

# S-Syringe (Smart Syringe): Inovasi Jarum Suntik Ga-Bi Sekali Pakai

Abdillah Muhammad Habib<sup>1\*</sup>, Sembiring Yogi Marsius<sup>2</sup>, Kuncoro Bimo Adi<sup>3</sup>, Susanto Hanif Fardan<sup>4</sup>, and Wirawan Indrawata Iqbal<sup>5</sup>

<sup>12345</sup>Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan

## Abstrak

Jarum suntik sekali pakai memiliki peran penting dalam pencegahan infeksi nosokomial, namun risiko reuse dan pembuangan sharps yang tidak aman masih menjadi persoalan global. Penelitian ini mengusulkan S-Syringe, yaitu inovasi jarum suntik berbasis paduan Gallium-Bismuth (Ga-Bi) yang dirancang untuk melembek pada suhu tubuh sehingga sulit digunakan ulang dan dapat mengurangi risiko cedera tusuk jarum. Studi ini menggunakan pendekatan rekayasa desain tanpa uji laboratorium, dengan analisis perhitungan teoritis berdasarkan massa jenis material dan dimensi jarum medis Gauge 23 (ASTM A908). Komposisi Ga-Bi 80:20 menghasilkan massa jenis campuran 6,874 g/cm<sup>3</sup>, dengan berat teoritis jarum sebesar 0,04086 g, lebih ringan 12,4% dibandingkan jarum stainless steel 304 (0,04666 g). Selain itu, sifat temperature-responsive dari paduan Ga-Bi memungkinkan jarum tetap kaku pada suhu ruang namun melembek pada suhu 37 °C, sebagaimana didukung oleh literatur terkait jarum temperature-responsive. Temuan ini menunjukkan bahwa paduan Ga-Bi berpotensi menjadi material alternatif untuk jarum suntik sekali pakai yang lebih aman, ringan dan memiliki fitur pengamanan intrinsik. Penelitian lanjutan dibutuhkan untuk mengevaluasi kekuatan mekanik, biokompatibilitas dan performa klinis S-Syringe.

Keywords: Bismuth; Gallium; jarum suntik; smart syringe; temperature-responsive

## Abstract

*Single-use syringes play a crucial role in preventing nosocomial infections; however, unsafe reuse and improper disposal of sharps remain major global concerns. This study proposes the S-Syringe, a smart syringe innovation utilizing a Gallium-Bismuth (Ga-Bi) alloy engineered to soften at body temperature, thereby preventing reuse and reducing needlestick injury risks. An engineering design approach was employed without direct laboratory testing, using theoretical calculations based on material density and medical needle dimensions for Gauge 23 (ASTM A908). The 80:20 Ga-Bi composition produced a mixed density of 6.874 g/cm<sup>3</sup>, yielding a theoretical needle mass of 0.04086 g—approximately 12.4% lighter than conventional stainless steel 304 needles (0.04666 g). Additionally, the temperature-responsive behavior of the Ga-Bi alloy allows the needle to remain rigid at room temperature but soften near 37 °C, consistent with prior studies on temperature-responsive needles. These findings suggest that Ga-Bi alloys have strong potential as alternative materials for safer, lighter, and intrinsically protected single-use syringes. Further research is required to evaluate mechanical strength, biocompatibility and clinical performance of the S-Syringe.*

## Article Info

### Open Access

Submitted 28 Nov 2025

Accepted 19 Jan 2026

\*Corresponding author  
03191057@student.itk.ac.id

### Citation

Volume 1 No. 1 (2026)  
Journal of Mechanical and Industrial  
doi:  
10.18860/jomi.v1i1.37842

Keywords: Bismuth; Gallium; medical needle; smart syringe; temperature-responsive

## 1 Pendahuluan

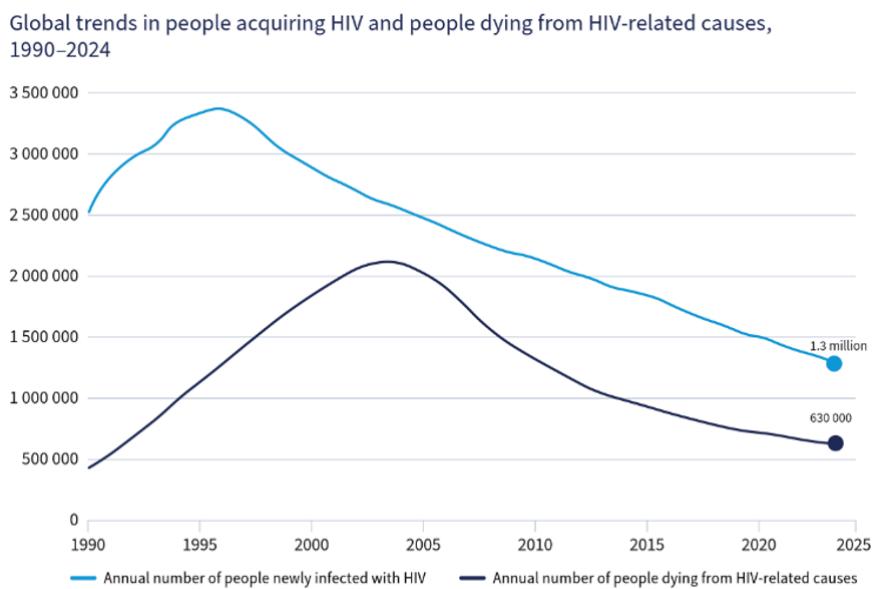
Perkembangan teknologi jarum suntik modern tidak hanya berfokus pada peningkatan efektivitas pemberian obat, tetapi juga pada peningkatan keselamatan pasien dan tenaga kesehatan. Tren terbaru menunjukkan adanya inovasi signifikan pada material jarum suntik melalui pemanfaatan logam dengan sifat mekanik adaptif, salah satunya adalah gallium. Menurut Akhtar et al. (2025), gallium memiliki karakteristik unik berupa titik leleh rendah, kemampuan berubah fase, serta biokompatibilitas yang baik, sehingga memungkinkan pengembangan jarum suntik dengan kekuatan yang dapat ditingkatkan atau diturunkan sesuai kebutuhan prosedur klinis [1]. Teknologi

jarum berbasis gallium ini dirancang untuk cukup kaku saat penetrasi jaringan, namun berubah menjadi sangat lunak setelah berada pada suhu tubuh sehingga dapat meminimalkan risiko cedera pembuluh darah, trauma jaringan, dan penularan penyakit akibat tusukan jarum.

Penelitian terdahulu oleh Akhtar et al. (2025) telah memberikan tinjauan komprehensif mengenai potensi masa depan jarum berbasis gallium serta metode fabrikasinya dalam ranah nanoteknologi medis. Relevansi teknologi ini diperkuat oleh studi eksperimental Agno et al. (2023) yang berhasil memperkenalkan desain jarum intravena temperature-responsive dengan memanfaatkan struktur gallium berongga dan enkapsulasi polimer fleksibel. Agno membuktikan bahwa jarum tersebut mampu bersifat rigid pada suhu rendah namun melembut secara permanen saat berada di lingkungan tubuh  $37^{\circ}\text{C}$ , sehingga secara signifikan menurunkan risiko needlestick injury dan mencegah penggunaan ulang (reuse).

Akan tetapi, tinjauan Akhtar et al. (2025) masih terbatas pada ulasan literatur (*review article*), sementara fokus Agno et al. (2023) lebih menitikberatkan pada mekanisme kompleks struktur berongga dan sensor [2]. Hingga saat ini, belum terdapat studi spesifik yang menyajikan analisis komparatif secara kuantitatif terkait karakteristik fisik dasar, khususnya perhitungan efisiensi massa dan densitas antara paduan solid Gallium-Bismuth (Ga-Bi) melawan material standar Stainless Steel 304 dengan mengacu pada dimensi standar ASTM A908. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut (gap) melalui pendekatan *engineering design*, guna memvalidasi secara teoritis bahwa inovasi S-Syringe tidak hanya menawarkan fitur keamanan termal, tetapi juga memiliki keunggulan fisik yang lebih ringan dan terukur dibandingkan jarum konvensional.

Penggunaan jarum suntik sekali pakai secara luas di fasilitas kesehatan memegang peran penting dalam upaya pencegahan infeksi nosokomial dan penularan melalui sharps. Namun demikian, pengelolaan limbah jarum suntik dan praktik reuse yang tidak aman masih menjadi persoalan global yang signifikan. Sebagai contoh, studi menunjukkan bahwa 35% institusi kesehatan di Ethiopia masih mengumpulkan dan membuang jarum serta benda tajam lainnya dengan cara yang menimbulkan risiko tinggi bagi tenaga kesehatan dan publik [3].



**Gambar 1.** Global trends in people acquiring HIV and people dying from HIV-related causes, 1990–2024 (UNAIDS/WHO estimates, 2025)

Gambar 1 memperlihatkan tren global jumlah infeksi HIV baru dan kematian akibat HIV dari tahun 1990 hingga 2024. Secara umum, grafik menunjukkan penurunan bertahap dalam angka kematian terkait HIV seiring meningkatnya akses terhadap terapi antiretroviral (ART), namun

tingkat infeksi baru masih bertahan pada angka yang cukup signifikan di banyak negara. Salah satu faktor yang terus berperan dalam penularan HIV, khususnya di negara berkembang, adalah praktik injeksi tidak aman, termasuk penggunaan ulang jarum suntik, pembuangan sharps yang buruk dan tidak adanya sistem manajemen limbah medis yang memadai [4]. Oleh karena itu, tren tersebut memperkuat urgensi pengembangan jarum suntik yang lebih aman untuk meminimalkan penularan penyakit melalui darah.

Di sisi lain, pemanfaatan kembali perangkat medis yang seharusnya “sekali pakai” (*single-use medical devices*) mendapatkan perhatian dalam kerangka ekonomi sirkular dan keberlanjutan, termasuk pada kategori jarum suntik. Sebuah studi memfokuskan pada tantangan penerapan ekonomi sirkular untuk perangkat medis sekali pakai dengan menyebutkan jarum suntik sebagai salah satu unsur kritis dalam rantai limbah medis [5].

Analisis terhadap praktik injeksi yang tidak aman menyimpulkan bahwa meskipun desain jarum suntik otomatis (“*autodisable*”) telah dikembangkan, masih belum ditemukan bukti kuat bahwa desain tersebut sepenuhnya eliminasi risiko reuse atau penularan infeksi darah-baik [6]. Berdasarkan kondisi tersebut, muncul kebutuhan untuk mengembangkan inovasi jarum suntik pintar (*smart syringe*) yang tidak hanya mendukung keamanan injeksi tetapi juga mengoptimalkan pengelolaan limbah serta mendukung prinsip penggunaan kembali yang aman (*reuse*) atau penggunaan yang lebih berkelanjutan (*sustainability*). Inovasi ini diharapkan menjadi solusi sinergis antara keamanan klinis, efisiensi biaya dan pengurangan dampak lingkungan.

Meskipun banyak jarum suntik modern menggunakan bahan logam standar seperti stainless steel atau baja tahan karat, penelitian menunjukkan bahwa material tersebut masih menyisakan tantangan terkait kenyamanan pengguna, kekakuan setelah injeksi, dan potensi reuse yang tidak aman. Sebagai contoh, studi eks-vivo menunjukkan bahwa penggunaan jarum suntik logam konvensional menghasilkan fluktuasi aliran injeksi dan sulit dikontrol, terutama pada diameter kecil seperti 30 G [7]. Temuan ini menegaskan perlunya pengembangan material alternatif yang mampu mengatasi keterbatasan struktural jarum konvensional sekaligus meningkatkan aspek keselamatan klinis.

Berdasarkan kondisi tersebut, muncul kebutuhan untuk mengembangkan inovasi jarum suntik pintar (*smart syringe*) yang tidak hanya mendukung keamanan injeksi tetapi juga mengoptimalkan pengelolaan limbah serta mendukung prinsip penggunaan yang lebih berkelanjutan. Salah satu material yang mulai mendapatkan perhatian adalah paduan logam rendah titik leleh, khususnya Galium-Bismuth yang menunjukkan potensi untuk menjadi material fungsional dalam sistem pengamanan jarum suntik modern. Galium memiliki titik leleh rendah sekitar 29–30 °C, sementara Bismuth bersifat biokompatibel dan tidak beracun. Keduanya mampu membentuk paduan yang titik transisinya dapat direkayasa mendekati suhu tubuh. Studi sebelumnya mengenai *temperature-responsive needle* menunjukkan bahwa paduan logam dengan sifat melembek pada suhu tubuh dapat mengurangi risiko reuse dan cedera tusuk jarum pada tenaga kesehatan [2]. Dengan demikian, penggunaan paduan Galium-Bismuth menjadi pendekatan yang menjanjikan dalam mengembangkan desain jarum suntik cerdas yang lebih aman, adaptif dan berkelanjutan.

## 2 Metode

### 2.1 Metode

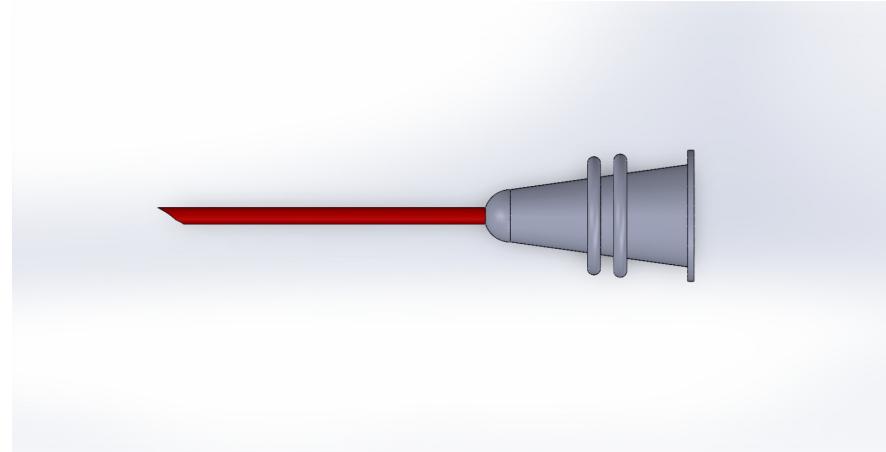
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen desain produk (engineering design approach) yang diarahkan untuk membandingkan karakteristik jarum suntik konvensional berbahan stainless steel 304 dengan jarum inovasi S-Syringe yang menggunakan paduan Galium (Ga) dan Bismuth (Bi). Seluruh analisis dilakukan tanpa uji laboratorium langsung, melainkan melalui kajian literatur dan perhitungan teoritis berdasarkan data massa jenis material dari *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, serta referensi ukuran jarum medis dari *ASTM A908: Standard Specification for Stainless Steel Needle Tubing*.

Pendekatan ini memungkinkan penilaian awal terhadap potensi perubahan karakteristik fisik jarum melalui analisis massa jenis, volume berdasarkan ukuran standar Gauge 23 dan estimasi berat jarum. Dengan demikian, metode ini menyediakan dasar kuantitatif untuk menilai efek

penggantian material SS304 dengan paduan Ga-Bi dalam konteks pengembangan jarum suntik cerdas yang lebih ringan dan berpotensi lebih efisien secara material.

## 2.2 Bahan dan Prosedur

Bahan yang menjadi dasar perbandingan adalah stainless steel 304 sebagai material jarum suntik konvensional dan paduan Galium-Bismuth (80%-20%) untuk inovasi S-Syringe. Berdasarkan data massa jenis dari CRC Handbook of Chemistry and Physics diperoleh massa jenis Galium sebesar  $6,08 \text{ g/cm}^3$  dan Bismuth sebesar  $10,05 \text{ g/cm}^3$  [8]. Untuk material pembanding, stainless steel 304 memiliki massa jenis sekitar  $7,85 \text{ g/cm}^3$ , sebagaimana tercantum dalam ASTM A908 tentang standar jarum dan tabung medis [9].



**Gambar 2.** Desain jarum suntik GaBi

Komposisi paduan yang dianalisis untuk S-Syringe adalah 80% Galium + 20% Bismuth (massa), sehingga massa jenis campuran dihitung dengan persamaan rata-rata tertimbang:

$$\rho_{GaBi} = w_{Ga} \times \rho_{Ga} + w_{Bi} \times \rho_{Bi} \quad (1)$$

Dengan  $w_{Ga}=0,8$  dan  $w_{Bi}=0,2$ . Untuk menentukan volume bagian jarum (metal needle tubing) digunakan dimensi standar Gauge 23 yang tercantum pada ASTM A908 (OD = 0,025 in = 0,635 mm; wall = 0,00625 in = 0,159 mm) sehingga didapat diameter dalam ID = OD - 2 × wall [9]. Volume logam jarum dihitung sebagai selisih volume silinder luar dan rongga dalam dan secara matematis dituliskan:

$$V = \pi \left( \frac{OD}{2} \right)^2 L - \pi \left( \frac{ID}{2} \right)^2 L = \pi \frac{L}{4} \times (OD^2 - ID^2) \quad (2)$$

Dengan L adalah panjang jarum yang diasumsikan 25 mm atau 2,5 cm. Berat teoritis bagian jarum kemudian dihitung dari massa jenis dan volume menurut:

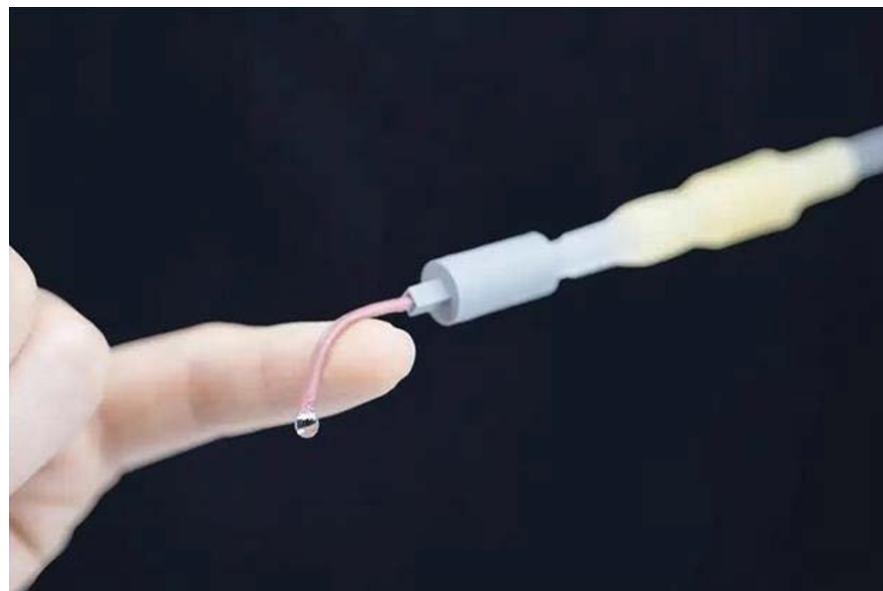
$$W = \rho \times V \quad (3)$$

Persamaan-persamaan 1 - 3 di atas menjadi dasar perhitungan komparatif antara jarum stainless steel 304 dan jarum paduan Galium-Bismuth (80:20). Dimensi Gauge 23 dan toleransinya diambil dari ASTM A908.

### 2.3 Mekanisme Kerja Material Galium-Bismuth pada S-Syringe

Desain material S-Syringe mengacu pada prinsip temperature-responsive metal yaitu material logam yang berubah sifat mekaniknya ketika terkena suhu tubuh manusia (37 °C). Mekanisme ini didasarkan pada perilaku termal paduan Galium-Bismuth yang dapat dirancang memiliki titik leleh di kisaran 35–40 °C, sehingga tetap kaku saat di luar tubuh tetapi melembek (soften) atau kehilangan kekuatan struktural ketika sudah masuk ke jaringan tubuh.

Menurut laporan dalam temperature-responsive needle study, mekanisme pelunakan terjadi karena material paduan logam tersebut mengalami transisi fasa padat-ke-semi-padat ketika temperatur naik melewati titik transisinya. Material tidak langsung cair sepenuhnya tetapi memasuki fase leleh sebagian (*partial melting region*) yang menyebabkan penurunan signifikan pada modulus elastisitas dan kekuatan tarik. Akibatnya logam menjadi lentur, tidak kaku dan kehilangan kemampuan menusuk yang dikenal sebagai “softening” atau “becoming floppy” [2][1].



**Gambar 3.** Kondisi jarum setelah mengalami pelunakan pada suhu tubuh (temperature-responsive softening) [1]

Pada S-Syringe, peran pencampuran Galium (titik leleh 29,8 °C) dengan Bismuth (titik leleh 271 °C) adalah untuk mengatur titik leleh campuran agar berada sedikit di atas suhu ruangan tetapi mendekati suhu tubuh. Pencampuran ini mengikuti karakteristik eutektik atau near-eutectic system, di mana perubahan komposisi memungkinkan rekayasa nilai titik leleh. Dengan komposisi 80% Ga – 20% Bi, transisi termal dapat dinaikkan ke kisaran 40 °C, yang membuat jarum: Tetap berada dalam kondisi keras pada suhu ruang (25–28 °C), sehingga aman dan efektif untuk proses penetrasi. Ketika mencapai suhu tubuh (37°C), material mulai melunak secara permanen karena memasuki fase semi-leleh yang menyebabkan penurunan kekakuan strukturnya.

Studi rujukan juga melaporkan bahwa desain jarum yang melembek di dalam tubuh dapat mengurangi risiko luka tusuk (needlestick injury) setelah penggunaan, karena jarum kehilangan kekuatannya segera setelah proses injeksi selesai [9]. Prinsip ini menjelaskan cara kerja S-Syringe, di mana mekanisme transisi termal berfungsi sebagai fitur keselamatan pasca-injeksi.

## 3 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan perhitungan teoritis menggunakan pendekatan engineering design, diperoleh data perbandingan karakteristik fisik antara jarum konvensional (Stainless Steel 304) dengan inovasi S-Syringe berbahan paduan Galium-Bismuth (Ga-Bi). Rangkuman hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Perbandingan Karakteristik Fisik Jarum Stainless Steel 304 vs S-Syringe (Ga-Bi)

Parameter	Satuan	Stainless Steel 304 (Konvensional)	S-Syringe (Paduan Ga-Bi 80:20)	Selisih / Keterangan
Massa Jenis ( $\rho$ )	$g/cm^3$	7,85	6,874	Ga-Bi lebih rendah 0,976 $g/cm^3$
Dimensi Jarum	-	Gauge 23 (ASTM A908)	Gauge 23 (ASTM A908)	Dimensi identik (L=2,5 cm)
Volume Logam (V)	$cm^3$	0,005944	0,005944	Volume sama untuk kedua material
Berat Teoritis (W)	gram	0,04666	0,04086	Ga-Bi lebih ringan 0,0058 gram
Persentase Berat	%	100%	87,6%	12,4% Lebih Ringan

Tabel 1 menunjukkan perhitungan massa material dengan menggunakan dimensi standar jarum medis Gauge 23 (OD 0,635 mm dan ID 0,317 mm), volume efektif logam yang digunakan adalah sebesar 0,005944  $cm^3$ . Hasil utama menunjukkan bahwa berat jarum S-Syringe adalah 0,04086 gram, sedangkan jarum Stainless Steel memiliki berat 0,04666 gram. Hal ini mengonfirmasi bahwa penggunaan paduan Ga-Bi (80:20) menghasilkan pengurangan massa sebesar 12,4% dibandingkan material konvensional.

Meskipun selisih absolutnya terlihat kecil (sekitar 5,8 mg), pengurangan massa ini memberikan benefit signifikan dalam skenario produksi massal (penghematan bahan baku) dan potensi peningkatan ergonomi alat. Selain keunggulan massa, paduan Ga-Bi ini dirancang memiliki titik leleh transisi di sekitar 40°C yang memungkinkan jarum tetap kaku (*rigid*) pada suhu ruang namun mengalami pelunakan (*softening*) saat kontak dengan suhu tubuh (37°C). Kombinasi sifat fisik yang lebih ringan dan fitur keamanan *temperature-responsive* ini menjadikan Ga-Bi kandidat material alternatif yang potensial.

Pembahasan teknis harus mempertimbangkan aspek kekuatan dan ketajaman: stainless steel 304 memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang memenuhi persyaratan needle tubing menurut ASTM A908 (*tensile strength* 150–200 ksi), sehingga penggantian seluruh jarum dengan paduan Ga-Bi memerlukan mitigasi berupa pelapisan tip atau hybrid tip (mis. tip stainless/shaft Ga-Bi) untuk memastikan performa tusuk dan ketahanan mekanik. Selain itu, sifat termal Galium (titik leleh rendah) berpotensi mempermudah proses pembentukan atau proses pembuatan khusus, namun juga menuntut perhatian pada stabilitas operasional di lingkungan bersuhu tinggi.

Secara keseluruhan, perhitungan kuantitatif berdasarkan dimensi ASTM memberikan bukti bahwa paduan Galium-Bismuth (80:20) layak dieksplorasi sebagai alternatif material untuk bagian jarum, dengan keuntungan massa yang lebih rendah dan kemungkinan kemudahan proses, tetapi diperlukan validasi mekanik dan uji biokompatibilitas sebelum aplikasi klinis. Referensi dimensi jarum dan ketentuan bahan untuk needle tubing: ASTM A908.

#### 4 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan paduan Galium-Bismuth (80%–20%) pada desain inovasi S-Syringe berpotensi menjadi alternatif material jarum suntik yang lebih ringan, aman, dan berorientasi pada keselamatan tenaga kesehatan. Berdasarkan perhitungan menggunakan dimensi jarum medis Gauge 23 dari ASTM A908, volume efektif logam jarum adalah 0,005944  $cm^3$ , sehingga berat jarum konvensional berbahan stainless steel 304 tercatat sekitar 0,04666 g, sedangkan jarum inovatif Ga-Bi memiliki berat 0,04086 g. Hasil ini menunjukkan adanya pengurangan massa ±12,4%, yang meskipun kecil secara absolut, tetapi signifikan dalam konteks efisiensi bahan dan ergonomi instrumen medis.

Selain keunggulan massa, paduan Ga-Bi juga menunjukkan mekanisme respons suhu yang menjadi inti konsep S-Syringe. Dengan rekayasa titik leleh campuran menuju kisaran sekitar 40 °C, jarum tetap kaku pada suhu ruang, tetapi mengalami pelunakan struktural (*softening*) saat mencapai suhu tubuh manusia (37 °C). Mekanisme ini menyebabkan jarum kehilangan kekakuan setelah penyuntikan dan mengurangi risiko cedera tusuk jarum (*needlestick injury*) pada tenaga kesehatan, sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya mengenai jarum *temperature-responsive*. Dengan demikian, perpaduan antara pengurangan berat, kemudahan rekayasa, dan fitur keamanan berbasis respons

suhu menjadikan paduan Ga-Bi sebagai kandidat material yang layak untuk pengembangan jarum suntik cerdas.

Namun, implementasi S-Syringe tetap memerlukan tahap penelitian lanjutan, terutama terkait karakteristik mekanik, ketahanan terhadap deformasi, biokompatibilitas, dan uji performa klinis. Secara keseluruhan, studi ini memberikan dasar awal yang kuat bahwa paduan Galium-Bismuth dapat menjadi alternatif inovatif yang mendukung konsep jarum suntik sekali pakai yang lebih aman, lebih ringan, dan memiliki fitur pengamanan intrinsik berbasis sifat termal material. suggestions for future experiments.

## Daftar Pustaka

- [1] Akhtar SO, Kim JW, Bosotov D, Abdullah Y, Munsif M, Karim F, et al. Gallium Needles: Piercing Through the Future of Nanotechnology and Material Science. *Fortune Journal of Health Sciences*. 2025;8(1):46-56.
- [2] Agno KC, Yang K, Byun SH, Oh S, Lee S, Kim H, et al. A temperature-responsive intravenous needle that irreversibly softens on insertion. *Nature Biomedical Engineering*. 2024;8(8):963-76.
- [3] Janik-Karpinska E, Brancaleoni R, Niemcewicz M, Wojtas W, Foco M, Podogrocki M, et al. Healthcare waste—a serious problem for global health. In: *Healthcare*. vol. 11. MDPI; 2023. p. 242.
- [4] Who. HIV statistics, globally and by WHO region. World Health Organization Geneva; 2023.
- [5] Quronfuleh B, Sleath D, Rahimifard S. Circular economy for medical devices: a case study of syringes. *Procedia CIRP*. 2024;122:449-54.
- [6] Ali Khan A, Munir M, Miraj F, Imran S, Arif Siddiqi D, Altaf A, et al. Examining unsafe injection practices associated with auto-disable (AD) syringes: a systematic review. *Human vaccines & immunotherapeutics*. 2021;17(9):3247-58.
- [7] Tzafalia M, Sixou JL. Administration of anesthetics using metal syringes. An ex vivo study. *Anesthesia progress*. 2011;58(2):61-5.
- [8] Lide DR. CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data. CRC press; 1995.
- [9] International A. Standard Specification for Stainless Steel Needle Tubing. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2013.