil.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, sistem pencekaman berbasis pegas tidak mampu menghasilkan gaya cekam yang cukup untuk menahan *arbor*, terutama pada *arbor* dengan massa lebih dari 2,5 kg. Selain itu, ketiadaan mekanisme pembatas gerak (*guide pin*) menyebabkan komponen pencekam berpotensi mengalami kemiringan akibat momen eksentris dari beban, sehingga *arbor* berpotensi terlepas dan jatuh seperti ditunjukkan Gambar 1. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kenyamanan kerja, tetapi juga berisiko terhadap keselamatan operator dan kerusakan komponen.



Gambar 1. Kondisi *arbor* pada *milling toolboy*: (a) kondisi ideal; (b) kondisi gagal

Sumber: Koleksi Pribadi

Secara teoritis, peningkatan kekakuan pegas dapat meningkatkan gaya cekam hingga memenuhi syarat faktor keamanan minimum. Namun, sistem pegas memiliki keterbatasan dalam pengendalian gaya, sensitif terhadap variasi defleksi, serta tidak mampu mengatasi potensi kemiringan akibat momen eksentris karena tidak dilengkapi *guide pin*. Peningkatan kekakuan pegas juga berdampak pada meningkatnya gaya operasi yang dapat mengurangi kenyamanan penggunaan (Pratama & Fitri, 2020).

Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan pengembangan sistem pencekaman dengan mengganti mekanisme pegas menjadi mekanisme ulir sebagai

penghasil gaya aksial. Dalam elemen mesin, mekanisme ulir diketahui mampu mengubah torsi pengencangan menjadi gaya aksial melalui prinsip konversi momen puntir menjadi gaya linear sepanjang sumbu baut (Zhang dkk., 2020). Besarnya gaya aksial yang dihasilkan bergantung pada nilai torsi dan diameter nominal baut, sehingga memungkinkan pengaturan gaya pencekaman secara lebih terkontrol dibandingkan sistem pegas yang bergantung langsung pada konstanta pegas dan besar defleksi sesuai hukum Hooke (Aditya dkk., 2024). Selain itu, penambahan *guide pin* dilakukan untuk membatasi gerakan komponen pencekam agar tetap linear dan mencegah terjadinya kemiringan akibat momen eksentris pada saat menerima beban.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas gaya sistem pencekaman *milling toolboy* lama, merancang sistem pencekaman baru berbasis ulir dan *guide pin*, serta mengevaluasi peningkatan stabilitas *arbor* BT40 bermassa 3,5 kg pada posisi rotasi 180° melalui pendekatan analisis teoritis dan pengujian fungsional.

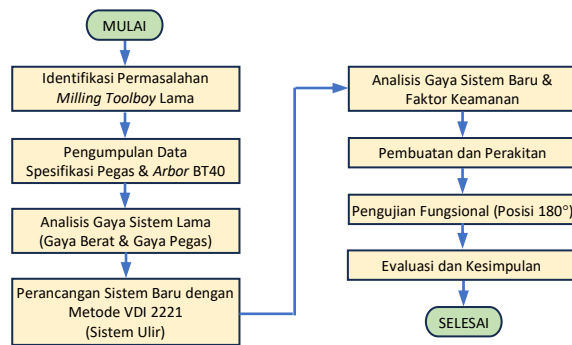
METODE PENELITIAN

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sistem pencekaman pada *milling toolboy* yang digunakan di Bengkel WAD Politeknik ATMI Surakarta untuk menahan *arbor* BT40. *Milling toolboy* berfungsi sebagai alat bantu dalam proses pemasangan dan pelepasan alat potong serta *pull stud*. Sistem pencekaman yang diteliti terdiri atas dua konfigurasi, yaitu sistem lama berbasis pegas dan sistem hasil pengembangan berbasis mekanisme ulir menggunakan baut M10 yang dilengkapi dengan *guide pin*. *Arbor* yang digunakan dalam analisis memiliki massa 3,5 kg, yang ditetapkan sebagai beban kerja maksimum dalam evaluasi kestabilan pada posisi rotasi 180°. Fokus penelitian ini adalah membandingkan kapasitas gaya dan stabilitas kedua sistem pencekaman dalam menahan beban statis *arbor*.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sesuai diagram alir seperti pada Gambar 2.



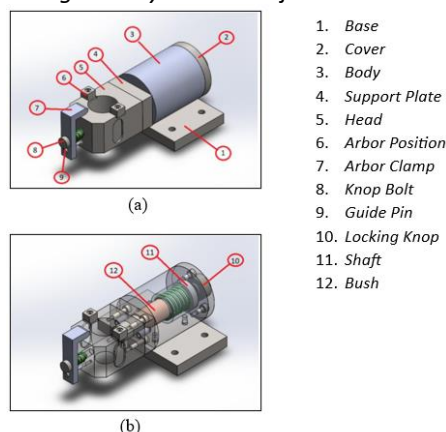
Gambar 2. Diagram alir penelitian pengembangan sistem pencekaman *milling toolboy*
Sumber: Koleksi Pribadi

Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan pada sistem pencekaman *milling toolboy* lama yang tidak mampu menahan *arbor* BT40 pada posisi rotasi 180°. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan pengumpulan data teknis terkait spesifikasi pegas dan sistem ulir yang digunakan.

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem pencekaman baru berbasis mekanisme ulir yang dilengkapi *guide pin* untuk membatasi gerak komponen secara linear. Setelah proses pembuatan dan perakitan, dilakukan analisis teoritis terhadap gaya cekam yang dihasilkan serta pengujian fungsional untuk mengevaluasi kestabilan *arbor*. Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk menarik kesimpulan mengenai peningkatan fungsi sistem pencekaman.

Perancangan Sistem Pencekaman Baru

Perancangan sistem untuk pengembangan *milling toolboy* dilakukan menggunakan pendekatan sistematis berdasarkan metode VDI 2221. Metode ini mencakup tahapan analisis kebutuhan (*requirement list*), penyusunan struktur fungsi, pengembangan konsep (*morphological chart*), perancangan detail, pembuatan dan *assembly*, serta tahap terakhir yaitu pengujian performa (Mangesa & Tarigan, 2022). Desain dan bagian-bagian *milling toolboy* baru ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Desain *milling toolboy* hasil pengembangan:
(a) tampak luar; (b) tampak dalam
Sumber: Koleksi Pribadi

Perubahan desain *milling toolboy* baru terletak pada sistem pencekaman *arbor*, letak *knob* pengunci dan penambahan mekanisme perputaran *head* berindeks 90° menggunakan sistem *ball plunger*. Sistem pencekaman baru dirancang menggunakan mekanisme ulir berbasis baut M10 yang dikombinasikan dengan *guide pin* sebagai pembatas gerak linear komponen pencekam. Baut M10 dipilih karena memiliki kapasitas gaya aksial yang memadai serta mudah dioperasikan menggunakan *knop* tangan. *Guide pin* dengan diameter 4 mm dan panjang efektif 25 mm ditambahkan untuk memastikan komponen pencekam hanya bergerak secara translasi maju-mundur tanpa mengalami rotasi atau kemiringan. Penambahan elemen ini bertujuan untuk menghilangkan kelemahan sistem lama yang tidak memiliki pembatas gerak sehingga komponen pencekam dapat mengalami momen eksentris saat menerima beban pada posisi 180°.

Selain pengembangan sistem pencekaman, dilakukan penambahan mekanisme perputaran *head* berindeks 90° menggunakan *ball plunger*. Mekanisme ini berfungsi untuk memberikan posisi sudut yang presisi dan terkunci setiap 90° sehingga memudahkan operator dalam menentukan orientasi *arbor* saat proses pemasangan maupun pelepasan alat potong dan *pull stud*. Penambahan fitur ini meningkatkan kemudahan operasional tanpa mempengaruhi kapasitas gaya cekam utama.

Metode Analisis Teoritis Sistem Pencekaman

Analisis teoritis dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem pencekaman dalam menahan beban *arbor* pada posisi rotasi 180°, dengan membandingkan gaya cekam yang dihasilkan terhadap gaya berat *arbor* sebagai beban statis.

Beban utama yang bekerja pada sistem pencekaman adalah gaya berat *arbor* yang dihasilkan oleh pengaruh gravitasi. Secara mekanika dasar, gaya berat suatu benda dihitung sebagai hasil perkalian massa dan percepatan gravitasi (Dalrymple & Griffiths, 2005), yang dinyatakan sebagai:

$$W = m \times g \quad (1)$$

dimana:

W = gaya berat (N)

m = massa *arbor* (kg)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

Nilai ini merupakan gaya minimum yang harus mampu ditahan oleh sistem pencekaman agar *arbor* tetap berada dalam kondisi gaya stabil pada posisi 180°.

Pada sistem lama, gaya pencekaman dihasilkan oleh pegas tekan (*compression spring*). Secara teoritis, kekakuan pegas heliks silinder ditentukan oleh parameter material dan geometri pegas (Fadlillah dkk., 2020), yang dirumuskan sebagai:

$$k = \frac{G \times d^4}{8D^3 \times n} \quad (2)$$

dimana:

- k = konstanta pegas (N/m)
- G = modulus geser baja (80×10^9 N/m²)
- d = diameter kawat pegas (m)
- D = diameter rata-rata pegas (m)
- n = jumlah lilitan aktif (lilitan)

Gaya pencekaman yang dihasilkan pegas mengikuti hukum Hooke, yaitu sebanding dengan besar defleksi kerja (Jannah dkk., 2024):

$$F_{\text{pegas}} = k \times x \quad (3)$$

dimana x adalah defleksi kerja saat mencekam. Dengan demikian, kemampuan sistem pegas dalam menahan *arbor* sangat bergantung pada nilai konstanta pegas dan besar defleksi yang diberikan saat proses pencekaman.

Gaya pencekaman pada sistem baru yang menggunakan baut diperkirakan berdasarkan hubungan antara torsi pengencangan dan gaya aksial (*preload*) baut. Dalam teori sambungan ulir, torsi yang diberikan pada baut akan dikonversi menjadi gaya aksial sepanjang sumbu baut dengan mempertimbangkan pengaruh gesekan pada ulir dan permukaan kepala baut. Secara umum hubungan tersebut dinyatakan sebagai berikut (Rousseau & Bouzid, 2024):

$$F_{\text{Baut}} = \frac{T}{K \times d} \quad (4)$$

dimana:

- T = torsi pengencangan (Nm)
- d = diameter nominal baut (m)
- K = koefisien torsi

Nilai koefisien torsi diasumsikan sebesar 0,2 untuk baut baja kondisi normal.

Dalam perancangan elemen mesin, faktor keamanan (*safety factor*) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu komponen dalam menahan beban kerja dibandingkan dengan beban yang bekerja secara aktual. Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas gaya yang mampu ditahan oleh sistem terhadap gaya beban yang bekerja (Yin, 2021). Pada penelitian ini, faktor keamanan sistem pencekaman dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$SF = \frac{F_{\text{Pencekaman}}}{F_{\text{Arbor}}} \quad (5)$$

Pada kondisi pembebanan statis, nilai faktor keamanan minimum umumnya disyaratkan lebih besar dari satu untuk mencegah kegagalan akibat beban kerja langsung (Setiyawan dkk., 2023).

Metode Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan dan kemudahan operasional sistem pencekaman pada posisi rotasi 180°. Pengujian dilakukan terhadap empat tipe *arbor* yang tersedia di Bengkel WAD dengan variasi massa 2 kg, 2,5 kg, 3 kg, dan 3,5 kg. Parameter yang diamati dalam pengujian meliputi:

1. Kestabilan *arbor* pada posisi 180°, dengan kategori pengamatan berupa stabil, *slip*, atau jatuh.
2. Kemampuan operasional, yaitu kemampuan melakukan pemasangan dan pelepasan *pull stud* menggunakan kunci *spanner* standar dengan kekuatan tangan normal.
3. Waktu proses, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemasangan dan pelepasan *pull stud* dalam satuan detik.

Setiap variasi massa diuji sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi hasil. Data hasil pengamatan kemudian dicatat dan dibandingkan antara sistem pencekaman lama dan sistem baru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Sistem Pencekaman Berbasis Pegas

Berdasarkan Persamaan (1), gaya berat *arbor* dengan massa maksimum 3,5 kg dihitung sebagai berikut:

$$W = m \times g$$

$$W = 3,5 \times 9,81 = 34,34 \text{ N}$$

Nilai ini merupakan gaya minimum yang harus mampu ditahan oleh sistem pencekaman agar *arbor* tetap stabil pada posisi rotasi 180°.

Sistem pencekaman lama berbasis pegas menggunakan pegas silinder dengan diameter kawat 1,5 mm, diameter rata-rata lilitan 18,5 mm, panjang normal pegas 65 mm. Pegas memiliki jumlah lilitan aktif sebanyak 10 lilitan dan terbuat dari baja dengan modulus geser sebesar 80×10^9 N/m². Menggunakan Persamaan (2) diperoleh konstanta pegas:

$$k = 0,8 \text{ N/mm (setara dengan 800 N/m)}$$

Jika defleksi kerja saat mencekam sebesar 20 mm, maka berdasarkan Persamaan (3):

$$F_{\text{pegas}} = k \times x$$

$$F_{\text{pegas}} = 0,8 \times 20 = 16 \text{ N}$$

Faktor keamanan sistem pencekaman pegas dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$SF_{\text{Pegas}} = \frac{F_{\text{Pegas}}}{F_{\text{Arbor}}}$$

$$SF_{Pegas} = \frac{16}{34,34} = 0,47$$

Nilai faktor keamanan yang jauh lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa sistem pencekaman lama secara teoritis tidak mampu menahan *arbor* BT40 bermassa 3,5 kg pada posisi 180°.

Meskipun secara teoritis kekakuan pegas dapat ditingkatkan dengan mengurangi diameter rata-rata atau jumlah lilitan, pendekatan tersebut akan meningkatkan gaya operasi, yaitu lebih berat saat ditarik dengan tangan, dan tidak menyelesaikan potensi kemiringan akibat momen eksentris karena tidak adanya *guide pin*.

Hasil Analisis Sistem Pengekaman Berbasis Ulir

Sistem pencekaman baru berbasis ulir menggunakan baut M10 yang dikencangkan dengan *knop* tangan tanpa alat bantu. Diameter nominal baut yang digunakan adalah 10 mm. Torsi pengencangan diasumsikan sebesar 5 Nm, yang merupakan nilai realistis untuk pengencangan manual oleh operator. Berdasarkan Persamaan (4), dihitung besar gaya baut sebagai berikut:

$$F_{Baut} = \frac{T}{K \times d}$$

$$F_{Baut} = \frac{5}{0,2 \times 0,01} = 2500 \text{ N}$$

Nilai gaya baut ini jauh lebih besar dibandingkan gaya berat *arbor* sebesar 34,34 N.

Faktor keamanan sistem pencekaman berbasis ulir dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$SF_{Baut} = \frac{F_{Baut}}{W}$$

$$SF_{Baut} = \frac{2500}{34,34} = 72,8$$

Nilai faktor keamanan yang sangat tinggi menunjukkan bahwa sistem ulir yang dikencangkan secara manual memiliki kapasitas gaya yang jauh melampaui kebutuhan minimum pembebanan statis *arbor*. Dalam praktiknya, gaya aktual dapat lebih rendah akibat faktor gesekan dan efisiensi ulir, namun tetap berada jauh di atas batas aman.

Dibandingkan dengan sistem berbasis pegas dengan faktor keamanan 0,47, sistem pencekaman berbasis ulir memberikan kapasitas pencekaman yang jauh lebih tinggi dan memastikan stabilitas *arbor* pada posisi 180°.

Hasil Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan dan kemudahan operasional sistem pencekaman lama dan sistem hasil pengembangan pada posisi rotasi 180°. Pengujian dilakukan terhadap empat tipe *arbor* dengan variasi massa 2 kg, 2,5 kg, 3 kg, dan 3,5 kg. Parameter yang diamati meliputi kestabilan *arbor*, kemampuan pemasangan dan pelepasan *pull stud*

menggunakan kunci *spanner* standar, serta waktu proses pemasangan dan pelepasan. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sistem pencekaman *milling toolboy* lama berbasis pegas.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Sistem Pengekaman Berbasis Pegas Data Lapangan

Tipe <i>Arbor</i>	Massa (kg)	Kondisi pada 180°	Pemasangan <i>Pull Stud</i>	Waktu (detik)
<i>Arbor A</i>	2	<i>Slip</i>	Ditahan dengan tangan operator	34
<i>Arbor B</i>	2,5	Jatuh	Tidak dapat dilakukan	-
<i>Arbor C</i>	3	Jatuh	Tidak dapat dilakukan	-
<i>Arbor D</i>	3,5	Jatuh	Tidak dapat dilakukan	-

Pada massa 2 kg, sistem pencekaman berbasis pegas masih mampu menahan *arbor* meskipun terdapat kecenderungan *slip* ringan saat pemasangan *pull stud* yang mengganggu proses operasional sehingga harus ditahan dengan bantuan tangan operator agar tidak jatuh. Untuk massa 2,5 kg, 3 kg dan 3,5 kg, *arbor* terlepas dari komponen pencekam saat posisi 180°, sehingga pemasangan dan pelepasan *pull stud* tidak dapat dilakukan. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dan nilai yang ditampilkan merupakan rata-rata hasil pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas gaya pegas tidak mencukupi untuk menahan beban maksimum *arbor* yang tersedia di bengkel.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sistem pencekaman *milling toolboy* hasil pengembangan berbasis mekanisme ulir dan *guide pin*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem Pengekaman Berbasis Ulir Data Lapangan

Tipe <i>Arbor</i>	Massa (kg)	Kondisi pada 180°	Pemasangan <i>Pull Stud</i>	Waktu (detik)
<i>Arbor A</i>	2	Stabil	Dapat dilakukan	38
<i>Arbor B</i>	2,5	Stabil	Dapat dilakukan	39
<i>Arbor C</i>	3	Stabil	Dapat dilakukan	41
<i>Arbor D</i>	3,5	Stabil	Dapat dilakukan	43

Pada seluruh variasi massa, sistem pencekaman berbasis ulir mampu mempertahankan *arbor* secara stabil pada posisi 180°, seperti ditunjukkan Gambar 4. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dan nilai yang ditampilkan merupakan rata-rata hasil pengujian. Tidak ditemukan kondisi *slip* maupun jatuh selama proses pengujian. Pemasangan dan pelepasan *pull stud* dapat dilakukan dengan kunci *spanner* standar tanpa gangguan kestabilan.



Gambar 4. Kondisi *arbor* stabil pada posisi 180°
Sumber: Koleksi Pribadi

Waktu proses relatif lebih lama dibandingkan sistem pegas karena diperlukan tahapan pemutaran *knop* baut untuk menghasilkan gaya cekam yang memadai. Namun waktu tambahan tersebut berada dalam batas toleransi operasional bengkel.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa sistem pegas memiliki keunggulan pada kecepatan pengoperasian untuk beban ringan, namun tidak mampu menjamin kestabilan pada massa di atas 2,5 kg. Ketidakstabilan tersebut berpotensi menimbulkan risiko keselamatan kerja akibat jatuhnya *arbor*.

Sebaliknya, sistem ulir dengan tambahan *guide pin* menunjukkan kestabilan penuh pada seluruh variasi massa yang diuji, termasuk pada massa maksimum 3,5 kg. Meskipun memerlukan waktu pengencangan yang sedikit lebih lama, sistem ini memberikan peningkatan signifikan pada aspek keselamatan dan keandalan.

Dengan demikian, peningkatan fungsi sistem pengecaman tidak hanya ditinjau dari aspek kecepatan, tetapi dari kemampuan mempertahankan *arbor* secara aman pada kondisi kerja aktual di bengkel.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis teoritis dan pengujian fungsional, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pengecaman *milling toolboy* lama berbasis pegas tidak memenuhi persyaratan kestabilan untuk menahan *arbor* BT40 bermassa 3,5 kg pada posisi rotasi 180°, dengan nilai faktor keamanan sebesar 0,47.
2. Sistem pengecaman hasil pengembangan berbasis mekanisme ulir yang dilengkapi *guide pin* mampu menghasilkan gaya aksial sebesar 2500 N dengan faktor keamanan 72,8, sehingga secara teoritis memiliki kapasitas pengecaman yang jauh lebih besar dibandingkan sistem berbasis pegas.
3. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem lama tidak mampu menahan *arbor* pada massa di atas 2,5 kg, sedangkan sistem hasil pengembangan

mampu mempertahankan seluruh variasi massa *arbor* hingga 3,5 kg dalam kondisi stabil pada posisi rotasi 180° tanpa terjadi *slip* maupun jatuh.

4. Pengembangan sistem pengecaman berbasis mekanisme ulir dan *guide pin* terbukti meningkatkan stabilitas, keselamatan kerja, dan keandalan operasional *milling toolboy* pada kondisi penggunaan di Bengkel WAD Politeknik ATMI Surakarta.

Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada evaluasi ketahanan mekanisme pengecaman terhadap siklus operasi berulang, analisis pengaruh beban dinamis selama penggunaan, serta pengembangan desain agar kompatibel dengan berbagai tipe *arbor* pada sistem *toolboy* yang berbeda.

REFERENSI

- Aditya, D. M., Anisha, L., Rahma, A. F., Malik, A., & Fisika, P. (2024). Pengaruh Massa Dan Jenis Pegas Terhadap Konstanta Pegas: Studi Praktikum. *Jurnal pendidikan Fisika dan saint (JPFS)*, 7(2), 100–106. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i2.758>
- Aulia, F. D., Hamdani, H., & Darmein, D. (2023). Desain dan Pabrikasi alat Bantu Arbor Untuk Membuat Roda Gigi pada Mesin Frais Vertikal. *Jurnal Mesin Sains Terapan*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273953307>
- Dalrymple, P., & Griffiths, R. (2005). Force, mass and acceleration. *Science and Mathematics for Engineering*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:119506666>
- Fadlillah, R. F., Andrijono, D., & Novijanto, A. (2020). Kekuatan Tekan Medium Carbon Steel 0,588% C sebagai Material Helical Spring Suspensi Depan Tipe Double Wishbone Kendaraan Dinas TNI AD ¼ Ton. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229541896>
- Jannah, A. A., Malik, A., Fisika, P., & Pegas, K. (2024). Analisis Nilai Konstanta Pegas Berdasarkan Nilai Gravitasi Bumi dan Bulan Menggunakan VLab Amrita. *Jurnal Pendidikan fisika dan saint (JPFS)*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i1.448>
- Mangesa, D. P., & Tarigan, B. V. (2022). Rancang Bangun Mesin Pencetak Pakan Ikan Menggunakan Metode VDI. *Jurnal Teknik Mesin Undana LONTAR*, 09(01), 34–40.
- Pratama, A., & Fitri, M. (2020). Rancang Bangun Alat Uji Konstanta Pegas Ulir Tekan untuk Kapasitas 50 N/mm Menggunakan Metode VDI 2221. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin AME, M*(September), 41–49.

- Rousseau, R. I., & Bouzid, A. H. (2024). *The Tightening and Untightening Modeling and Simulation of Bolted Joints*.
<https://doi.org/10.3390/machines12090654>
- Setiawan, I., Setiawan, R., Zahabiyah, R., Lestari, T. D., & Wahyu, V. (2023). Penerapan Jig & Fixture pada Produksi Massal di Industri Manufaktur Application of Jig & Fixture in Mass Production in the Manufacturing Industry. *Jurnal Media Teknik & Sistem Industri*, 7(2), 104–111.
<https://doi.org/10.35194/jmtsi.v7i2.3165>
- Setiyawan, T., Semarang, P. N., Kristiawan, T. A., Semarang, P. N., Annas, T. Y., Politeknik, M., & Semarang, N. (2023). Analisis Kekuatan Struktur Rangka Brake Lining Rivet Machine Untuk Pemasangan Kampas Rem Dengan Sistem Hidrolik. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(1), 130–139.
<https://doi.org/10.58169/saintek.v2i1.143>
- Yin, J. (2021). *A Safety Factor Method for Reliability-Based Component Design*. 143, 1–36.
<https://doi.org/10.1115/1.4049881>
- Zhang, D., Wang, G. B., Huang, F., & Zhang, K. (2020). Load-transferring mechanism and calculation theory along engaged threads of high-strength bolts under axial tension. *Journal of Constructional Steel Research*, 172, 106153.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225306076>