

PEREKAMAN CEPAT ELEKTROKARDIOGRAM *ESOPHAGEAL* *ATRIAL STIMULATION INTEGRATED* (EKG EASI) NIRKABEL: A *LITERATURE REVIEW*

Rico Maulana Nugroho¹

Tuti Herawati²

¹ Cardiovascular Nurse Practitioner, Intensive Cardiac Care Unit, RSUP dr. Soeradji Tirtonegoro, Klaten, Central Java, Indonesia

² Researcher, Department of Medical-Surgical Nursing, Faculty of Nursing, Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

Corresponding email : rico.maulana31@ui.ac.id

ABSTRAK

Latar Belakang : Lebih dari setengah miliar orang di seluruh dunia terus terkena penyakit kardiovaskular, yang menyebabkan 20,5 juta kematian pada tahun 2021. **Tujuan :** Elektrokardiogram (EKG) merupakan pemeriksaan esensial yang digunakan untuk deteksi awal penyakit jantung dan pembuluh darah. Pasien dengan gejala mengarah pada penyakit kardiovaskuler harus dilakukan EKG dalam 10 menit sesampainya di klinik. **Metode :** Menelaah perkembangan teknologi EKG saat ini untuk dapat melakukan perekaman cepat dan mengaitkan pada penggunaan EKG di bidang klinis di Indonesia. **Hasil :** Teknologi EKG EASI menciptakan efisiensi perawat dalam melakukan perekaman EKG cepat dengan 4 elektroda. EKG EASI nirkabel banyak dikembangkan untuk meningkatkan transformasi data. Jaringan nirkabel yang adekuat dan cadangan kabel data harus tersedia untuk mengatasi kendala transfer data EKG. EKG konvensional 10 elektroda disimplikasi menjadi EKG EASI 4 elektroda yang keduanya dapat merekam 12 – 22 sadapan EKG. EKG konvensional lebih sensitif. **Kesimpulan :** Penyempurnaan EKG EASI perlu terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil EKG yang akurat.

Kata kunci: Elektrokardiogram, EKG EASI, EKG nirkabel, perekaman EKG

PENDAHULUAN

Penyakit kardiovaskular merupakan penyebab utama kematian secara global, merenggut sekitar 17,9 juta nyawa setiap tahunnya (World Health Organization, 2019). Lebih dari setengah miliar orang di seluruh dunia terus terkena penyakit kardiovaskular, yang menyebabkan 20,5 juta kematian pada tahun 2021 (Lindstrom et al., 2022). Terjadi peningkatan angka kematian per tahun akibat penyakit kardiovaskuler hampir 3 juta jiwa sejak tahun 2019 hingga saat ini. Penyakit kardiovaskular mengacu pada 4 entitas berikut: penyakit arteri koroner (CAD) yang juga disebut sebagai penyakit jantung koroner (CHD), penyakit serebrovaskular, penyakit arteri perifer (PAD), dan aterosklerosis aorta (Olvera et al., 2023). Penyakit jantung iskemik kini menjadi penyebab utama kematian dini di 146 negara pada pria dan 98 negara pada wanita (Cesare et al., 2023). Pada penyakit jantung iskemik terjadi perubahan pada hasil angioplasty dan perekaman elektrokardiogram (EKG) (Liu et al., 2021).

EKG merupakan bagian integral dari evaluasi awal pasien yang diduga menderita masalah jantung (Sattar & Chhabra, 2023). Di rumah sakit, perawat adalah profesi yang paling sering memainkan peran tersebut, mendapatkan data perekaman EKG dari pasien. Di negara maju mungkin

teknologi EKG ini sudah sangat canggih, sedangkan di Indonesia yang profesi keperawatan baru pertama kali berdiri di 1985 (Faculty of Nursing UI, 2022), perawat masih mengoperasikan EKG konvensional. EKG 12 sadapan konvensional menggunakan 10 elektroda (6 elektroda di dada dan 4 elektroda di ekstremitas ekstremitas) pertama kali dikembangkan oleh William Einthoven (de Luna, 2019), seorang dokter dan fisiolog yang lahir di kota Semarang, Indonesia (Indonesian Ministry of Health, 2022). Perekaman ECG konvensional menggunakan 10 elektroda dan beberapa kabel cukup memakan waktu, padahal pasien yang dicurigai mengalami gangguan kardiovaskuler harus dilakukan skrining EKG dalam 10 menit sesampainya di Instalasi Gawat Darurat (IGD) (Yiadom et al., 2022). Perekaman EKG 12 sadapan menggunakan 4 elektroda EASI telah dikembangkan hampir 4 dekade terakhir (Dower et al., 1988). Dengan jumlah elektroda yang lebih dua-per-lima lebih sedikit dari EKG konvensional, EKG EASI dapat bermanfaat dalam praktik klinis untuk mempercepat proses perekaman EKG (Holderith & Schanze, 2018). Kecepatan identifikasi dini kondisi pasien berkaitan dengan intervensi yang dapat perawat berikan untuk mempertahankan bahkan memperbaiki kondisi kesehatan

pasien. Penggunaan EKG EASI memungkinkan perekaman EKG lebih cepat daripada EKG konvensional.

Kompetensi tenaga kesehatan seperti perawat, dokter, dan petugas gawat darurat dalam merekam dan menginterpretasikan EKG untuk mendiagnosis kelainan jantung dapat membantu dalam mencegah gangguan jantung dan menurunkan angka kematian (Ghahramanian et al., 2020; Rahimpour et al., 2021). Secara khusus, perawat harus mampu merekam dan menafsirkan EKG 12 sadapan dengan benar sehingga pengobatan dapat dimulai sesegera mungkin dan hasil klinis yang lebih baik dapat dicapai (Amini et al., 2022). Saat ini mayoritas layanan kesehatan di Indonesia masih mengandalkan mesin EKG dengan 10 elektroda untuk mendapatkan rekaman 12 sadapan EKG. Di samping itu, teknologi kesehatan secara global terus berkembang.

Teknologi digital dalam layanan kesehatan memberikan dampak besar pada cara layanan kesehatan diberikan dan bagaimana keseluruhan layanan kesehatan berjalan (Paul et al., 2023), termasuk dalam pengembangan mesin EKG. EKG nirkabel mulai banyak dikembangkan untuk memberikan kenyamanan dan kemudahan dalam pemantauan dan perekaman organ vital mulai dari EKG nirkabel hingga sistem pemantauan mandiri jarak jauh yang memanfaatkan internet (Bushnag, 2022a; Cosoli et al., 2021; Teferra et al.,

2021). Jaringan internet di Indonesia merupakan salah satu kendala dalam penerapan teknologi jarak jauh. Saat ini mayoritas kota di Indonesia masih menggunakan jaringan 4G. Baru 9 kota di Indonesia menggunakan jaringan 5G, itupun dengan jangkauan jaringan belum luas. Padahal 5G pun tidak akan memenuhi semua kebutuhan masa depan pada tahun 2030 dan seterusnya, dan jaringan komunikasi nirkabel generasi keenam (6G) diharapkan dapat menyediakan jangkauan global, peningkatan efisiensi spektral/energi/biaya, tingkat intelijen, dan keamanan yang lebih baik (You et al., 2021). Akan tetapi, jika perkembangan teknologi ini tidak dimulai, kita akan semakin tertinggal. Studi ini akan melakukan telaah literatur terkait perkembangan teknologi EKG nirkabel dan pemanfaatannya.

Tujuan

Telaah literatur ini bertujuan untuk menjelaskan berbagai perkembangan mesin elektrokardiografi nirkabel berserta pemanfaatannya di bidang kesehatan terkait efektivitas, efisiensi, fokus pada pasien, dan keandalannya.

METODE

Penulis menggunakan berbagai jenis artikel kuantitatif maupun kualitatif untuk mendeskripsikan perkembangan EKG konvensional, EASI, hingga teknologi nirkabel dalam meningkatkan mutu pelayanan kesehatan mengenai efektifitas,

efisiensi, fokus pada pasien, dan keandalannya.

Strategi Pencarian

Penulis melakukan beberapa proses pencarian untuk mendapatkan artikel yang relevan tentang penggunaan EKG nirkabel. Selama proses pencarian, penulis menggunakan beberapa kata kunci, seperti; "wireless ECG", "EASI ECG", dan "conventional ECG".

Seleksi Studi

Penulis menyelidiki beberapa artikel relevan yang diterbitkan dalam versi bahasa International (*English*). Setelah menyeleksi beberapa penelitian serupa, penulis mengumpulkan artikel yang relevan.

Sintesis Hasil

Temuan telaah literatur ini menggambarkan dan menjelaskan implementasi EKG nirkabel dalam layanan kesehatan, khususnya keperawatan.

HASIL

Studi ini menelaah sejumlah 11 artikel terkait EKG nirkabel setelah beberapa artikel diseleksi dan diputuskan untuk tidak digunakan karena tidak memiliki relasi yang cukup signifikan terhadap telaah literatur ini. Berikut tabel 1 menyajikan artikel-artikel yang ditelaah:

No

	<i>Authors</i>	<i>Method</i>	<i>Setting</i>	<i>Objective</i>	<i>Findings</i>
1.	(Cosoli et al., 2021)	Product Review	Worldwide (researcher: Italy)	Meninjau solusi dari perangkat yang tersedia secara komersial dan komponen elektronik yang berguna untuk menyiapkan prototipe laboratorium	Pengembangan sistem EKG nirkabel, beberapa aspek penting harus dipertimbangkan: elektroda (sekali pakai, basah/kering, tanpa kontak, terisolasi), <i>front-end analog</i> , sistem akuisisi data (termasuk amplifier, konsumsi daya (masa pakai baterai, tujuan miniaturisasi)
2.	(Jung et al., 2021)	Experimental	South Korea	Membuat perangkat EKG nirkabel dengan <i>Bluetooth Low Energy</i> yang digunakan di pergelangan tangan dan kaki, serta membandingkan dengan EKG nirkabel konvensional yang sudah ada	Tidak ada perberbedaan signifikan antara EKG komersial dengan yang dibuat. Akan tetapi, diperkirakan perangkat yang dibuat dalam penelitian ini akan memberikan dampak signifikan di bidang klinis, olahraga, dan kemiliteran

- | | | | | | |
|----|---------------------|--------------|--------|---|--|
| 3. | (Li et al., 2020) | Experimental | China | Mendesain sistem monitoring modul EKG portabel terutama pada chip transmisi | Desain memungkinkan pengguna untuk memantau hasil EKG secara <i>real time</i> dengan keuntungan portabilitas dan konsumsi daya yang rendah |
| 4. | (Wang et al., 2015) | Experimental | Taiwan | Menyajikan <i>Wireless Bio-Signal Acquisition System-on-a-Chip</i> (WBSA-SoC) khusus untuk EKG melalui node akuisisi EKG, protokol nirkabel rendah biaya & rendah daya (ZigBee IEEE 802.15.4), dan radio frekuensi yang memungkinkan konektivitas <i>Machine-to-Machine</i> (M2M) dan menciptakan area jaringan personal/ <i>Internet of Things</i> (IoT) | Dari hasil pengukuran pada manusia diperoleh bahwa sistem yang diusulkan, yakni <i>SoC</i> (<i>System on a Chip</i>) menunjuk secara efektif memperoleh sinyal EKG |

- | | | | | | |
|----|------------------------|--------------|-----------|--|--|
| 5. | (Teferra et al., 2021) | Experimental | Australia | Menganalisis EKG berbasis EASI tekstil elektronik nirkabel dengan 3 ukuran elektroda (3 mm ² , 50 mm ² , 70 mm ²) | Kualitas sinyal dari elektroda 70 mm ² lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda dengan ukuran lebih kecil. EKG EASI e-tekstil dapat menjadi pilihan yang tepat untuk memantau EKG secara real-time. Uji klinis dengan sampel yang lebih besar direkomendasikan untuk memvalidasi hasil pada populasi klinis |
| 6. | (Hsieh et al., 2020) | Experimental | China | Merancang EKG nirkabel berbasis frekuensi AM antara 500 KHz dan 1 MHz dikombinasikan dengan dua amplifier front-end, dua pasangan elektroda, dan satu penguat sinyal | Gambaran EKG dapat ditransmisikan secara nirkabel melalui frekuensi AM. Lead yang dapat ditransmisikan pada penelitian ini mencakup 3 leads (I, II, III) |

- | | | | | | |
|----|-----------------------|-------------------|-------|--|---|
| 7. | (Jihong Chai, 2013) | Conceptual Design | China | <p>Merancang sistem pemantauan EKG seluler menggunakan kontroler <i>MSP430 (Mixed Signal Processor 430)</i> dengan konverter <i>BLE (Bluetooth Low Energy) CC2540</i> untuk dapat ditransmisikan ke perangkat seluler</p> | <p>Desain tersebut memungkinkan untuk diaplikasikan pada layanan kesehatan karena karakteristik daya yang rendah, ukuran kecil, dan keandalan terstandarisasi</p> |
| 8. | (Masihi et al., 2022) | Experimental | China | <p>Mengaplikasikan elektroda kering berbahan komposit <i>Multi-Walled Carbon NanoTubes (MWCNTs)/Polydimethyl-siloxane (PDMS)</i> pada substrat <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> dengan lapisan sablon perak (Ag) pada pakaian fleksibel selanjutnya mentransmisikan sinyal ke smartphone dan/atau komputer.</p> | <p>Elektroda kering bekerja lebih baik dengan <i>Signal-to-Noise Ratio (SNR 23,1 dB)</i> dibandingkan dengan elektroda Ag/AgCl (<i>SNR 21,2 dB</i>) yang tersedia secara komersial. Elektroda kering ini berpotensi menggantikan elektroda basah.</p> |

- | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|---|---|
| 9. (Bushnag, 2022) | Experimental | Saudi Arabia | <p>Mengaplikasikan 4 komponen pemantauan EKG nirkabel:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Input (<i>Sensing Layer</i>): <i>Sensors, Actuators</i> 2. Perangkat (<i>Networking Layer</i>): WiFi, ZigBee 3. Server Cloud IoT (<i>Services Layer</i>): Applications, Functions 4. Antarmuka (<i>Interface Layer</i>): Interface 1, 2, dst. <p>untuk memantau pasien tanpa mengunjungi rumah sakit. Perangkat dipasang pada pasien, data diunggah melalui protokol MMTQ (<i>Message Queue Telemetry Transport</i>)</p> | <p>Dari dua skenario yang dilakukan, didapatkan tingkat akurasi Kompleks QRS 100%. Sistem yang diusulkan dapat mengurangi kunjungan rumah sakit pada pasien yang stabil. Mendatang, studi pilot dapat dilakukan pada beberapa pasien untuk menunjukkan skalabilitas sistem.</p> |
|--------------------|--------------|--------------|---|---|

- | | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------|--|---|
| 10. (Hwang et al., 2023) | Experimental | South Korea | Menciptakan metastruktur Kagome, pakaian yang tidak panas dan dapat meregang dengan menambatkan fungsi e-skin berupa perangkat EKG nirkabel untuk tetap nyaman dipakai. | Patch sensor EKG nirkabel yang ditambatkan dengan metastruktur Kagome tidak menyebabkan ketidaknyamanan kulit yang signifikan saat dipakai selama lima hari, dan berhasil memungkinkan pemantauan sinyal EKG nirkabel. Di masa mendatang diharapkan memperluas jenis bahan dan fungsi E-skin untuk layanan kesehatan digital, pengobatan yang dipersonalisasi, dan prostetik cerdas dengan berbagai fungsi. |
| 11. (Memon et al., 2018) | Conceptual Design | China | Merancang sistem portabel untuk akuisisi EKG, pemrosesan, dan transmisi nirkabel melalui <i>bluetooth low energy</i> (ZigBee) dengan meningkatkan mobilitas, ukuran lebih kecil, dan hemat biaya untuk penggunaan jangka Panjang | Gelombang EKG dapat terbaca, namun gelombang tidak jelas (artefak) ketika terjadi pergerakan atau dislokasi elektroda |

Perancangan EKG EASI Nirkabel

Berbagai teknologi nirkabel mengembangkan pemantauan EKG, mulai dari single lead diproduksi secara komersial yang sering digunakan untuk keperluan olahraga dan pemantauan aktivitas keseharian hingga 12 sadapan yang dibutuhkan untuk layanan kesehatan. EKG nirkabel memerlukan beberapa hal untuk dapat bekerja dengan baik, meliputi elektroda, AFE (Analog Front-End), DAQ (Data Acquisition), DSP (Digital Signal Processing), teknologi nirkabel, dan konsumsi daya (Cosoli et al., 2021). Berbagai produk EKG nirkabel dapat menggunakan elektroda tunggal hingga 10 elektroda. EKG konvensional yang saat ini digunakan untuk melakukan perekaman 12 sadapan kelistrikan jantung umumnya menggunakan 10 elektroda (4 ekstremitas dan 6 pre-cordial). EKG EASI memungkinkan perekaman 12 sadapan EKG menggunakan 4 elektroda yang dipasang di dada. Pada EKG EASI, elektroda yang memiliki penampang yang lebih luas direkomendasikan untuk mendapatkan gambaran yang baik (Teferra et al., 2021).

EKG EASI untuk Perekaman Cepat

Pemeriksaan EKG jarang digunakan oleh praktik umum karena memakan waktu, dengan EKG EASI yang mudah digunakan, meningkatkan diagnosis gejala kardiovaskuler (Pollet et al.,

2022). EKG EASI memungkinkan perawat untuk melakukan perekaman EKG lebih cepat dibandingkan dengan EKG konvensional yang menggunakan 10 elektroda. Sebagai contoh EKG CardioSecur® menerapkan sistem EASI untuk merekam aktivitas kelistrikan jantung 12 – 22 sadapan menggunakan 4 elektroda dengan langsung menghubungkan pada aplikasi ponsel genggam berbasis iPhone/Android melalui kabel data (CardioSecur Team, 2023; Spaich et al., 2020).

Efektivitas EKG EASI

EKG EASI memungkinkan merekam 12 (I, II, III, aVL, aVR, aVF, V1 – V6) hingga 22 sadapan (12 sadapan ditambah V7 – V9 dan VR3 – VR9) hanya dengan menggunakan 4 elektroda: E dipasang pada sternum bagian bawah setinggi ruang interkostal ke-5; A dipasang sejajar dengan E, pada garis midaxillaris kiri; S pada 1/3 atas sternum; dan I sejajar dengan E dan A, pada garis midaxillaris kanan (Ng & Goldberger, 2014).

Efisiensi

Waktu menjadi kriteria efisiensi dalam perekaman EKG EASI. Perbandingan jumlah elektroda yang dipasang antara EKG EASI dan EKG konvensional adalah 4:10 elektroda diasumsikan tindakan identifikasi EKG dapat 2,5 kali lebih cepat menggunakan EKG

EASI. Dukungan jaringan nirkabel menggunakan *Bluetooth Low Energy* dapat merampingkan alat EKG EASI minim kabel dan langsung menproyeksikan hasil pada ponsel genggam atau komputer dalam bentuk digital (Jihong Chai, 2013; Masihi et al., 2022). Digitalisasi dapat mengurangi penggunaan kertas (Iswanto, 2019), termasuk digitalisasi teknologi EKG dapat mengurangi penggunaan kertas EKG. Pengurangan kertas EKG memungkinkan pengurangan anggaran belanja rumah sakit, sehingga dapat meningkatkan penghematan biaya.

Fokus pada Pasien

Penghematan biaya operasional pemeriksaan EKG dapat menurunkan tarif yang harus dibayar oleh pasien (Agboola et al., 2018; Sturmberg & Bircher, 2019). Selain itu penggunaan EKG EASI dalam bentuk yang lebih ringkas dan tanpa kabel akan membuat pasien lebih nyaman saat dilakukan pemeriksaan. Privasi saat dilakukan pemeriksaan EKG pun dapat lebih terjaga karena privasi pasien harus dihormati (Balynska et al., 2021; World Medical Association, 2018). Sistem EASI menjamin kemudahan penggunaan dan kenyamanan pasien yang dirawat karena hanya memerlukan 4 – 5 elektroda (Loreto et al., 2016).

Keandalan

EKG EASI memiliki spesifisitas dan sensitifitas 93-94% (CI 95%) dengan pembanding EKG konvensional sebagai standar emas (Wehr et al., 2006). EKG EASI memungkinkan untuk menggunakan jaringan nirkabel dan kemudahan dalam aplikasi ke pasien (Cosoli et al., 2021; Jung et al., 2021), tetapi EKG konvensional lebih sensitif terhadap artefak, gerakan otot, dan kebisingan (Holderith & Schanze, 2018). Kesalahan penempatan elektroda EKG EASI secara vertikal ± 3 cm masih memiliki hasil 12 sadapan yang akurat menyerupai EKG konvensional (Finlay et al., 2010). Akurasi EKG EASI dapat diterima dalam praktik klinik untuk memantau dua parameter utama (*Segment ST & J-Point*) dalam mendeteksi iskemia miokard (Loreto et al., 2016).

DISKUSI

Perkembangan teknologi saat ini sangat pesat, termasuk teknologi kesehatan untuk melakukan pemeriksaan atau intervensi lebih efisien. Salah satunya perkembangan teknologi EKG, mulai dari penggunaan 10 elektroda konduktor metal *reusable* hingga EKG EASI yang hanya membutuhkan 4 elektroda untuk dapat merekam EKG 12 – 22 sadapan (CardioSecur Team, 2023; Spaich et al., 2020), yang selanjutnya memungkinkan untuk dikembangkan menggunakan sistem nirkabel yang

hemat biaya dan energi (Cosoli et al., 2021; Jung et al., 2021; Li et al., 2020; Wang et al., 2015) dan menggunakan elektroda komposit nano karbon/*Multi-Walled Carbon NanoTubes (MWCNTs)* (Masihi et al., 2022), yang dapat didisinfeksi dan dipakai ulang. Penggunaan EKG EASI dengan 4 elektroda secara observasi dapat mempercepat proses perekaman EKG dibandingkan dengan EKG dengan 10 elektroda. Setelah gambaran EKG ditransmisikan ke perangkat digital, data tersebut memungkinkan untuk dibagikan melalui jaringan internet ketika perawat atau dokter sedang di lokasi lain (Bushnag, 2022), sehingga interpretasi EKG dan intervensi yang dibutuhkan pasien dapat segera dilakukan. Di sisi lain, ketersediaan jaringan nirkabel yang adekuat menjadi esensi penting dalam pengembangan EKG nirkabel untuk mentransmisikan rekaman EKG dari mesin ke perangkat digital, seperti jaringan IP wireless, Bluetooth low energy, atau sinyal AM (Hsieh et al., 2020; Jung et al., 2021; Memon et al., 2018). Kendala sinyal transmisi dapat menghambat proses kerja tersebut. Solusi lain seperti penggunaan *NFC (Near Field-Communication)* atau cadangan kabel *plug-and-play* dibutuhkan ketika itu, misalkan dengan *port USB-C* yang dapat digunakan untuk mengisi daya dan mentransfer data.

Selain pengembangan teknologi EKG EASI, kenyamanan pasien saat dilakukan pemeriksaan EKG juga menjadi pertimbangan. Pengembangan berfokus pada pasien juga terus dikembangkan, seperti metastruktur Kagome, pakaian yang tidak panas dan dapat meregang untuk tetap nyaman dipakai yang memiliki fungsi e-skin berupa perangkat EKG nirkabel (Hwang et al., 2023). Dalam lingkup perekaman cepat EKG, dibutuhkan alat yang ringan dengan mode EASI EKG, jaringan nirkabel hemat energi, dan elektroda yang memiliki biokompatibilitas baik (Cosoli et al., 2021). Penggunaan jaringan nirkabel Bluetooth hemat energi dan biaya menjadi pilihan untuk menyematkan baterai lithium-ion yang dapat mengisi daya lebih cepat, bertahan lebih lama, dan memiliki kepadatan daya lebih tinggi dalam bentuk yang lebih ringan (Chen et al., 2021). Hal tersebut tentunya didukung dengan port USB-C untuk pengisian daya secara cepat hingga 240 W dan cadangan untuk transfer data hingga 80 Gbps melalui kabel (USB 3.0 Promoter Group, 2023). Setelah EKG dapat mentransmisikan data ke perangkat dan data dapat dibagikan melalui jaringan internet, keamanan data harus terjamin. Penggunaan internet pada alat kesehatan/*Internet of Medical Thing (IoMT)* memainkan peran penting dalam perawatan kesehatan untuk meningkatkan konsistensi, presisi, dan

keluaran perangkat elektronik kesehatan (Joyia et al., 2017; Srivastava et al., 2022). Hal ini menjadi tantangan baru di dunia kesehatan. Selain meningkatkan efisiensi kerja, privasi data pasien harus terjaga dengan baik karena privasi merupakan hak pasien (Balynska et al., 2021). Oleh karena itu, sistem keamanan privasi data harus dikembangkan secara beriringan. Sistem keamanan privasi diharapkan dapat menggunakan server otoritas kesehatan, mengurangi ukuran data, meningkatkan waktu transmisi, sekaligus menjaga privasi data, sebelum dibagikan ke tenaga kesehatan (Ibaida et al., 2021).

IMPLIKASI

EKG konvensional 10 elektroda disimplikasi menjadi EKG EASI 4 elektroda yang keduanya dapat merekam 12 – 22 sadapan EKG. EKG EASI dalam layanan kesehatan yang ada saat ini, mayoritas masih menggunakan kabel dari alat ke pasien dan monitor. Teknologi nirkabel memungkinkan EKG EASI dalam bentuk alat ringan dengan *retractable cables* yang ditempelkan pada area pemeriksaan pasien.

KETERBATASAN

Penggunaan EKG EASI kurang sensitif terhadap kesalahan peletakan elektroda yang berpengaruh pada hasil perekaman. EKG EASI yang dikembangkan dengan jaringan

nirkabel berisiko keterlambatan transfer data, jika jaringan tidak tersedia secara adekuat. Penyempurnaan EKG EASI perlu terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil EKG yang cepat dan akurat.

KESIMPULAN

Teknologi EKG EASI menciptakan efisiensi waktu perawat dalam melakukan perekaman EKG cepat dengan 4 elektroda. Perbandingan spesifik waktu perekaman EKG menggunakan EKG konvensional dan EKG perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. EKG EASI nirkabel banyak dikembangkan untuk meningkatkan transformasi data. Jaringan nirkabel yang adekuat dan cadangan kabel data harus tersedia untuk mengatasi kendala transfer data EKG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada guru atas ilmu yang telah tercurah sehingga penulis memiliki cukup pengetahuan untuk melakukan telaah literatur ini. Terima kasih untuk Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Indonesia sebagai penyandang dana artikel ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam naskah ini.

REFERENSI

- Agboola, S., Simons, M., Golas, S., op den Buijs, J., Felsted, J., Fischer, N., Schertzer, L., Orenstein, A., Jethwani, K., & Kvedar, J. (2018). Health Care Cost Analyses for Exploring Cost Savings Opportunities in Older Patients: Longitudinal Retrospective Study. *JMIR Aging*, 1(2), e10254. <https://doi.org/10.2196/10254>
- Amini, K., Mirzaei, A., Hosseini, M., Zandian, H., Azizpour, I., & Haghi, Y. (2022). Assessment of electrocardiogram interpretation competency among healthcare professionals and students of Ardabil University of Medical Sciences: a multidisciplinary study. *BMC Medical Education*, 22(1), 448. <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03518-0>
- Balynska, O., Teremetskyi, V., Zharovska, I., Shchyrba, M., & Novytska, N. (2021). [PATIENT'S RIGHT TO PRIVACY IN THE HEALTH CARE SECTOR]. *Georgian Medical News*, 321, 147–153.
- Bushnag, A. (2022a). A Wireless ECG Monitoring and Analysis System Using the IoT Cloud. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(1), 51–70. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.024005>
- Bushnag, A. (2022b). A Wireless ECG Monitoring and Analysis System Using the IoT Cloud. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(1), 51–70. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.024005>
- CardioSecur Team. (2023). *Transforming ECG-Technology*. Personal MedSystems GmbH. <https://www.cardiosecur.com/>
- Cesare, M. Di, Bixby, H., Gaziano, T., Hadeed, L., Kabudula, C., McGhie, D. V., Mwangi, J., Pervan, B., Perel, P., Piñeiro, D., Taylor, S., & Pinto, F. (2023). *World Heart Report 2023: Confronting the World's Number One Killer*.
- Chen, Y., Kang, Y., Zhao, Y., Wang, L., Liu, J., Li, Y., Liang, Z., He, X., Li, X., Tavajohi, N., & Li, B. (2021). A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards. *Journal of Energy Chemistry*, 59, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.017>
- Cosoli, G., Spinsante, S., Scardulla, F., D'Acquisto, L., & Scalise, L. (2021). Wireless ECG and cardiac monitoring systems: State of the art, available commercial devices and useful electronic components. *Measurement*, 177, 109243. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109243>

- de Luna, A. B. (2019). Willem Einthoven and the ECG. *European Heart Journal*, 40(41), 3381–3383. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz721>
- Dower, G. E., Yakush, A., Nazzal, S. B., Jutzy, R. V., & Ruiz, C. E. (1988). Deriving the 12-lead electrocardiogram from four (EASI) electrodes. *Journal of Electrocardiology*, 21, S182–S187. [https://doi.org/10.1016/0022-0736\(88\)90090-8](https://doi.org/10.1016/0022-0736(88)90090-8)
- Faculty of Nursing UI. (2022). *History of Faculty of Nursing - Universitas Indonesia*. Public Relation FoN UI. <https://nursing.ui.ac.id/sejarah/>
- Finlay, D. D., Nugent, C. D., Nelwan, S. P., Bond, R. R., Donnelly, M. P., & Guldenring, D. (2010). Effects of electrode placement errors in the EASI-derived 12-lead electrocardiogram. *Journal of Electrocardiology*, 43(6), 606–611. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2010.07.004>
- Ghahramanian, A., Rassouli, M., Zamanzadeh, V., Valizadeh, L., & Asghari, E. (2020). Good nursing care: Rodgers' evolutionary concept analysis. *Nursing Practice Today*. <https://doi.org/10.18502/npt.v7i1.2295>
- Holderith, M., & Schanze, T. (2018). Cross-Correlation based comparison between the conventional 12-lead ECG and an EASI derived 12-lead ECG. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 4(1), 621–624. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2018-0149>
- Hsieh, H.-Y., Luo, C.-H., & Tai, C.-C. (2020). Wireless potential difference electrocardiogram constituted by two electrode-pairs wearing comfort. *Journal of Instrumentation*, 15(08), P08011–P08011. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/08/P08011>
- Hwang, W., Kim, J., Park, S., Kang, T., Kim, S., Lee, K., Lee, M., Kwak, R., Choi, I., & Yi, H. (2023). A Breathable and Stretchable Metastructure for a Versatile Hybrid Electronic Skin Patch with Long-Term Skin Comfort. *Advanced Materials Technologies*, 8(1). <https://doi.org/10.1002/admt.202200477>
- Ibaida, A., Abuadbbba, A., & Chilamkurti, N. (2021). Privacy-preserving compression model for efficient IoMT ECG sharing. *Computer Communications*, 166, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.11.010>
- Indonesian Ministry of Health. (2022, August 10). *Indonesia and the History of Electrocardiogram Discovery*. Directory of Health Services. <https://yankes.kemkes.go.id/view>

- _artikel/1294/indonesia-dan-sejarah-penemuan-alat-elektrokardiografi
- Iswanto, R. (2019). Paper Waste Reduction Efforts Through Digitalization. *VCD*, 4(2), 86–96. <https://doi.org/10.37715/vcd.v4i2.1320>
- Jihong Chai. (2013). The design of mobile ECG monitoring system. 2013 IEEE 4th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication, 148–151. <https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2013.6835474>
- Joyia, G. J., Liaqat, R. M., Farooq, A., & Rehman, S. (2017). Internet of Medical Things (IOMT): Applications, Benefits and Future Challenges in Healthcare Domain. *Journal of Communications*. <https://doi.org/10.12720/jcm.12.4.240-247>
- Jung, J., Shin, S., Kang, M., Kang, K. H., & Kim, Y. T. (2021). Development of Wearable Wireless Electrocardiogram Detection System using Bluetooth Low Energy. *Electronics*, 10(5), 608. <https://doi.org/10.3390/electronics10050608>
- Li, N., Liu, Y., Zhang, G., Du, H., Yang, Y., Jiang, X., & Wang, C. (2020). Design of Portable Wireless Electrocardiogram Monitoring System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1438(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1438/1/012009>
- Lindstrom, M., DeCleene, N., Dorsey, H., Fuster, V., Johnson, C. O., LeGrand, K. E., Mensah, G. A., Razo, C., Stark, B., Varieur Turco, J., & Roth, G. A. (2022). Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks Collaboration, 1990–2021. *Journal of the American College of Cardiology*, 80(25), 2372–2425. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.11.001>
- Liu, Y., Ping, J., Qiu, L., Sun, C., & Chen, M. (2021). Comparative analysis of ischemic changes in electrocardiogram and coronary angiography results. *Medicine*, 100(24), e26007. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026007>
- Loreto, L., Andrea, T., Lucia, D., Carla, L., Cristina, P., & Silvio, R. (2016). Accuracy of EASI 12-lead ECGs in monitoring ST-segment and J-point by nurses in the Coronary Care Units. *Journal of Clinical Nursing*, 25(9–10), 1282–1291. <https://doi.org/10.1111/jocn.13168>
- Masihi, S., Panahi, M., Maddipatla, D., Hanson, A. J., Fenech, S., Bonek, L., Sapoznik, N., Fleming, P. D., Bazuin, B. J., & Atashbar, M. Z. (2022). Development of a Flexible Wireless ECG Monitoring Device With Dry Fabric Electrodes for Wearable Applications. *IEEE Sensors Journal*, 22(12), 11223–

11232.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3116215>
- Memon, S., Soothar, K., Memon, K., Magsi, A., Laghari, A., Abbas, M., & Ain, N. (2018). The Design of Wireless Portable Electrocardiograph Monitoring System Based on ZigBee. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*, 164558. <https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164558>
- Ng, J., & Goldberger, J. J. (2014). *The Physiological Measurement Handbook* (J. G. Webster, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17831>
- Olvera, L. E., Ballard, B. D., & Jan, A. (2023, August 7). *Cardiovascular Disease*. Florida: StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535419/>
- Paul, M., Maglaras, L., Ferrag, M. A., & Almomani, I. (2023). Digitization of healthcare sector: A study on privacy and security concerns. *ICT Express*, 9(4), 571–588. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2023.02.007>
- Pollet, A.-G., Guenancia, C., Garcia, R., Viart, G., Dubois, D., Bourgois, M., Chapelet, F., Loyez, T., Dautriche, B., Guyomar, Y., Graux, P., Maréchaux, S., & Menet, A. (2022). EASI™ 12-lead ECG with a handheld computer refines cardiovascular diagnosis in general practice. *Journal of Electrocardiology*, 73, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2022.06.004>
- Rahimpour, M., Shahbazi, S., Ghafourifard, M., Gilani, N., & Breen, C. (2021). Electrocardiogram interpretation competency among emergency nurses and emergency medical service (EMS) personnel: A cross-sectional and comparative descriptive study. *Nursing Open*, 8(4), 1712–1719. <https://doi.org/10.1002/nop2.809>
- Sattar, Y., & Chhabra, L. (2023, June 5). *Electrocardiogram*. Florida: StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549803/>
- Spaich, S., Kern, H., Zelniker, T. A., Stiepak, J., Gabel, M., Popp, E., Katus, H. A., & Preusch, M. R. (2020). Feasibility of CardioSecur®, a Mobile 4-Electrode/22-Lead ECG Device, in the Prehospital Emergency Setting. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 7. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.551796>
- Srivastava, J., Routray, S., Ahmad, S., & Waris, M. M. (2022). Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System: Trends and Progress. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022,

- 1–17.
<https://doi.org/10.1155/2022/7218113>
- Sturmberg, J. P., & Bircher, J. (2019). Better and fulfilling healthcare at lower costs: The need to manage health systems as complex adaptive systems. *F1000Research*, 8, 789.
<https://doi.org/10.12688/f1000research.19414.1>
- Teferra, M. N., Hobbs, D. A., Clark, R. A., & Reynolds, K. J. (2021). Preliminary Analysis of a Wireless and Wearable Electronic-Textile EASI-Based Electrocardiogram. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.806726>
- USB 3.0 Promoter Group. (2023). *Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification, Release 2.2*.
<https://www.usb.org/sites/default/files/USB%20Type-C%202.2%20Release%20230814.zip>
- Wang, L.-H., Chen, T.-Y., Lin, K.-H., Fang, Q., & Lee, S.-Y. (2015). Implementation of a Wireless ECG Acquisition SoC for IEEE 802.15.4 (ZigBee) Applications. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1), 247–255.
<https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2311232>
- Wehr, G., Peters, R. J., Khalifé, K., Banning, A. P., Kuehlkamp, V., Rickards, A. F., & Sechtem, U. (2006). A vector-based, 5-electrode, 12-lead monitoring ECG (EASI) is equivalent to conventional 12-lead ECG for diagnosis of acute coronary syndromes. *Journal of Electrocardiology*, 39(1), 22–28.
<https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2005.08.006>
- World Health Organization. (2019, June 11). *Cardiovascular Diseases*.
<https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases>
- World Medical Association. (2018). World Medical Association Declaration of Geneva. *African Health Sciences*, 17(4), 1203.
<https://doi.org/10.4314/ahs.v17i4.30>
- Yiadom, M. Y. A. B., Gong, W., Patterson, B. W., Baugh, C. W., Mills, A. M., Gavin, N., Podolsky, S. R., Salazar, G., Mumma, B. E., Tanski, M., Hadley, K., Azzo, C., Dorner, S. C., Ulintz, A., & Liu, D. (2022). Fallacy of Median Door-to-ECG Time: Hidden Opportunities for STEMI Screening Improvement. *Journal of the American Heart Association*, 11(9).
<https://doi.org/10.1161/JAHA.121.024067>
- You, X., Wang, C.-X., Huang, J., Gao, X., Zhang, Z., Wang, M., Huang, Y., Zhang, C., Jiang, Y., Wang, J., Zhu, M., Sheng, B., Wang, D., Pan, Z.,

Zhu, P., Yang, Y., Liu, Z., Zhang, P., Tao, X., ... Liang, Y.-C. (2021). Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. *Science China Information Sciences*, 64(1), 110301. <https://doi.org/10.1007/s11432-020-2955-6>