

RANCANG BANGUN ALAT TAPERING FIBER OPTIK BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SISTEM PEMANAS DAN PENARIKAN TERKENDALI

¹⁾Surya Maharani Agnes, ²⁾Muhimmatul Khoiro, ³⁾Meta Yantidewi

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: suryamaharani.21016@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhimmatulkhoiro@unesa.ac.id

³⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: metayantidewi@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan pengembangan alat *tapering* fiber optik berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan sistem pemanas dan sistem penarik otomatis. Tujuan utama dari alat ini adalah untuk menghasilkan fiber optik bertaper yang presisi dan konsisten untuk mendukung aplikasi sensor berbasis gelombang *evanescent*. Sistem pemanas menggunakan kawat nikrom sebagai elemen pemanas yang dikendalikan oleh logika PID melalui sinyal PWM untuk menjaga suhu stabil pada kisaran 50–55 °C. Suhu diukur secara *real-time* menggunakan sensor termokopel tipe K yang terhubung ke modul MAX6675. Proses penarikan fiber dilakukan menggunakan *motor stepper* 28BYJ-48, yang hanya aktif ketika suhu telah mencapai suhu yang ditargetkan, untuk menghindari kesalahan yang tidak diinginkan pada fiber. Untuk menjamin kestabilan proses, sistem juga dilengkapi dengan sensor *load cell* yang dikalibrasi dan digunakan untuk memantau gaya tarik selama *tapering* berlangsung. Seluruh sensor, termasuk suhu dan gaya, telah melalui proses kalibrasi terhadap alat ukur standar untuk memastikan akurasi pembacaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja secara stabil dan menghasilkan fiber taper dengan bentuk *waist* yang halus, meruncing, dan simetris. Diameter hasil *tapering* bervariasi tergantung panjang penarikan, dan konsisten dengan prinsip penyempitan fiber. Sistem ini tidak hanya bekerja secara fungsional, tetapi juga sederhana, hemat biaya, dan fleksibel untuk digunakan di lingkungan laboratorium. Dengan demikian, alat ini sangat potensial untuk mendukung penelitian dan pengembangan sensor fiber optik untuk deteksi logam berat seperti Kadmium (Cd) dalam air.

Kata Kunci: alat *tapering*, termokopel tipe K, Arduino UNO, dan kalibrasi sensor

Abstract

This study discusses the design and development of an Arduino UNO microcontroller-based optical fibre tapering tool equipped with a heating system and an automatic pulling system. The main purpose of this tool is to produce precise and consistent tapered optical fibres to support evanescent wave-based sensor applications. The heating system uses nichrome wire as the heating element, controlled by PID logic via PWM signals to maintain a stable temperature within the range of 50–55°C. Temperature is measured in real-time using a type K thermocouple sensor connected to the MAX6675 module. The fibre drawing process is performed using a 28BYJ-48 stepper motor, which only activates once the target temperature has been reached to avoid unintended errors in the fibre. To ensure process stability, the system is also equipped with a calibrated load cell sensor used to monitor the pulling force during tapering. All sensors, including temperature and force, have undergone calibration against standard measuring instruments to ensure reading accuracy. Test results show that the device operates stably and produces tapered fibres with a smooth, tapered, and symmetrical waist shape. The diameter of the tapered fibre varies depending on the drawing length and is consistent with the principle of fibre narrowing. This system not only functions effectively but is also simple, cost-effective, and flexible for use in a laboratory environment. As such, the device holds significant potential for supporting research and development of fibre optic sensors for detecting heavy metals such as cadmium (Cd) in water.

Keywords: tapering device, type K thermocouple, Arduino UNO, and sensor calibration

I. PENDAHULUAN

Tapering merupakan proses mengurangi diameter fiber optik secara bertahap untuk menghasilkan perubahan geometris pada inti fiber dan meningkatkan interaksi gelombang *evanescent* dengan medium yang ada di sekitar fiber. Teknik ini sangat penting dalam pengembangan sensor fiber optik karena dapat meningkatkan sensitivitas terhadap perubahan indeks bias, suhu, maupun keberadaan ion logam berat dalam larutan. Pada fiber optik bertaper, sebagian cahaya merambat keluar dari inti dan berinteraksi langsung dengan medium eksternal melalui medan *evanescent*, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi seperti deteksi Kadmium (Cd^{2+}) dalam air minum (Butt, 2024; Elsherif et al., 2022).

Namun, metode *tapering* konvensional yang banyak digunakan dalam penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan. Proses pemanasan fiber umumnya menggunakan api butana, hidrogen, atau laser CO_2 , yang menimbulkan risiko keselamatan, sulit dikendalikan secara presisi, dan membutuhkan perlengkapan mahal (Granados-Zambrano et al., 2024; Hidayat et al., 2023; Taha et al., 2021). Selain itu, sistem penarik fiber biasanya menggunakan motorized linear stage yang dikendalikan melalui perangkat lunak LabVIEW, sehingga kurang ramah untuk laboratorium pendidikan karena biaya dan kompleksitas sistemnya (Cennamo et al., 2020).

Dalam penelitian ini mengembangkan alat *tapering* fiber optik yang lebih sederhana dan pemanas yang lebih berfokus pada daerah yang akan ditapering. Alat ini dikendalikan oleh Arduino UNO dan menggunakan kawat nikrom sebagai pemanasnya. Suhu pemanas diatur secara otomatis menggunakan logika PID dan dikendalikan oleh sinyal PWM, dengan suhu dipantau menggunakan termokopel tipe K dan modul MAX6675. Setelah suhu mencapai nilai yang diinginkan, motor stepper 28BYJ-48 akan menarik fiber optik untuk membentuk tapering sesuai panjang yang ditentukan. Alat ini menggabungkan proses pemanasan dan penarikan dalam satu sistem yang ringkas dan dapat digunakan secara luas di laboratorium dasar untuk menghasilkan fiber taper berkualitas tinggi, khususnya untuk sensor deteksi Kadmium dalam air.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian alat *tapering* fiber optik yang berbasis Arduino UNO. Alat ini dirancang untuk menyederhanakan proses *tapering* dengan menggabungkan sistem pemanas dan penarik dalam satu rangkaian yang terintegrasi. Langkah awal dimulai dari studi literatur mengenai prinsip kerja fiber optik, gelombang *evanescent*, metode *tapering*, serta pemanasan kawat nikrom dan sistem pengendalian suhu berbasis PID. Kemudian, dilakukan perancangan alat menggunakan Arduino UNO sebagai pengendali sistem, kawat nikrom sebagai elemen pemanas, MOSFET IRLZ44N sebagai saklar elektronik, serta sensor suhu termokopel tipe K dengan modul MAX6675 sebagai pembacaan suhu. Sistem kontrol suhu ini dikembangkan dengan logika PID untuk memastikan kestabilan suhu selama proses *tapering* berlangsung.

Selanjutnya, dilakukan desain mekanik sistem penarikan menggunakan motor stepper 28BYJ-48 yang dikendalikan Arduino UNO dan driver ULN2003, serta rangka mekanik untuk memastikan gerakan linier yang halus. Proses penarikan hanya dimulai ketika suhu pemanas mencapai nilai yang telah ditentukan, sehingga fiber ditarik dalam kondisi lentur untuk menghasilkan taper yang presisi. Panjang penarikan diatur melalui pemrograman dalam sistem mikrokontroler dengan pengukuran berbasis waktu dan langkah motor. Setelah alat selesai dirakit, dilakukan beberapa tahap pengujian. Pertama, dilakukan kalibrasi suhu pemanas dengan menyesuaikan parameter PID hingga suhu stabil pada rentang 50–55 °C tanpa lonjakan suhu yang signifikan. Pengujian dilakukan beberapa kali untuk mengamati kestabilan suhu, waktu pemanasan, serta arus listrik yang digunakan. Kedua, dilakukan pengujian proses penarikan fiber dengan panjang 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm untuk mengetahui apakah motor stepper bergerak dengan halus dan *tapering* yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, panjang taper diukur secara langsung, dan dicatat apakah sesuai dengan panjang penarikan yang diprogram.

B. Variabel Operasional Penelitian

Penelitian ini melibatkan tiga jenis variabel operasional, yaitu:

- Variabel Kontrol: Suhu pemanas yaitu 50-55°C, dan Jenis fiber optik.
- Variabel Manipulasi: Variasi panjang penarikan fiber optik yaitu 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm.
- Variabel Respon: Hasil panjang tarikan fiber optik *tapering*.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pengujian kinerja alat dan karakteristik hasil *tapering* fiber optik. Tahap pertama bertujuan untuk memastikan bahwa sistem alat yang dikembangkan dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan awal. Pengujian dilakukan dengan mengamati kestabilan suhu pemanas kawat nikrom yang dikendalikan oleh sistem logika PID berbasis Arduino UNO. Selama proses ini, suhu diamati secara berkala menggunakan sensor termokopel tipe K yang dihubungkan ke modul MAX6675, dan hasil pembacaan diamati melalui LCD. Parameter penting yang diperhatikan pada tahap ini meliputi suhu target pemanasan yaitu 50–55 °C, kestabilan suhu saat proses berlangsung, dan tidak adanya lonjakan suhu yang signifikan.

Selain kestabilan suhu, performa sistem penarik juga diuji dengan mengamati gerakan *motor stepper* 28BYJ-48 saat menarik fiber optik. Motor stepper dikendalikan oleh Arduino UNO dan hanya akan mulai menarik fiber ketika suhu pemanas sudah mencapai angka yang ditentukan dan stabil. Jumlah langkah motor sudah diatur dalam program, sehingga panjang penarikan dapat disesuaikan. Pada pengujian ini, variasi panjang penarikan yang diprogram adalah 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm. Keberhasilan sistem dilihat dari pergerakan motor yang lancar serta hasil penarikan fiber yang sesuai dengan panjang yang diatur.

D. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan proses kalibrasi pada masing-masing sensor yang digunakan dalam sistem alat *tapering*. Kalibrasi sensor suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan termokopel tipe K yang terhubung ke modul MAX6675 terhadap termometer digital, untuk memastikan akurasi suhu. Kalibrasi *motor stepper* dilakukan menggunakan jangka sorong, untuk mengukur panjang tarikan fiber secara langsung dan mencocokkannya dengan panjang yang diprogram berdasarkan jumlah langkah motor. Sementara itu, kalibrasi *load cell* dilakukan dengan menggunakan beban standar dan timbangan digital, untuk memperoleh nilai faktor skala yang sesuai agar pembacaan gaya tarik menjadi lebih akurat.

Setelah alat *tapering* dijalankan, data yang dikumpulkan difokuskan pada performa sistem dalam menarik fiber optik dengan panjang penarikan yang bervariasi, yaitu 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm. Pengamatan dilakukan untuk memastikan bahwa proses penarikan berjalan lancar, suhu stabil pada kisaran 50–55 °C, dan fiber tidak mengalami kerusakan fisik seperti patah atau tertarik secara tidak merata. Hasil dari tiap variasi penarikan dicatat dan dibandingkan untuk menilai konsistensi alat dalam menghasilkan panjang taper yang sesuai. Selain itu, pembacaan gaya tarik dari load cell dicatat setelah proses penarikan selesai untuk mengetahui besarnya gaya yang bekerja pada fiber optik selama penarikan. Seluruh hasil pengamatan digunakan untuk menilai keakuratan, kestabilan, dan efektivitas alat dalam proses *tapering* fiber optik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

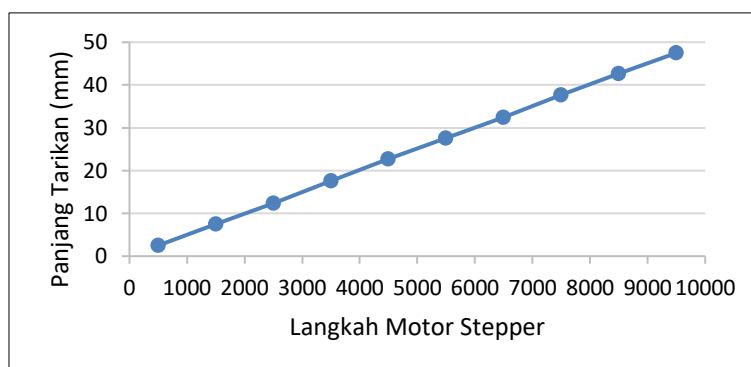
A. Hasil

1. Hasil Kalibrasi Sensor

Proses kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang digunakan dapat bekerja secara presisi dan akurat, serta mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan dapat diandalkan selama proses pengambilan data. Hasil kalibrasi yang disajikan pada **Tabel 1** diperoleh melalui proses perbandingan antara nilai pembacaan suhu menggunakan termokopel tipe K dan pengukuran suhu yang ditunjukkan oleh termometer digital, baik pada kondisi suhu rendah maupun suhu tinggi, untuk menilai tingkat kesesuaian dan akurasi sensor yang digunakan.

Tabel 1 Kalibrasi Termokopel Tipe K dengan Termometer Digital

Termokopel Tipe K (°C)	Termometer Digital (°C)	Akurasi (%)
2,75	2,50	10,00
2,00	1,50	33,33
0,25	0,30	16,67
-1,75	-1,05	66,67
-1,00	-1,30	23,07
51,00	49,50	3,03
56,50	55,30	2,17
61,50	60,80	1,15
66,00	65,00	1,54
71,25	69,50	2,51

**Gambar 1** Kalibrasi Motor Stepper dengan Jangka Sorong

Hasil kalibrasi pada **Gambar 1** dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan pada *motor stepper* 28BYJ-48 dengan jangka sorong.

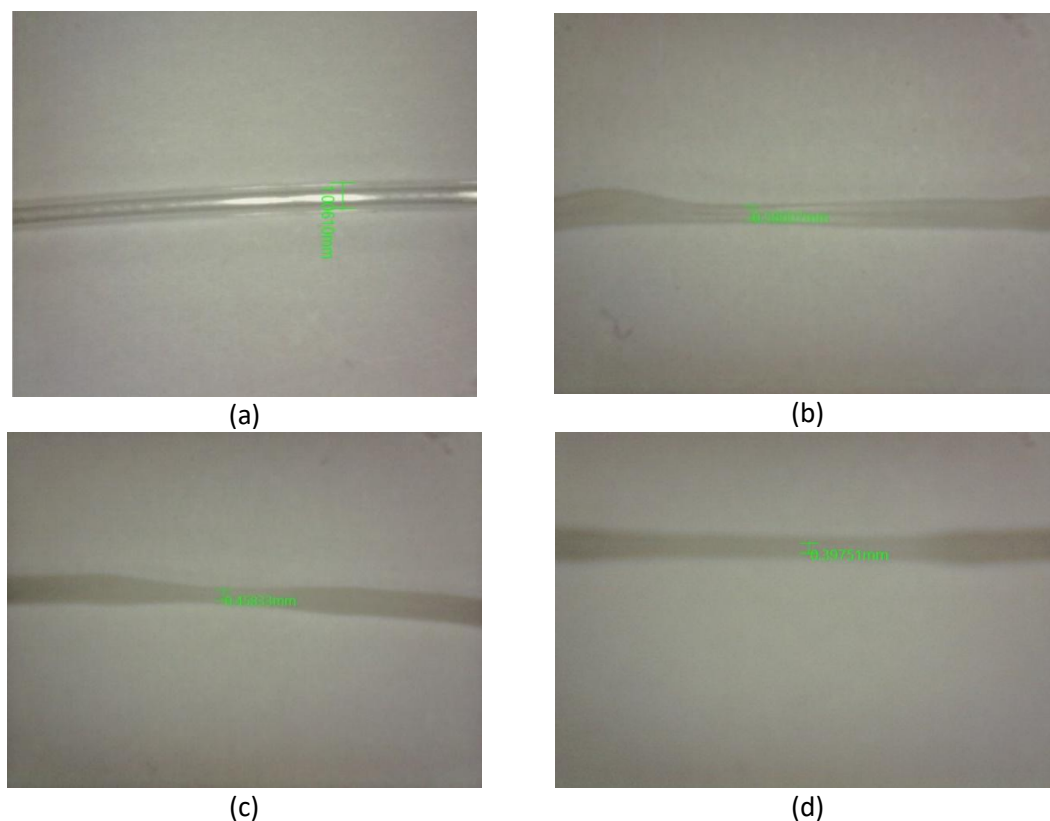
Tabel 2 Kalibrasi Load Cell dengan Timbangan Digital

Load Cell (gr)	Timbangan Digital (gr)	Akurasi (%)
289,18	288,7	0,17
100,77	100,4	0,37
97,14	96,4	0,77
70,99	70,8	0,26
50,38	50	0,76
31,33	31,2	0,41
14,69	14,7	0,06
4,64	4,7	1,27
2,78	2,8	0,71
1,35	1,2	12,50

Hasil kalibrasi pada **Tabel 2** dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan pada *load cell* dengan timbangan digital yang dinyatakan dalam satuan gram.

2. Hasil Diameter Tapering

Pengukuran diameter fiber optik dilakukan untuk mengetahui secara rinci karakteristik geometris hasil proses tapering, sekaligus memastikan bahwa dimensi fiber yang dihasilkan telah sesuai dengan rancangan dan spesifikasi yang direncanakan. Hasil diameter *tapering* dapat dilihat pada **Gambar 2**



Gambar 2 Hasil Diameter Tapering: (a) Belum Ditapering, (b) Tapering 0,2 cm, (c) Tapering 0,3 cm, (d) Tapering 0,5 cm.

B. Pembahasan

1. Pembahasan Hasil Kalibrasi Sensor

Proses kalibrasi sensor suhu menggunakan termokopel tipe K karena memiliki jangkauan pengukuran yang tinggi, yaitu dapat digunakan pada suhu 1024°C dan dapat memberikan respon yang cepat (Maxim Integrated, 2021). Kalibrasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan dari termokopel tipe K memiliki tingkat akurasi yang dapat diterima dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu termometer digital. Langkah pertama menyiapkan media pengujian untuk sensor, yaitu air dingin dan air panas. Termokopel tipe K dan termometer digital kemudian diletakkan secara bersamaan ke dalam wadah yang berisikan air dingin, setelah suhu mencapai kestabilan nilai suhu yang terbaca akan dicatat secara bersamaan untuk dibandingkan. Selanjutnya, langkah kedua dilakukan dengan menggunakan air panas, termokopel tipe K dan termometer digital ini dimasukkan dalam wadah tersebut secara bersamaan. Setelah pembacaan suhu pada kedua alat mencapai kestabilan, nilai suhu yang terbaca ini akan dicatat secara bersamaan. Pada suhu tinggi akurasi perbedaan berada pada kisaran yang rendah yaitu 1%-3%, hal ini menunjukkan pada suhu tinggi pembacaan termokopel cukup untuk mendeteksi nilai referensi yaitu termometer digital. Tetapi, ketika pada suhu yang rendah, nilai akurasi ini meningkat tajam yaitu misalkan pada suhu 2°C memiliki nilai akurasi sebesar 33,33%. Meskipun jika dilihat secara angka saja, selisih suhu pada termokopel tipe K dengan termometer digital mungkin sangat kecil, namun nilai akurasi yang dihasilkan itu besar. Perbedaan pada suhu rendah ini sesuai dengan karakteristik termokopel tipe K, yang pada suhu rendah pembacaan sangat bergantung pada sistem kompensasi suhu dingin yang dikenal dengan *cold junction compensation* (Elsherif et al., 2022; Maxim Integrated, 2021). Pada suhu yang rendah, perubahan pada *cold junction* akan dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap sinyal tegangan termokopel.

Proses kalibrasi yang digunakan sebagai penarik fiber optik dalam sistem adalah menggunakan *motor stepper* 28BYJ-48, *motor stepper* ini dipilih karena dapat menghasilkan Gerakan yang presisi dan daya yang digunakan rendah (Hidayat et al., 2023; Taha et al., 2021). Kalibrasi ini dilakukan dengan cara melilitkan tali ke poros *motor stepper*, lalu diberikan penanda untuk mengetahui tanda awal pada tali yang dililitkan tersebut.

Setelah itu, *motor stepper* dijalankan dengan jumlah langkah yang diinginkan, yang diatur dengan menggunakan Arduino UNO. Posisi akhir ujung tali akan berpindah yang kemudian akan diberikan tanda akhir sebagai hasil penarikan. Jarak tanda awal akan diukur dengan tanda akhir penarikan menggunakan jangka sorong, untuk mengetahui seberapa jauh tali bergerak akibat perputaran *motor stepper*. Setiap 500 langkah pada *motor stepper* akan menghasilkan tarikan sekitar 2,5 mm. *Motor stepper* dapat bergerak cukup stabil dan konsisten seiring dengan bertambahnya jumlah Langkah yang diberikan.

Proses pengukuran gaya tarik yang bekerja pada fiber optik selama proses penarikan fiber berlangsung dengan menggunakan sensor *load cell*. *Load cell* dipilih karena mampu mendeteksi perubahan gaya secara presisi dan memberikan *output* yang linier, sehingga cocok digunakan untuk mengamati gaya tarik selama proses *tapering* (Hardiantho et al., 2021; Korposh et al., 2019). Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan pada timbangan digital dengan *load cell*, beban diukur terlebih dahulu menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berapa nilai asli pada beban yang kemudian hasilnya akan dicatat terlebih dahulu. Lalu beban akan diletakkan diatas *load cell* untuk mengetahui nilai pembacaan dari sensor dan dicocokkan dengan hasil pengukuran pada timbangan digital. Dari data **Tabel 2** diketahui bahwa sebagian nilai memiliki selisih yang sangat kecil dengan presentasi dibawah 1%, hal ini menunjukkan bahwa *load cell* telah dikalibrasi dengan baik dan mampu memberi pembacaan yang presisi. *Load cell* menunjukkan akurasi dan kestabilan yang sangat baik dalam pembacaan beban, meskipun terdapat selisih yang relative tinggi pada beban yang kecil. Hal ini tidak memengaruhi secara signifikan terhadap kinerja sensor ((Faris et al., 2022).

Setelah kalibrasi dilakukan, alat digunakan untuk melakukan proses *tapering* fiber optik dengan tiga variasi panjang penarikan, yaitu 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm. Setiap percobaan dilakukan dengan suhu stabil antara 50–55 °C. Proses penarikan berhasil dilakukan tanpa kerusakan pada fiber, dan panjang penarikan sesuai dengan yang telah diprogram dalam sistem mikrokontroler. Selain pengamatan visual, gaya tarik yang dihasilkan saat penarikan juga dicatat menggunakan *load cell*. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin panjang penarikan, gaya tarik yang dihasilkan juga meningkat. Pada panjang penarikan 0,2 cm, gaya tarik tercatat berada pada kisaran 30–40 N; pada 0,3 cm berada di kisaran 60–75 N; dan pada 0,5 cm meningkat menjadi 78–85 N. Data menunjukkan bahwa alat *tapering* mampu menarik fiber dengan panjang yang tepat dan sesuai dengan yang telah diprogramkan pada Arduino UNO.

2. Pembahasan Hasil Diameter Tapering

Pengukuran diameter sebelum dan sesudah dilakukan proses *tapering* bertujuan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik geometris fiber optik akibat proses *tapering* yang diterapkan. Pengukuran ini dilakukan sebagai bagian dari karakteristik awal untuk mengevaluasi keberhasilan proses penarikan fiber optik serta memastikan bahwa alat *tapering* yang dirancang mampu menghasilkan perubahan geometri fiber secara terkontrol dan konsisten. Karakteristik diameter menjadi parameter penting karena berkaitan dengan stabilitas struktur fiber optik serta memengaruhi perilaku propagasi cahaya di dalam inti fiber optik (Korposh et al., 2019; Taha et al., 2021).

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan menggunakan mikroskop digital, diperoleh fiber optik sebelum dilakukan proses *tapering* memiliki diameter sebesar 1,00 mm. Setelah dilakukan proses *tapering* dengan variasi panjang 0,2 cm; 0,3 cm; dan 0,5 cm diperoleh diameter sebesar 0,58 mm; 0,45 mm; dan 0,39 mm. Perbedaan nilai diameter ini menunjukkan bahwa variasi panjang *tapering* memberikan pengaruh terhadap karakteristik geometris fiber optik yang dihasilkan. Hasil ini konsisten dengan karakteristik fiber optik hasil *tapering* yang dilakukan penelitian sebelumnya, di mana perubahan panjang *tapering* berpengaruh terhadap diameter fiber optik (Granados-Zambrano et al., 2024; Hidayat et al., 2023; Taha et al., 2021).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Alat *tapering* fiber optik berbasis Arduino UNO yang dikembangkan dalam penelitian berhasil berfungsi dengan baik dan bekerja secara presisi. Alat ini dirancang dengan menggabungkan dua sistem

utama yaitu pemanas dan penarik fiber optik dalam satu rangkaian yang terintegrasi. Pemanas menggunakan kawat nikrom dengan yang dikontrol suhunya secara otomatis menggunakan logika PID, sehingga suhu selama proses *tapering* tetap bisa stabil pada rentang 50–55 °C. Sensor suhu yang digunakan yaitu termokopel tipe K. Untuk sistem penarik fiber optik menggunakan *motor stepper* 28BYJ-48 yang dikendalikan oleh Arduino UNO, menunjukkan langkah yang stabil dan sesuai dengan panjang langkah yang diprogramkan pada Arduino UNO. Selama proses penarikan fiber optik berlangsung, gaya tarik yang bekerja pada fiber dipantau dengan menggunakan sensor *load cell*. Sensor ini mampu mencatat perubahan gaya tarik secara stabil selama proses *tapering* berlangsung. Hasil pengukuran *load cell* menunjukkan bahwa semakin panjang penarikan yang dilakukan, maka semakin meningkat nilai gaya tariknya. Dengan demikian, seluruh komponen pada alat *tapering* ini dapat bekerja dengan baik sehingga proses *tapering* dapat berjalan dengan terkontrol dan dapat diulang dengan hasil yang serupa. Hal ini membuktikan bahwa alat yang dirancang tidak hanya bekerja secara fungsional, tetapi juga mampu menghasilkan kualitas taper fiber yang layak untuk digunakan dalam aplikasi sensor optik berbasis gelombang *evanescent*.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah pengembangan sistem alat *tapering* yang digunakan seperti sistem penarik fiber optik dengan menggunakan jenis penarik yang lebih presisi dan fleksibel. Menggunakan sistem pemanas dengan jenis pemanas yang dapat menghasilkan suhu yang lebih merata dan efisien selama proses *tapering* berlangsung. Memperbaiki sistem peyangga untuk fiber optik untuk memastikan proses penarikan berlangsung lurus dan tidak ada tekanan yang disebabkan oleh peyangga yang tidak rata.

DAFTAR PUSTAKA

- Butt, M.A., 2024. Dielectric Waveguide-Based Sensors with Enhanced Evanescent Field: Unveiling the Dynamic Interaction with the Ambient Medium for Biosensing and Gas-Sensing Applications—A Review. *Photonics* 11. <https://doi.org/10.3390/photonics11030198>
- Cennamo, N., Arcadio, F., Minardo, A., Montemurro, D., Zeni, L., 2020. Experimental Characterization of Plasmonic Sensors Based on Lab-Built Tapered Plastic Optical Fibers. *Appl. Sci.* 10, 4389. <https://doi.org/10.3390/app10124389>
- Elsherif, M., Salih, A.E., Muñoz, M.G., Alam, F., AlQattan, B., Antonysamy, D.S., Zaki, M.F., Yetisen, A.K., Park, S., Wilkinson, T.D., Butt, H., 2022. Optical Fiber Sensors: Working Principle, Applications, and Limitations. *Adv. Photonics Res.* 3, 2100371. <https://doi.org/10.1002/adpr.202100371>
- Faris, A.N.A., Najib, M.A., Nazri, M.N.M., Hamzah, A.S.A., Aziah, I., Yusof, N.Y., Mohamud, R., Ismail, I., Mustafa, F.H., 2022. Colorimetric Approach for Nucleic Acid *Salmonella* spp. Detection: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19, 10570. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710570>
- Granados-Zambrano, L.F., Korterik, J.P., Estudillo-Ayala, J.M., Laguna, R.R., Jauregui-Vazquez, D., Offerhaus, H.L., Alvarez-Chavez, J.A., 2024. Plasma-based optical fiber tapering rig. *HardwareX* 19, e00578. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00578>
- Hardiantho, W., Armynah, B., Arifin, A., 2021. Detection of Mercury Ions in Water using a Plastic Optical Fiber Sensor. *Indones. Phys. Rev.* 4, 95–103. <https://doi.org/10.29303/ipr.v4i2.82>
- Hidayat, N., Aziz, M.S., Krishnan, G., Johari, A.R., Nur, H., Taufiq, A., Mufti, N., Mukti, R.R., Bakhtiar, H., 2023. Tapered optical fibers using CO₂ laser and their sensing performances. *J. Phys. Conf. Ser.* 2432, 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2432/1/012013>
- Korposh, S., James, S.W., Lee, S.-W., Tatam, R.P., 2019. Tapered Optical Fibre Sensors: Current Trends and Future Perspectives. *Sensors* 19. <https://doi.org/10.3390/s19102294>

Maxim Integrated, 2021. MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated Products, Inc.

Taha, B.A., Ali, N., Sapiee, N.M., Fadhel, M.M., Mat Yeh, R.M., Bachok, N.N., Al Mashhadany, Y., Arsad, N., 2021. Comprehensive Review Tapered Optical Fiber Configurations for Sensing Application: Trend and Challenges. Biosensors 11. <https://doi.org/10.3390/bios11080253>