

EFEKTIVITAS PENGUKURAN GLUKOSA DENGAN ALAT NON-INVASIF PADA PASIEN DENGAN DIABETES

Melitus: A Literature Review

Yeane Anastania

yeane.anastania@ui.ac.id

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Pemantauan glukosa merupakan salah satu pilar dalam tatalaksana Diabetes Melitus. Alat pemantauan glukosa saat ini yang masih jamak ditemukan berupa meter sebagai alat pengukur dan menggunakan strip yang akan menghubungkan dengan meter. Strip kemudian akan ditetesi bahan berupa darah dari jari pasien yang ditusuk dengan jarum penusuk. Pemantauan ini bersifat invasif, menyakitkan untuk pasien serta meningkatkan risiko terjadinya infeksi akibat tindakan invasif tersebut. Tujuan: Memberikan gambaran dari hasil Literature Review tentang alternatif pemeriksaan glukosa non-invasif yang diharapkan dapat meningkatkan kepatuhan pasien Diabetes Meliitus dalam memeriksa kadar glukosa dalam tubuh. Pembahasan: Dari hasil telaah dan review jurnal pilihan didapatkan kesimpulan bahwa terdapat beberapa alternatif pemantauan glukosa non-invasif yang masih perlu pengembangan lebih lanjut. Rekomendasi: diharapkan penelitian berikutnya dapat mengembangkan alat pengukur glukosa non-invasif yang dapat menunjukkan hasil real-time.

Kata Kunci: *Diabetes Mellitus, Non-Invasive Glucose Measurement.*

PENDAHULUAN

Perkumpulan ahli endokrinologi Indonesia mendefinisikan hiperglikemia sebagai suatu keadaan medis dimana terjadi peningkatan kadar glukosa darah melebihi standar nilai normal yang menjadi ciri khas beberapa penyakit terutama diabetes melitus di samping berbagai kondisi lainnya (Perkeni, 2023). Sedangkan diabetes melitus digambarkan sebagai suatu kondisi kronik dimana kadar gula darah dalam tubuh melebihi normal akibat pancreas tidak lagi memproduksi insulin, atau tubuh tidak dapat menggunakan insulin dengan efektif (IDF, 2021a). Indonesia sebagai negara berpenduduk terbanyak ke-empat di dunia pada tahun 2030 diprediksi 23 juta penduduknya menderita diabetes melitus (IDF, 2021b). Dengan demikian diperlukan tata laksana yang baik agar penyandang diabetes dapat mempertahankan kualitas hidup yang baik serta mengurangi risiko komplikasi jangka panjang.

Tujuan pengelolaan diabetes itu sendiri untuk mencapai kadar glukosa normal tanpa

hipoglikemia, serta tanpa mempengaruhi aktivitas dan gaya hidup diabetesi (Brunner& Suddarth, 2022). Lima pilar penatalaksanaan diabetes adalah edukasi, manajemen nutrisi, latihan fisik, pemantauan gula darah, dan terapi farmakologi (Soelistijo, 2021). Pemantauan glukosa secara berkala menjadi salah satu bagian penting dalam manajemen diabetes melitus yang efektif (Sanai et al., 2023). Selain itu pemantauan glukosa dan control glikemik dihubungkan dengan kejadian komplikasi, serta mencegah morbiditas dan mortalitas terkait hipoglikemia dan hiperglikemia. Namun metode pemantauan yang saat ini ada semuanya bersifat invasif, memberikan pengalaman tidak nyaman sehingga menjadi sebab penyanggah diabetes enggan melakukan pemeriksaan (Hadar et al., 2019).

Ilmu pengetahuan dan teknologi dalam manajemen diabetes melitus terus berkembang termasuk inovasi-inovasi yang bertujuan meningkatkan kepatuhan, pengobatan, pemantauan dan kualitas hidup penyanggah diabetes. Salah satunya adalah pengembangan pemantauan glukosa non-invasif. Literature review ini dilakukan untuk memberi gambaran adanya alternatif-alternatif pemantauan glukosa non-invasif yang diharapkan dapat meningkatkan kepatuhan penyanggah diabetes dalam melakukan pemantauan glukosa yang mendukung tercapainya manajemen diabetes melitus.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode literature review, yaitu studi telaah hasil penelitian-penelitian yang berkaitan dengan pemeriksaan glukosa secara non-invasif yang didapatkan dari berbagai sumber. Artikel-artikel yang dilakukan review didapat dari perpustakaan digital Universitas Indonesia dengan menggunakan sumber daya elektronik Summon Discovery Search dimana artikel-artikel yang didapat berasal dari database-database yang dilanggan oleh perpustakaan Universitas Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut artikel-artikel penelitian yang peneliti pilih dalam studi literatur ini:

Tabel 1: Rincian hasil artikel-artikel penelitian

No	Penulis/Tahun	Judul Penelitian	Nama Jurnal	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Kitazaki et al (2022)	<i>Glucose emission spectra through mid-infrared passive spectroscopic imaging of the wrist for non-invasive glucose sensing</i>	<i>Scientific Reports</i>	Mengukur glukosa dari jarak jauh dengan menggunakan pencitraan spektroskopi pasif inframerah-tengah	Studi Eksperimental	Teknik pencitraan spektroskopi pasif inframerah-tengah dapat menunjukkan efek variasi glukosa yang didapat dari jarak jauh dan non-invasif dengan menggunakan spektroskopi <i>fourier</i> dua dimensi
2	Chen-Wei Lin et al (2023)	<i>A Novel Salivary</i>	<i>Biosensors</i>	Mengukur kadar glukosa	<i>Pilot study, cross-</i>	Konduktivitas air liur ditemukan lebih

		<i>Sensor with Integrated Au Electrodes</i>		darah dengan <i>nano-sensing probes</i> yang terintegrasi au mikroelectroda dan konduktivitas pada saliva	<i>sectional</i>	tinggi pada orang dengan kadar glukosa puasa atau HbA1c yang lebih tinggi sehingga berpotensi menjadi biomarker yang potensial untuk memantau kadar glukosa darah dan skrining pasien diabetes di masa depan.
3	Masakazu Aihara, et al (2020)	<i>Association between tear and blood glucose concentration s: Random intercept model adjusted with confounders in tear samples negative for occult blood</i>	<i>Journal of Diabetes Investigation</i>	Pemantauan kadar glukosa air mata sebagai alternatif pemantauan glukosa non-invasif	Studi Observasi	Pemantauan glukosa airmata untuk pemantauan glukosa non-invasif. Tiga temuan, 1. perbedaan individu dalam hubungan antara glukosa darah dan glukosa airmata. 2. Hubungan ini dikorelasikan kadar HbA1c dan kadar glukosa makan. 3. Kontaminasi sampel air mata dengan darah menyebabkan peningkatan palsu konsentrasi glukosa airmata
4	Pichatorn Suppakitjanusant, et al (2023)	<i>Predicting glycemic control status and high blood glucose levels through voice</i>	<i>Scientific Reports</i>	Mengetahui hubungan antara karakteristik suara dan penanda control	<i>Prospective pilot study</i>	Adanya peluang menggunakan suara manusia sebagai alat non-invasif untuk penilaian control glikemik pada pasien dengan

		<i>characteristic analysis in patients with cystic fibrosis-related diabetes (CFRD)</i>		glukosa dan glikemik serta mengidentifikasi kasus glukosa darah tinggi dan control glikemik melalui suara		<i>Chronic failure related diabetes</i>
5	Sankhala et al (2022)	<i>A machine learning-based on-demand sweat glucose reporting platform</i>	<i>Scientific reports</i>	Mengukur konsentrasi glukosa dari keringat yang diekspresikan secara pasif menggunakan spektroskopi impedansi elektrokimia dan permukaan sensor yang berfungsi sebagai probe penangkap afinitas	Penelitian laboratorium	Tren perkembangan glukosa dapat ditangkap dengan tepat dengan menggunakan sensor keringat yang ditangkap tiap 1-5 menit.
6	Omer et al (2020)	<i>Low-cost portable microwave sensor for non-invasive monitoring of blood glucose level: novel design utilizing a four cell CSRR hexagonal configuration</i>	<i>Scientific reports</i>	Mengukur kadar glukosa darah dengan menggunakan perangkat sensor gelombang mikro	Penelitian laboratorium	Perangkat sensor gelombang mikro berpotensi menjadi alat pemantau glukosa darah yang dipersonalisasi, cepat, akurat, dan non-invasif yang dapat dikembangkan seperti jam tangan pintar serupa dengan penginderaan napas dan detak jantung
7	Pal et al (2022)	<i>Non-invasive blood glucose sensing by</i>	<i>Journal of Biomedical optics</i>	Mengukur konsentrasi glukosa dalam	Studi eksperimental	Sensor berbasis serat MM memungkinkan

		<i>machine learning of optic fiber-based speckle pattern variation</i>		aliran darah dengan mengekstraksi dan menganalisa pola spekel yang dikumpulkan		penginderaan glukosa darah non-invasif. Dengan pengembangan lebih lanjut, pengukuran dapat otomatis, <i>real time</i> , yang dapat menganalisa perubahan kadar glukosa darah yang sesuai untuk manusia
8	Kandwal et al (2020)	<i>Highly Sensitive Closed Loop Enclosed Split Ring Biosensor With High Field Confinement for Aqueous and Blood-Glucose Measurement</i>	Scientific Reports	Mengukur tingkat glukosa dalam tubuh dengan menggunakan <i>highly sensitive closed loop enclosed split ring biosensor</i>	Studi eksperimental	Perangkat dapat secara efektif mengukur konsentrasi glukosa darah dalam larutan glukosa air deionisasi dan selama pengamatan pada tubuh manusia.
9	Reyes et al (2020)	<i>Analysis and design of photoplethysmography for glucose measurement using near-infrared spectroscopy analyzing human body physical and functional variables</i>	2020 IEEE International Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2020	Mengukur glukosa darah dengan menggunakan spektroskopi inframerah-dekat	Studi eksperimental	Pengukuran glukosa dengan menggunakan spektroskopi inframerah-dekat dapat dilakukan dengan variabel persentase lemak dan suhu lengan bawah tertentu untuk menemukan model yang menggambarkan jumlah glukosa yang ada di dalam darah dengan benar.
10	Schwarz et al	<i>A pilot trial to</i>	<i>Sensors</i>	Mengukur	<i>Pilot study</i>	Glukometer radio

	(2021)	<i>evaluate the accuracy of a novel non-invasive glucose meter</i>		glukosa secara non-invasif dengan berdasar pada reaksi listrik jaringan biologis ke gelombang RF		frekuensi berbasis HGR terbukti dapat menjadi alternatif pengukur glukosa darah non-invasif meskipun ada banyak tantangan dalam penerapan termasuk kebutuhan akan sensitivitas termasuk faktor yang dapat mempengaruhi sifat dielektrik seperti perubahan suhu kulit, posisi sensor, dan gerakan pasien.
11	Bordbar et al(2023)	<i>Monitoring saliva compositions for non-invasive detection of diabetes using a colorimetric-based multiple sensors</i>	<i>Scientific Reports</i>	Mengukur glukosa darah pada sampel saliva dengan menggunakan beberapa sensor berbasis substrat kertas	Studi eksperimental	Uji statistic menunjukkan beberapa sensor dapat digunakan sebagai perangkat pemantau glukosa non-invasif dengan menyajikan beberapa perubahan warna reseptor penginderaan dan kadar glukosa darah
12	Sanai et al (2023)	<i>Evaluation of a Continuous Blood Glucose Monitor: A Novel and Non-Invasive Wearable Using Bioimpedance Technology</i>	<i>Journal of Diabetes Science and Technology</i>	Mengembangkan <i>prototipe non-invasif continuous glucose monitoring</i> berupa <i>wearable ring</i> yang menggunakan teknologi bioimpedansi	Studi klinis observasi	Prototipe NI-CGM berupa cincin ini mengumpulkan data bioimpedansi bersama dengan data kadar glukosa dari glucometer dan CGM kemudian ditransformasikan untuk meningkatkan akurasi nilai yang sesuai sehingga

						dapat memperkirakan kadar glukosa darah.
--	--	--	--	--	--	--

PEMBAHASAN

Salah satu pilar dalam pengendalian diabetes melitus adalah dengan pengendalian glukosa darah. Pemeriksaan glukosa yang saat ini lazim dilakukan dengan menggunakan alat glucometer yang dapat digunakan oleh penyandang diabetes sendiri atau oleh keluarganya (PERKENI, 2021). Meskipun lazim digunakan, namun penggunaan glucometer mempunyai risiko kontaminasi dan sepsis, terutama pada pemakaian alat glucometer bersama (Malik et al., 2019). Selain itu pemeriksaan dengan menggunakan glucometer memerlukan sampel darah yang diambil dari ujung jari penyandang diabetes dimana prosedur tersebut menimbulkan rasa nyeri, tidak nyaman, dan berisiko infeksi (Tobore et al., 2019)

Dari sepuluh artikel alat pengukur glukosa darah non-invasif yang ditelaah sampel yang digunakan untuk memprediksi kadar glukosa darah bermacam-macam, mulai dari spektroskopi, air liur/saliva, keringat, radio frekuensi, suara, airmata, biosensor, dan serat optic. Pada penggunaan saliva sebagai sampel yang dilakukan oleh Lin, terdapat batasan dimana sampel saliva diambil pada pagi hari dimana pasien mengalami dehidrasi ringan. Selain itu komposisi air liur seperti elektrolit pada kelompok pasien diabetes dan non-diabetes juga tidak dianalisa (Lin et al., 2023). Sedangkan pada penelitian lainnya menyimpulkan perubahan usia tidak mempengaruhi respon terhadap sensor (Bordbar et al., 2023).

Pada penelitian dengan menggunakan teknologi bioimpedansi, partisipan mengenakan prototipe perangkat non-invasive continuous glucose monitoring secara terus-menerus selama 14 hari kecuali saat pengisian ulang, mandi, olahraga berat atau kegiatan yang berkaitan dengan air. Pengukuran dilakukan setiap 10 dan 15 menit secara otomatis. Pada penelitian dengan bioimpedansi ini diperlukan pengembangan dan studi klinis lebih lanjut untuk menghasilkan data kadar glukosa dalam rentang hipoglikemia dan hiperglikemia yang lebih luas (Sanai et al., 2023).

Spektroskopi juga dikembangkan untuk menilai kadar glukosa darah dengan mengumpulkan data dari pancaran cahaya, penyerapan bunyi, pemantulan energi yang dihasilkan oleh materi tersebut. Dengan penggunaan spektroskopi, terdapat korelasi yang jelas antara kadar glukosa darah dan naiknya emisi tertentu (Kitazaki et al., 2022). Selain itu dikembangkan pula dengan sampel keringat dimana teknologi platform sensor keringat menunjukkan respons dinamis terhadap kisaran glukosa keringat (Sankhala et al., 2022).

Salah satu pengembangan perangkat pendeteksi glukosa darah non-invasif yang cukup menjanjikan adalah penggunaan gelombang radio frekuensi yang dapat dikembangkan seperti smart watch yang memiliki fitur-fitur menarik selain pemantauan kadar glukosa darah selain ukuran kompak dan fabrikasi sederhana serta efek samping minimal (Omer et al., 2020).

Status kontrol glikemik yang buruk dihubungkan dengan Noise-to-Harmonic Ratio (NHR), dari sini, suara manusia berpotensi dijadikan sebagai pengukur kadar glukosa dan status control glikemik meskipun masih terbatas pada pasien dengan Cystic Fibrosis Related Diabetes (Suppakitjanusant et al., 2023).

Penelitian berikutnya yang menarik untuk dikembangkan sebagai alat pengukur glukosa darah yaitu dengan menggunakan sampel air mata, dimana telah lama diketahui jika

ada hubungan antara glukosa darah dan konsentrasi glukosa airmata (Aihara et al., 2021).

KESIMPULAN

Pemantauan glukosa secara invasif memberikan pengalaman tidak menyenangkan berupa rasa nyeri. Selain itu risiko infeksi dan ketidakpatuhan penyandang diabetes dalam pemantauan glukosanya juga sangat tinggi. Upaya pengembangan teknologi pengukuran glukosa secara non-invasif saat ini ada masih belum sempurna serta belum efektif digunakan. Masih perlu ditingkatkan baik dari metode, model, akurasi serta presisinya. Upaya ini juga perlu didukung oleh pemerintah dan pihak terkait agar tata laksana penanganan diabetes melitus lebih optimal yang pada akhirnya menurunkan angka morbiditas akibat komplikasi jangka panjang dan mortalitas akibat diabetes melitus serta komplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aihara, M., Kubota, N., Minami, T., Shirakawa, R., Sakurai, Y., Hayashi, T., Iwamoto, M., Takamoto, I., Kubota, T., Suzuki, R., Usami, S., Jinnouchi, H., Aihara, M., Yamauchi, T., Sakata, T., & Kadowaki, T. (2021). Association between tear and blood glucose concentrations: Random intercept model adjusted with confounders in tear samples negative for occult blood. *Journal of Diabetes Investigation*, 12(2), 266–276. <https://doi.org/10.1111/jdi.13344>
- Bordbar, M. M., Hosseini, M. S., Sheini, A., Safaei, E., Halabian, R., Daryanavard, S. M., Samadinia, H., & Bagheri, H. (2023). Monitoring saliva compositions for non-invasive detection of diabetes using a colorimetric-based multiple sensor. *Scientific Reports*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43262-z>
- Hadar, E., Chen, R., Toledano, Y., Tenenbaum-Gavish, K., Atzmon, Y., & Hod, M. (2019). Noninvasive, continuous, real-time glucose measurements compared to reference laboratory venous plasma glucose values. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*, 32(20), 3393–3400. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1463987>
- IDF. (2021a). About Diabetes. International Diabetes Federation.
- IDF. (2021b). IDF Diabetes Atlas. International Diabetes Federation.
- Kitazaki, T., Morimoto, Y., Yamashita, S., Anabuki, D., Tahara, S., Nishiyama, A., Wada, K., & Ishimaru, I. (2022). Glucose emission spectra through mid-infrared passive spectroscopic imaging of the wrist for non-invasive glucose sensing. *Scientific Reports*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25161-x>
- Lin, C. W., Tsai, Y. H., Peng, Y. S., Yang, J. T., Lu, Y. P., Chen, M. Y., & Tung, C. W. (2023). A Novel Salivary Sensor with Integrated Au Electrodes and Conductivity Meters for Screening of Diabetes. *Biosensors*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/bios13070702>
- Malik, S., Parikh, H., Shah, N., Anand, S., & Gupta, S. (2019). Non-invasive platform to estimate fasting blood glucose levels from salivary electrochemical parameters. *Healthcare Technology Letters*, 6(4), 87–91. <https://doi.org/10.1049/htl.2018.5081>
- Omer, A. E., Shaker, G., Safavi-Naeini, S., Kokabi, H., Alquié, G., Deshours, F., & Shubair, R. M. (2020). Low-cost portable microwave sensor for non-invasive monitoring of blood glucose level: novel design utilizing a four-cell CSRR hexagonal configuration. *Scientific Reports*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72114-3>
- PERKENI. (2021). Pedoman Pemantauan gula darah mandiri. *Endokrinologi Indonesia*, 1–36.
- Sanai, F., Sahid, A. S., Huvanandana, J., Spoa, S., Boyle, L. H., Hribar, J., Wang, D. T. Y.,

- Kwan, B., Colagiuri, S., Cox, S. J., & Telfer, T. J. (2023). Evaluation of a Continuous Blood Glucose Monitor: A Novel and Non-Invasive Wearable Using Bioimpedance Technology. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 17(2), 336–344. <https://doi.org/10.1177/19322968211054110>
- Sankhala, D., Sardesai, A. U., Pali, M., Lin, K. C., Jagannath, B., Muthukumar, S., & Prasad, S. (2022). A machine learning-based on-demand sweat glucose reporting platform. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06434-x>
- Soelistijo, S. (2021). Pedoman Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Melitus Tipe 2 Dewasa di Indonesia 2021. *Global Initiative for Asthma*, 46. www.ginasthma.org.
- Suppakitjanusant, P., Kasemkosin, N., Sivapiromrat, A. K., Weinsein, S., Ongphiphadhanakul, B., Hunt, W. R., Sueblinvong, V., & Tangpricha, V. (2023). Predicting glycemic control status and high blood glucose levels through voice characteristic analysis in patients with cystic fibrosis-related diabetes (CFRD). *Scientific Reports*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35416-w>
- Tobore, I., Li, J., Kandwal, A., Yuhang, L., Nie, Z., & Wang, L. (2019). Statistical and spectral analysis of ECG signal towards achieving non-invasive blood glucose monitoring. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 19(Suppl 6), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12911-019-0959-9>.