

Pengembangan Sistem Penarik Mesin *Braiding* Konvensional dengan Metode *Reverse Engineering*

Ilham Ali Arridho^{1*}, Risky Ayu Ferbrian¹, Rani Nopriyanti¹, Heri Setiawan¹

¹Teknologi Rekayasa Manufaktur, Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung,
Jl. Kanayakan No.21, Bandung, 40135.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: ilhamaliarridho@polman-bandung.ac.id

Abstract – Braiding machines are essential equipment in the textile industry for producing precise fibber or wire interlacements. Most conventional braiding machines in Indonesia are aging and lack adequate technical documentation. As a consequence, maintenance, component replacement, and component reproduction processes become difficult to perform. This study aims to recover technical data and develop the take-up mechanism of a conventional braiding machine through a reverse engineering approach. The research methodology consists of component identification through disassembly, dimensional measurement, 3D CAD modelling, component design modification, preparation of technical drawings, followed by assembly and functional testing. The results show that the modified component design has a simpler geometry, resulting in more efficient assembly and maintenance processes. Functional testing demonstrates that all components operate in accordance with the original mechanism, while performance testing indicates that the take-up system is capable of maintaining constant yarn tension and producing uniform braiding within a speed range of 100–160 RPM. Statistical analysis using an \bar{X} control chart confirms that the braiding quality remains within statistical control limits without significant deviations. Therefore, this study concludes that the reverse engineering method is effective in providing comprehensive technical documentation, extending machine service life, and supporting local manufacturing independence.

Abstract – Mesin *braiding* merupakan salah satu peralatan penting dalam industri tekstil untuk menghasilkan jalinan serat atau kawat yang presisi. Mayoritas mesin *braiding* konvensional di Indonesia berusia tua dan tidak memiliki dokumentasi teknis yang memadai. Dampak dari masalah tersebut adalah kesulitan dalam melakukan proses perawatan, penggantian, maupun reproduksi komponen. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kembali data teknis dan mengembangkan sistem penarik (*take-up mechanism*) mesin *braiding* konvensional melalui pendekatan *reverse engineering*. Metode penelitian dilakukan dengan tahapan identifikasi komponen (pembongkaran komponen), pengukuran dimensi, pembuatan model 3D CAD, modifikasi desain komponen, penyusunan gambar kerja, serta perakitan hingga pengujian fungsional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain komponen hasil modifikasi memiliki bentuk yang lebih sederhana sehingga proses perakitan dan perawatan menjadi lebih efisien. Pengujian fungsional memperlihatkan bahwa seluruh komponen bergerak sesuai mekanisme aslinya, sedangkan uji kinerja menunjukkan kemampuan sistem penarik menjaga tegangan benang secara konstan dan menghasilkan jalinan seragam pada rentang kecepatan 100–160 RPM. Analisis menggunakan \bar{X} -Chart mengonfirmasi bahwa kualitas hasil *braiding* berada dalam batas kendali statistik tanpa adanya penyimpangan signifikan. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa Metode *reverse engineering* mampu menyediakan dokumentasi teknis yang lengkap, memperpanjang umur pakai mesin, serta mendukung kemandirian manufaktur lokal.

Keywords - Dokumentasi Teknis, Mesin Braiding, Reverse Engineering, Sistem Penarik, X-Chart.

PENDAHULUAN

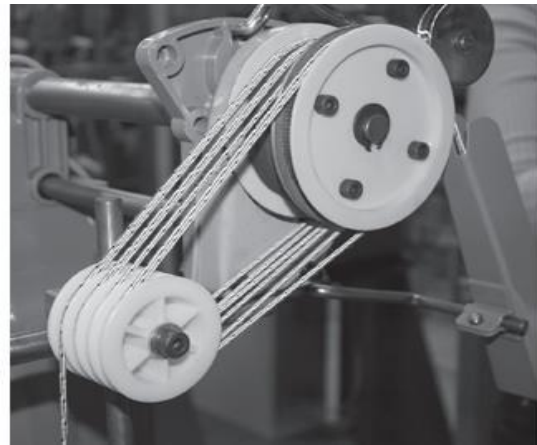
Reverse engineering merupakan salah satu metode rekayasa yang berperan penting dalam bidang manufaktur modern. Teknik ini digunakan untuk memperoleh kembali data teknis dari suatu produk yang tidak memiliki dokumentasi desain lengkap, sehingga dapat dilakukan reproduksi, perbaikan, maupun modifikasi sesuai kebutuhan [1-2]. Penelitian oleh Shabani dan Pandilov menunjukkan bahwa *reverse engineering* mampu memperpendek siklus pengembangan produk sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap impor komponen mekanikal [3]. Oleh karena itu, pendekatan ini relevan diterapkan dalam upaya penguasaan teknologi lokal, khususnya di sektor manufaktur tekstil yang masih banyak menggunakan mesin impor berusia tua [4].

Salah satu mesin yang memiliki peranan vital dalam industri tekstil adalah mesin *braiding*. Fungsi mesin *braiding* adalah menganyam benang atau kawat menjadi struktur jalinan seperti tali, kabel, selang, hingga kain teknis. Pada mesin tipe *maypole*, keseragaman pola anyaman dihasilkan melalui pergerakan *bobbin carrier* yang dikendalikan oleh *horn gear* dan *track plate* [5]. UMKM (Unit Usaha Kecil dan Menengah) pengguna mesin *braiding* di Indonesia umumnya memiliki mesin *braiding* konvensional impor tanpa dokumentasi teknis yang memadai. Kondisi ini berdampak pada sulitnya proses perawatan, penggantian komponen, maupun pengembangan desain, sehingga meningkat biaya produksi dan rendahnya daya saing industri tekstil nasional terhadap regional khususnya di Asia Tenggara [4].

Mesin *Braiding* terdiri dari tiga sistem utama yang memiliki fungsinya masing-masing seperti sistem pergerakan *carrier*, sistem penarik dan sistem transmisi [6]. Salah satu masalah proses *braiding* adalah terjadinya fluktuasi tegangan benang pada mesin *braiding*. Ketidakstabilan tegangan dapat menimbulkan gaya kejut mekanik signifikan, sehingga berpengaruh langsung terhadap kualitas anyaman [7]. Studi ini menegaskan pentingnya pemahaman detail mengenai sistem penarik seperti pada Gambar 1 untuk memastikan keandalan mesin *braiding*.

Sistem penarik merupakan komponen krusial pada mesin *braiding* karena berfungsi menjaga kestabilan tegangan benang yang secara langsung memengaruhi keseragaman dan kualitas anyaman. Ketidakstabilan pada sistem ini dapat menimbulkan

fluktuasi tegangan dan gaya kejut mekanik yang berpotensi menurunkan performa mesin, namun keterbatasan dokumentasi teknis pada mesin *braiding* konvensional menyebabkan sistem penarik sulit dianalisis dan dikembangkan secara sistematis. Oleh karena itu, *reverse engineering* menjadi pendekatan yang relevan untuk memperoleh kembali data teknis sistem penarik sebagai dasar perbaikan dan pengembangan desain secara terukur.



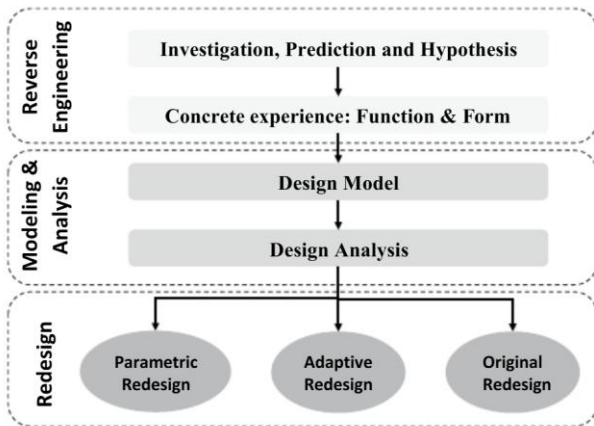
Gambar 1. Sistem Penarik pada Mesin *Braiding*

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses *reverse engineering* terhadap produk yang telah tersedia sebelumnya. Hasil dari proses tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk memproduksi kembali salah satu komponen utama dalam sistem penarik secara utuh. Selanjutnya, mekanisme yang telah dirancang dan diproduksi tersebut diuji keandalannya melalui serangkaian proses pengujian serta pengukuran terhadap hasil produksi tali yang dihasilkan. Melalui tahapan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya lokalisasi pembuatan komponen mesin *braiding* sehingga pada akhirnya mesin tersebut dapat diproduksi secara mandiri di dalam negeri.

METODE

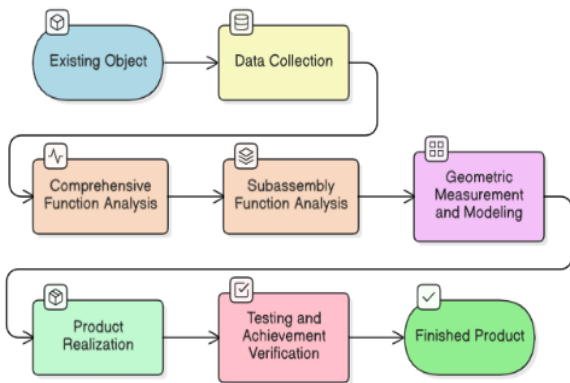
Desain, tempat dan waktu

Desain penelitian ini menggunakan Pendekatan *Reverse Engineering* untuk memperoleh kembali data teknis dan memahami mekanisme kerja sistem penarik (*take-up mechanism*) mesin *braiding* konvensional. Tahap pertama, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, meliputi kegiatan memprediksi cara kerja produk, mengumpulkan dan mengorganisasi kebutuhan pelanggan, merumuskan hipotesis mengenai karakteristik produk, serta melakukan riset pasar. Tahap ini diakhiri dengan proses pembongkaran (*disassembly*) produk.



Gambar 2. Tahapan pada *Reverse Engineering*

Tahap kedua mencakup pemahaman terhadap sifat fisik produk dan parameter fungsionalnya. Dalam rangka peningkatan produk, diusulkan tiga arah pengembangan rekayasa peniruan atau *reverse engineering* yaitu pendekatan parametrik, adaptif dan orisinil (original) [8]. Pengembangan yang dilakukan berfokus pada *adaptive redesign* dimana rancangan yang telah didefinisikan ulang mengalami proses modifikasi pada beberapa bagian tertentu hasil dari pertimbangan teknis. Implementasi tahapan *reverse engineering* disusun menjadi beberapa tahap kegiatan pada penelitian. Hal tersebut dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Penelitian yang Digunakan

Existing Object

Produk awal yang tersedia seperti pada Gambar 4 diperoleh dari UMKM pengguna mesin *braiding*. Penyimpanan produk berada di tempat penelitian yaitu laboratorium pemeliharaan mesin, Politeknik Manufaktur Bandung. Penelitian dilakukan pada rentang bulan Januari hingga Juli tahun 2025.

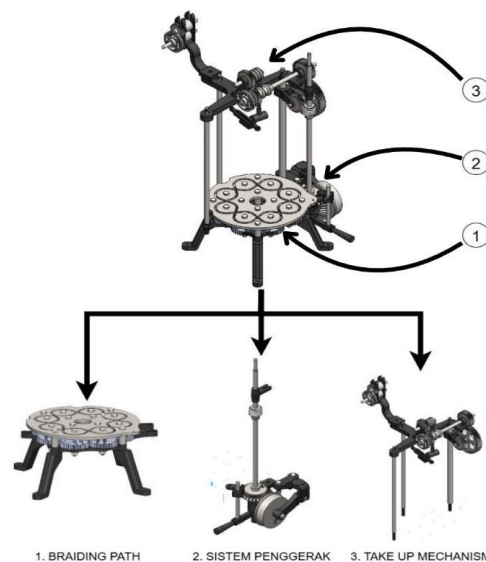


Gambar 4. Produk Awal dan Tempat Penelitian

Pengambilan subjek

Tahap awal penelitian adalah menentukan fokus produk yaitu sistem penarik mesin *braiding* konvensional. Pemilihan ini didasarkan pada pentingnya mekanisme penarik dalam menjaga tegangan benang dan kualitas hasil anyaman, serta melengkapi keterbatasan dokumentasi teknis tentang sistem penarik pada mesin konvensional yang ada di lapangan.

Mesin *braiding* konvensional diamati dan dibongkar secara sistematis untuk memisahkan sistem total dan subsistem *take-up mechanism*. Tujuannya adalah mengidentifikasi komponen penyusun, fungsi masing-masing komponen, serta hubungan antarbagian. Secara sederhana mesin *braiding* konvensional dapat diurai menjadi tiga sub bagian besar seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Ketiga Sistem Mesin *Braiding* Konvensional

Jenis dan cara pengumpulan data (survei) / Data Collection

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara pembongkaran atau *disassembly* seperti pada Gambar 6. Proses tersebut merupakan langkah penting dalam *reverse engineering* yang dilakukan untuk menganalisis dan memahami cara kerja suatu produk secara menyeluruh [9]. Dalam tahap ini, produk dibongkar secara sistematis untuk mengamati bagaimana setiap komponen disusun, bagaimana antarbagian saling terhubung, serta bagaimana fungsi mekanis bekerja secara terpadu dalam sistem tersebut [10].



Gambar 6. Proses Pembongkaran

Analisis fungsi pada setiap komponen dan seluruh komponen sistem penarik diukur menggunakan alat ukur konvensional seperti jangka sorong, mikrometer dan mistar baja. Data pengukuran digunakan sebagai dasar pembuatan model digital [11]. Data hasil pengukuran kemudian dimodelkan dalam perangkat lunak *SolidWorks 2022* untuk menghasilkan representasi digital tiga dimensi [12]. Gambar 7 menunjukkan model produk hasil dari proses pembongkaran dan pengukuran.



Gambar 7. Model Awal Sistem Penarik

HASIL DAN PEMBAHASAN

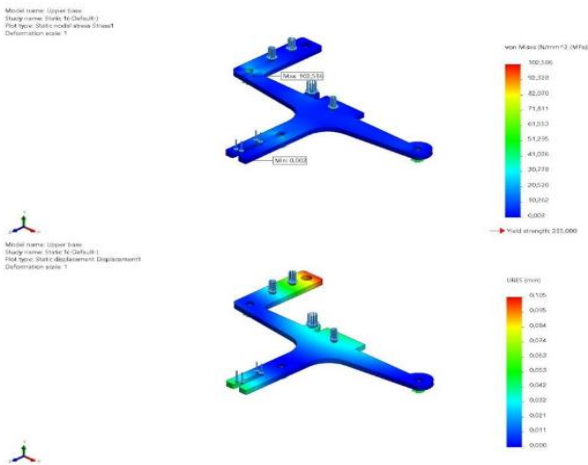
Sistem penarik mesin *braiding* terdiri dari beberapa komponen. Beberapa komponen non-standar yang dinilai sulit diproduksi atau memiliki kelemahan struktural dikenakan proses modifikasi untuk memudahkan proses produksi dengan metode permesinan yang lebih efisien [2]. Modifikasi dilakukan dengan cara melakukan simplifikasi pada desain lama akan tetapi tetap mempertahankan fungsi mekanis utama dari komponen, serta melakukan perubahan material dari besi cor menjadi baja karbon rendah standar DIN 1.0037, pemilihan ini bertujuan meningkatkan efisiensi, kemudahan produksi, serta ketersediaan bahan di pasaran lokal. Tabel 1 menunjukkan bagian yang dimodifikasi.

Tabel 1. Komponen Modifikasi Sistem Penarik

Nama Komponen	Desain Awal	Desain Awal
Upper Base		
Bracket Take-Up		
Braid Former		
Mounting Braid Former		
Bracket Braid Former		
Bracket Roda Gigi Atas Driver		

Subassembly Function Analysis

Komponen yang telah dimodifikasi dilakukan verifikasi kembali menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk melihat kekuatan statiknya [13]. Gambar 8 menunjukkan bahwa bentuk baru atau simplifikasi dari modifikasi tidak mengurangi kekuatan statis dari komponen. Analisis statis pada komponen *upper base* dilakukan sebab komponen tersebut merupakan rangka utama dari sistem penarik mesin *braiding* konvensional.



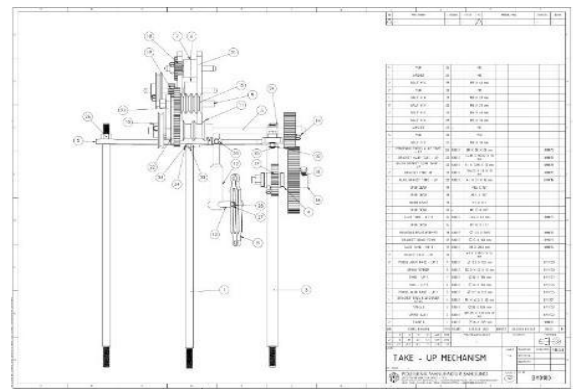
Gambar 8. Analisis Statis Komponen *Upper Base*

Melalui data tersebut diperoleh data bahwa *upper base* hasil modifikasi mampu menahan beban dari setiap komponen sistem penarik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa komponen *upper base* aman untuk digunakan dalam sistem mesin *braiding*. Tegangan maksimum yang terjadi berada di bawah batas *yield material* sehingga tidak memberikan pengaruh terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu desain dan material *upper base* dinyatakan layak untuk diproduksi dan

digunakan tanpa perlu dilakukan perubahan desain tambahan.

Geometric Modelling

Berdasarkan model 3D yang telah diverifikasi, disusun gambar teknik 2D sebagai dokumentasi teknis dan acuan pembuatan komponen. Gambar kerja yang dihasilkan terdiri gambar kerja komponen produksi (tunggal) dan gambar kerja susunan *sub-assembly* dan *full-assembly* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9. Gambar kerja tersebut yang menjadi dasar proses produksi dan pemeriksaan kualitas komponen.



Gambar 9. Gambar Kerja Sistem Penarik

Product Realization

Proses manufaktur untuk memproduksi sistem penarik mesin *braiding* konvensional meliputi *laser cutting*, pembubutan, frais dan pengeboran sesuai kebutuhan masing-masing komponen [14-15]. Setelah itu, seluruh komponen dirakit kembali menjadi satu sistem penarik untuk mengembalikan fungsi mekanismenya pada mesin *braiding*. Tabel 2 menunjukkan hubungan antara komponen dengan proses manufaktur yang dikenakan.

Tabel 2. Proses Pembuatan Komponen Sistem Penarik

No	Nama Komponen	Laser Cutting	Milling	Bubut	Drill
1	Tiang 1			✓	
2	Tiang 2			✓	
3	Poros Alur Take - Up 1			✓	
4	Poros Alur Take - Up 2			✓	
5	Upper base	✓			
6	Bracket Roda Gigi Driver Atas		✓		✓
7	Braid Former Mounting	✓			
8	Braid Form		✓	✓	✓
9	Bracket Braid Form			✓	✓
10	Alas Braket Take - Up		✓		✓
11	Bracket Take - Up	✓			
12	Balok Braket Alur Take - Up		✓		✓
13	Braket Alur Take - Up	✓			
14	Penopang Poros Alur Take - Up		✓		✓

Pembuatan komponen diproses sesuai dengan rencana pengerjaan. Gambar 10 memperlihatkan komponen yang telah diproduksi. Selanjutnya komponen mengalami proses perakitan, sistem penarik akan dihubungkan juga dengan sistem transmisi dan penggerak *carrier*. Modifikasi yang telah dilakukan pada desain komponen membantu memudahkan proses pemasangan, sebab bentuk komponen telah disederhanakan untuk menyesuaikan kemudahan perakitan. Produk yang telah dirakit dilakukan pengujian untuk memproduksi beberapa meter tali prusik.



Gambar 10. Hasil Produksi Komponen dan Perakitannya

Testing and Achivement Verification

Pada fase pengujian, terdapat dua aspek utama pengujian. Pertama, uji fungsionalitas dengan memperlihatkan bahwa seluruh komponen bergerak sesuai mekanisme aslinya tanpa mengalami macet atau kesalahan fungsi pada setiap komponen. Kedua, uji knierja dilakukan dengan memproduksi tali prusik. Uji kinerja menunjukkan bahwa hasil jalinan tetap seragam seperti pada Gambar 11. Adapun pengujian beroperasi pada rentang kecepatan 100 - 160 RPM seperti pada Gambar 12.



Gambar 11. Tali Prusik hasil *braiding*



Gambar 12. Rpm proses pengujian

Tegangan benang masih dijaga secara manual oleh operator sehingga tidak terjadi gelombang atau putus benang. Konsistensi kualitas hasil *braiding* dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 3. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengukur setiap satu meter tali yang keluar dari proses *braiding*. Konsistensi tersebut diukur menggunakan *X-chart* untuk menganalisis variabilitas jangka pendek maupun jangka panjang suatu proses [16].

Tabel 3. Pengukur Diameter Hasil Produksi Mesin *Braiding*

Jumlah Sampel	Diameter Tali (mm)		
	1	2	3
1	5,5	5,3	5,5
2	5,3	5,4	5,5
3	5,4	5,5	5,5
4	5,5	5,5	5,55
5	5,5	5,5	5,5
6	5,3	5,38	5,5
7	5,6	5,4	5,6
8	5,6	5,5	5,48
9	5,5	5,4	5,4
10	5,6	5,6	5,5

Berdasarkan data tersebut, kualitas proses dinilai berada dalam kondisi terkendali apabila seluruh titik pengamatan tersebar secara acak di sekitar garis pusat (*center line*) dan tidak ada satu pun yang melewati batas kendali yang telah ditetapkan. Sebaliknya, proses dianggap tidak terkendali apabila ditemukan satu atau lebih titik yang berada di luar batas kendali tersebut [17]. Berikut beberapa

persamaan untuk membangun peta kendali dalam hal ini *x-chart*.

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+x_4+\dots+x_n}{n} \tag{1}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1+\bar{x}_2+\bar{x}_3+\bar{x}_4+\dots+\bar{x}_m}{m} \tag{2}$$

$$R = x_{max} - x_{min} \tag{3}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1+R_2+R_3+R_4+\dots+R_m}{m} \tag{4}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \tag{5}$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \tag{6}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \tag{7}$$

Keterangan:

\bar{x} = rata-rata ukuran sampel

$\bar{\bar{x}}$ = rata-rata dari rata-rata

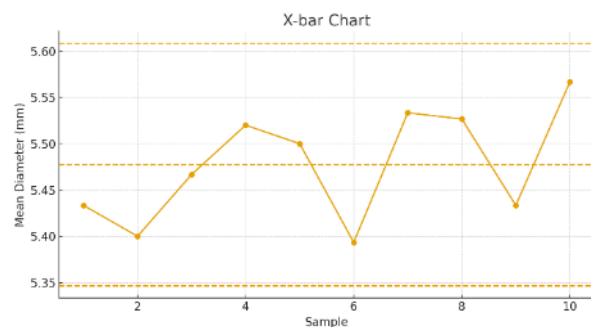
R = range

\bar{R} = rata-rata dari range

UCL = upper control limit / batas kendali atas

CL = control limit / batas kendali

LCL = lower control limit / batas kendali bawah
konstanta faktor pengali (dapat dirujuk pada appendix VI[16])



Gambar 13. Grafik X-Chart Hasil Pengukuran

Konsistensi kualitas hasil *braiding* dianalisis menggunakan grafik pengendalian \bar{X} -Chart (*X-bar Chart*) pada Gambar 11 terhadap parameter dimensi hasil jalinan, dalam hal ini adalah diameter hasil *braiding*. Grafik menunjukkan 10 data pengukuran berturut-turut yang diplot terhadap batas kendali atas (UCL), batas kendali bawah (LCL) dan garis tengah (CL). Pada grafik terlihat bahwa seluruh nilai *X-bar* berada diantara batas kendali atas (sekitar 5,61) dan batas kendali bawah (sekitar 5,35), serta berfluktuasi secara wajar di sekitar garis tengah ($CL \approx 5,46$), tidak terdapat titik data yang keluar dari batas kendali dan tidak ada pola yang menunjukkan tren naik/turun ekstrim atau *outlier*. Hal ini menunjukkan bahwa

proses *braiding* berjalan stabil dan berada dalam kendali statistik.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Metode *Reverse Engineering* pada sistem penarik mesin *braiding* konvensional mampu menghasilkan dokumentasi teknis yang lengkap, berupa model CAD, gambar kerja dan data komponen, sehingga dapat menjadi acuan dalam proses perbaikan maupun pengembangan mesin. Modifikasi pada komponen non standar terbukti meningkatkan efisiensi proses manufaktur, mempermudah perakitan, serta memperpendek waktu perawatan. Hasil uji fungsional dan kinerja memperlihatkan bahwa sistem penarik hasil rekayasa balik mampu bekerja stabil, menjaga tegangan benang secara konstan, dan menghasilkan jalinan dengan kualitas seragam serta berada dalam kendali statistik pada kecepatan 50–120 RPM. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan kemandirian manufaktur lokal dalam penyediaan komponen mesin tekstil. Ke depan, pengembangan dapat diarahkan pada optimalisasi desain berbasis simulasi numerik serta penerapan material alternatif yang lebih ringan dan tahan lama untuk meningkatkan performa mesin *braiding* secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih diberikan kepada pihak UMKM tali prusik kabupaten Bandung yang bersedia meminjamkan fasilitasnya untuk penelitian.

REFERENSI

- [1] V. Raja and K. J. Fernandes, *Reverse engineering: an industrial perspective*. Springer Science & Business Media, 2008. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84628-856-2>.
- [2] S. Wongso, F. J. Daywin, and L. Gozali, "Pembuatan Mesin Peleleh Coklat Dengan Memodifikasi Produk Akebonno Model: 9818 Menggunakan Reverse Engineering & Engineering Design (VDI 2221)," *Jurnal Mitra Teknik Industri*, vol. 2, no. 3, pp. 254–262, Dec. 2023, doi: 10.24912/jmti.v2i3.28420.

- [3] B. Shabani and Z. Pandilov, "Analyzing And Application Of Reverse Engineering For Design And Development Of Mechanical Parts," vol. 35, Nov. 2017. <https://www.mesj.ukim.edu.mk/journals/issue/view/11>.
- [4] Ragimun, "Daya Saing Ekspor Tekstil dan Produk Tekstil Indonesia dan Vietnam ke Amerika Serikat dan Republik Rakyat Tiongkok," *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*, vol. 12, no. 2, pp. 205–234, Dec. 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.kemendag.go.id/index.php/bilp/article/view/194>.
- [5] Yordan. Kyosev, *Braiding technology for textiles*. Elsevier/ Woodhead Pub., 2015.
- [6] I. A. Arridho, "Analisis Tumpukan Toleransi dan Modifikasi Konstruksi Sistem Pergerakan Carrier Mesin *Braiding* Konvensional," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2024.
- [7] Y. Zhang, Z. Meng, L. Su, and Y. Sun, "Modeling and analysis of carbon fiber carrier tension systems used in 3D *braiding* machine," *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 14, Jan. 2019, doi: 10.1177/1558925019845763.
- [8] M. Akerdad, A. Aboutajeddine, and M. Elmajdoubi, "Reverse engineering canvas (REC): a visual tool for supporting reverse engineering activities," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 15, no. 2–3, pp. 249–257, Sep. 2021, doi: 10.1007/s12008-021-00763-3.
- [9] F. A. Darmawan, A. Kusnayat, and S. Martini, "Perancangan Pencekam Atas Pada Mesin Pengupas Kulit Ari Kelapa Menggunakan Metode Reverse Engineering," *eProceedings of Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 3248–3257, 2024.
- [10] S. S. Syah and A. P. Budijono, "Perancangan Mesin Penakar Tepung Otomatis Berbasis Reverse Engineering Dan Kebutuhan Customer," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, 2019. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/29651>.
- [11] T. A. Dwinandana P., "Peran aktivitas reverse engineering pada Jurusan Teknik dan Desain di perguruan tinggi," *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan dan Perancangan Produk)*, vol. 5, no. 2, pp. 101–106, Nov. 2022, doi: 10.24821/productum.v5i2.7749.
- [12] A. Aswin and F. Anggara, "Perencanaan dan Analisis Tegangan Pressure Vessel Horizontal Separator Dengan Metode Elemen Hingga," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 7, no. 2, pp. 83–97, Dec. 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i2.219.
- [13] W. M. A. B. Wan Mohd Raziff, R. Sam, M. Masrie, and Z. Janin, "Design and Simulation of Pick and Place System Using Solidworks Simulation," in *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, IEEE, Nov. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSIMA.2018.8688800.
- [14] Serope. Kalpakjian, S. R. . Schmid, and K. S. Vijay. Sekar, *Manufacturing engineering and technology*. Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2014.
- [15] Naresh and P. Khatak, "Laser cutting technique: A literature review," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 2484–2489, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.250.
- [16] D. C. . Montgomery, *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons, Inc., 2020.
- [17] R. Sasmita, Y. Kurniawati, and D. Fitria, "Analisis Kualitas Standard Strength Pada Portland Composite Cement Dengan Metode Control Chart Dan Evaluasi Kapabilitas Proses Produksi," *Jurnal Gaussian*, vol. 14, no. 2, pp. 390–400, Oct. 2025, doi: 10.14710/j.gauss.14.2.390-400.