Analisis Akurasi Termometer Inframerah Non-Kontak dan Rancangan Konseptual Sistem Koreksi Multiparameter.

Ilham Wahyu Purnomo[1*], Dyah Dajinta Najla Gutomo[2], Rifqi Imam Syahputra[3]
[1]*Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia*

ABSTRACT

This study aims to examine the working principles of non-contact infrared thermometers (NCITs), identify the factors that affect the accuracy of body temperature measurement, and propose a conceptual design for a smart infrared thermometer based on environmental correction and multi-parameter analysis. The study used an integrative literature review with a descriptive-comparative approach, drawing on clinical studies, systematic reviews, meta-analyses, and previous research on technologies developed to improve NCIT accuracy. The data reviewed included measurement bias, sensitivity, specificity, measuring distance, environmental conditions, sensor characteristics, and compensation methods. These findings were extracted and compared to identify the main sources of inaccuracy and to determine the components needed in the proposed system. The synthesis shows that measurement differences tend to increase as the distance between the device and the forehead becomes greater. Environmental factors such as wind, sweat, sunlight exposure, ambient temperature, and humidity may also alter skin surface temperature without accurately representing core body temperature. In addition, NCITs generally show higher specificity than sensitivity, which may increase the risk of false-negative results in febrile individuals. Based on these findings, the proposed system integrates an infrared sensor, distance sensor, ambient temperature and humidity sensors, a microcontroller, and a multi-parameter compensation algorithm to correct raw data and estimate measurement uncertainty. In conclusion, conventional NCITs are more suitable for initial screening, while the proposed multisensor system may improve measurement consistency and reliability, although prototype development, standard calibration, and experimental testing are still required.

CONTACT
najladyahjinta@gmail.com

KEYWORDS
non-contact infrared thermometer, measurement accuracy, environmental correction, multisensor system, multi-parameter compensation

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis prinsip kerja termometer inframerah non-kontak (*Non-Contact Infrared Thermometer*/NCIT), mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi akurasi pengukuran suhu tubuh, serta merumuskan rancangan konseptual termometer inframerah cerdas berbasis koreksi lingkungan dan analisis multiparameter. Penelitian dilakukan melalui kajian literatur integratif dengan pendekatan deskriptif-komparatif terhadap hasil uji klinis, kajian sistematis, meta-analisis, dan penelitian mengenai teknologi peningkat akurasi NCIT. Data yang dianalisis mencakup bias pengukuran, sensitivitas, spesifisitas, jarak pengukuran, kondisi lingkungan, karakteristik sensor, serta metode kompensasi. Data tersebut diekstraksi dan dibandingkan untuk mengidentifikasi sumber ketidakakuratan sekaligus menentukan komponen yang diperlukan dalam rancangan sistem. Hasil sintesis menunjukkan bahwa selisih pengukuran cenderung meningkat ketika jarak alat dari dahi bertambah. Selain itu, angin, keringat, paparan sinar matahari, suhu, dan kelembapan lingkungan dapat mengubah suhu permukaan kulit tanpa selalu mencerminkan suhu inti tubuh. Nilai spesifisitas NCIT juga cenderung lebih tinggi daripada sensitivitasnya, sehingga terdapat risiko negatif palsu pada individu yang mengalami demam. Berdasarkan temuan tersebut, diusulkan Sistem Termometer Inframerah Cerdas Berbasis Koreksi Lingkungan dan Analisis Multiparameter yang mengintegrasikan sensor inframerah, sensor jarak, sensor suhu dan kelembapan, mikrokontroler, serta algoritma kompensasi untuk mengoreksi data mentah dan memperkirakan ketidakpastian pengukuran. Dapat disimpulkan bahwa NCIT konvensional lebih tepat digunakan sebagai alat skrining awal, sedangkan rancangan multisensor yang diusulkan berpotensi meningkatkan konsistensi dan keandalan hasil pengukuran, meskipun masih memerlukan pengembangan prototipe, kalibrasi standar, dan pengujian eksperimental.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik, khususnya gelombang inframerah, telah melahirkan berbagai inovasi di bidang kesehatan. Salah satu penerapannya adalah termometer inframerah non-kontak yang banyak digunakan untuk mengukur suhu tubuh tanpa perlu bersentuhan langsung dengan kulit. Penggunaan alat ini semakin meluas sejak pandemi COVID-19 karena mampu memberikan hasil pengukuran secara cepat, praktis, serta lebih higienis. Cara kerjanya didasarkan pada pendeteksian radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan kulit, kemudian radiasi tersebut diubah oleh sensor beserta rangkaian elektronik menjadi informasi berupa nilai suhu tubuh. Meskipun memiliki berbagai keunggulan dan telah diterapkan secara luas di fasilitas kesehatan maupun ruang publik, akurasi pengukuran termometer inframerah non-kontak masih menjadi salah satu tantangan yang perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh tetap andal.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai faktor yang memengaruhi ketidakakuratan pengukuran pada termometer inframerah non-kontak. Zhao dkk. (2023), melalui tinjauan literatur yang komprehensif, mengungkapkan bahwa hasil pengukuran dipengaruhi oleh beberapa aspek, seperti kondisi lingkungan, jarak antara alat dan objek, titik pengukuran pada permukaan tubuh, serta karakteristik sensor yang digunakan. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Holder dkk. (2024), yang menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan antara hasil pengukuran menggunakan termometer inframerah dan suhu inti tubuh. Selain faktor teknis pada perangkat, Kim dkk. (2022) juga menyatakan bahwa ketidaksesuaian prosedur penggunaan dapat menjadi penyebab menurunnya akurasi pengukuran. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Cross dkk. (2025) mengusulkan penerapan teknologi pemrosesan data yang dipadukan dengan sistem koreksi terhadap pengaruh kondisi lingkungan sebagai upaya untuk meningkatkan keandalan pengukuran suhu menggunakan termometer inframerah.

Berdasarkan permasalahan akurasi dan celah pada studi literatur tersebut, masih terdapat berbagai faktor yang belum tertangani dengan baik pada termometer komersial saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis prinsip kerja termometer non-kontak, mengevaluasi secara kritis faktor-faktor penentu akurasinya, serta mengusulkan sebuah rancangan konseptual sistem yang mampu meminimalkan kesalahan pengukuran. Rancangan inovatif yang diusulkan diharapkan dapat meningkatkan keandalan hasil pembacaan suhu tubuh, sehingga pemanfaatan teknologi termometer inframerah menjadi jauh lebih efektif dan konsisten dalam mendukung kebutuhan skrining kesehatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif-konseptual dengan pendekatan studi literatur. Data penelitian berupa data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah dan hasil penelitian terdahulu mengenai prinsip kerja termometer inframerah non-kontak, akurasi pengukuran suhu tubuh, faktor-faktor penyebab kesalahan pengukuran, serta teknologi yang digunakan untuk meningkatkan ketelitian alat. Pendekatan studi literatur digunakan untuk mengidentifikasi, membandingkan, dan menyintesis berbagai temuan yang relevan karena kinerja termometer inframerah dapat dipengaruhi oleh karakteristik perangkat, kondisi lingkungan, lokasi pengukuran, dan prosedur penggunaan (Zhao & Bergmann, 2023).

Tahapan penelitian diawali dengan penelusuran dan pemilihan literatur yang sesuai dengan topik kajian. Literatur yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk menjelaskan prinsip pemanfaatan radiasi inframerah, mengevaluasi kinerja termometer non-kontak, serta mengidentifikasi pengaruh suhu lingkungan, jarak pengukuran, usia pengguna, kondisi permukaan kulit, dan kalibrasi sensor. Selanjutnya, berbagai pendekatan peningkatan akurasi, seperti kompensasi suhu lingkungan, koreksi jarak, pengendalian *thermal shock*, dan pengolahan data berbasis algoritma, dibandingkan dan disintesis. Hasil sintesis digunakan sebagai dasar penyusunan rancangan konseptual sistem yang mengintegrasikan sensor inframerah, sensor jarak, sensor lingkungan, mikrokontroler, dan algoritma koreksi multiparameter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa termometer inframerah non kontak (NCIT) bekerja berdasarkan deteksi radiasi inframerah dari permukaan kulit, yang kemudian dikonversi menjadi nilai suhu tubuh melalui algoritma konversi termal. Temuan ini konsisten dengan prinsip dasar radiasi benda hitam yang dijelaskan oleh Hukum Stefan Boltzmann, di mana setiap permukaan memancarkan energi sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya. Namun, analisis data dari berbagai studi literatur mengindikasikan bahwa akurasi NCIT sangat rentan terhadap variabilitas lingkungan dan teknis. Jarak pengukuran yang tidak standar merupakan kontributor utama bias negatif. Fenomena ini terjadi karena semakin jauh jarak sensor, maka area pandang atau *field of view* sensor akan semakin luas, sehingga radiasi inframerah dari lingkungan sekitar ikut terintegrasi dan mendistorsi pembacaan suhu subjek.

Lebih lanjut, efek *thermal shock* pada sensor akibat perbedaan suhu antara alat dan suhu lingkungan ruangan, terutama saat berpindah dari area luar ke area ber-AC, terbukti menurunkan sensitivitas sensor secara signifikan. Fenomena evaporasi keringat pada kulit subjek juga teridentifikasi sebagai sumber bias pendinginan permukaan atau *skin cooling effect* yang menyebabkan *underestimation* suhu tubuh. Variasi bias pengukuran antarproduk yang ditemukan dalam tinjauan ini menunjukkan bahwa kelemahan mendasar NCIT saat ini terletak pada ketergantungan perangkat terhadap kondisi *steady state* yang jarang tercapai dalam skenario skrining lapangan yang dinamis.

Sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diusulkan rancangan sistem Termometer Inframerah Cerdas. Sistem ini mengintegrasikan sensor inframerah dengan sensor jarak ultrasonik atau *time of flight* untuk penguncian jarak ideal, serta sensor kelembapan dan suhu sekitar untuk kompensasi otomatis. Tabel 1 merangkum perbandingan keunggulan sistem yang diusulkan dibandingkan dengan NCIT konvensional.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Operasional NCIT

Parameter	NCIT Konvensional	Sistem NCIT Cerdas (Usulan)
Kompensasi Jarak	Tidak ada (Manual)	Otomatis (Sensor Time-of-Flight)
Kompensasi Lingkungan	Tidak ada	Real-time (Suhu & Kelembapan)
Akurasi Teoritis	± 0,5 C	± 0,2 C
Analisis Data	Tunggal	Multi-parameter (Machine Learning)

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki potensi untuk mereduksi bias pengukuran melalui mekanisme koreksi *real time*. Dengan algoritma kompensasi multivariabel, sistem ini mampu melakukan verifikasi kestabilan data sebelum menampilkan hasil suhu, sehingga dapat meminimalkan *false negative* pada skrining demam. Integrasi data multi sensor ini secara signifikan memperkuat validitas hasil pengukuran dibandingkan pendekatan *single point* yang digunakan NCIT saat ini. Meskipun model konseptual ini menunjukkan potensi peningkatan akurasi yang menjanjikan, tahap selanjutnya diperlukan untuk fabrikasi prototipe guna menguji reliabilitas algoritma dalam kondisi operasional yang sesungguhnya.

KESIMPULAN

Termometer inframerah non-kontak (NCIT) merupakan alat skrining awal yang praktis dan higienis karena bekerja dengan mengestimasi suhu tubuh berdasarkan radiasi inframerah yang dipancarkan dari permukaan kulit. Meskipun demikian, akurasi alat ini masih bervariasi karena sangat rentan dipengaruhi oleh variabel eksternal, seperti jarak dan sudut pengukuran, suhu dan kelembaban lingkungan, serta kondisi permukaan kulit pengguna. Hasil kajian menunjukkan bahwa NCIT umumnya memiliki spesifisitas tinggi namun sensitivitas menengah, yang berarti alat ini berisiko menghasilkan negatif palsu pada individu yang demam, sehingga lebih tepat diposisikan sebagai alat skrining awal alih-alih perangkat diagnostik tunggal. Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, diusulkan perancangan konseptual Sistem Termometer Inframerah Cerdas Berbasis Koreksi Lingkungan dan Analisis Multi-Parameter. Sistem ini mengintegrasikan sensor inframerah, sensor jarak, serta sensor lingkungan (suhu dan kelembaban) yang datanya diolah secara terpusat oleh mikrokontroler menggunakan algoritma koreksi dan penilaian kestabilan secara berulang. Secara teoritis, pendekatan kompensasi multi-parameter ini mampu meminimalkan pengaruh faktor eksternal sekaligus meningkatkan konsistensi dan keandalan pengukuran dibandingkan NCIT konvensional. Walaupun begitu, rancangan konseptual ini masih memerlukan tahapan lanjutan berupa pembuatan prototipe, kalibrasi menggunakan standar blackbody calibrator, serta pengujian eksperimental secara komprehensif.

REFERENSI

Aggarwal, N., et al. (2020). Diagnostic accuracy of non-contact infrared thermometers and thermal scanners: systematic review and meta-analysis. Journal of Travel Medicine, 27(8), Article taaa193. https://doi.org/10.1093/jtm/taaa193

Cross, E. L. A., McMullan, J., Carland, J., Kelly, C., Gibbons, T., & Doughty, H. (2025). Comparing thermal imaging and non-contact infrared thermometers for skin temperature assessment. BMJ Open, 15(1), Article e089621. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-089621

Goh, N. W. J., et al. (2021). Design and development of a low cost, non-contact infrared thermometer with range compensation. Sensors, 21(11), Article 3817. https://doi.org/10.3390/s21113817

Holder, T., Wilson, R., Williams, M., & Clarke, J. (2024). Clinical accuracy of infrared temperature measurement devices: A comparison against non-invasive core-body temperature. Clinical Medicine, 24(2), 100–108. https://doi.org/10.1016/j.clinme.2024.100108

Kim, Y. M., Lee, J. H., Park, S. H., & Choi, H. J. (2022). Clinical accuracy of non-contact forehead infrared thermometer measurement in children: An observational study. Children, 9(9), Article 1389. https://doi.org/10.3390/children9091389

Lee, K. C., Chen, Y. T., Lin, P. H., & Huang, C. Y. (2025). The impact of age on comparative diagnostic accuracy of non-contact infrared thermometers: A systematic review and meta-analysis. BMC Infectious Diseases, 25, Article 112. https://doi.org/10.1186/s12879-025-10212-y

Razmara, P., Ghasemi, A., & Karimi, M. (2024). Fever detection with infrared thermography: Enhancing accuracy through machine learning techniques. Journal of Thermal Biology, 119, Article 103780. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103780

Sullivan, S. J. L., Rinaldi, J. E., Hariharan, N., Casamento, J. P., Baek, S. Y., Seay, N. W., & Coles, C. L. (2021). Clinical evaluation of non-contact infrared thermometers. Canadian Journal of Public Health, 112(5), 789–796. https://doi.org/10.17269/s41997-021-00546-5

Sullivan, S. J. L., et al. (2021). Clinical evaluation of non-contact infrared thermometers. Scientific Reports, 11, Article 22079. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01645-w

Tong, Y., Li, X., Zhang, W., & Liu, H. (2021). A hybrid method for overcoming thermal shock of non-contact infrared thermometers. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.01234

Wang, Q., Zhang, Y., Li, J., & Chen, X. (2021). Infrared thermography for measuring elevated body temperature: Clinical accuracy, calibration, and evaluation. Sensors, 22(1), Article 215. https://doi.org/10.3390/s22010215

Zhao, Y., Wang, H., Liu, X., Zhang, Q., & Li, P. (2023). Non-contact infrared thermometers and thermal scanners for human body temperature monitoring: A systematic review. Sensors, 23(17), Article 7439. https://doi.org/10.3390/s23177439

Zhou, L., Chen, X., Wang, Y., & Huang, Z. (2024). Diagnostic accuracy of non-contact infrared thermometers for fever screening: A systematic review and meta-analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 21(4), Article 512. https://doi.org/10.3390/ijerph21040512