



## Efikasi Pemantauan Hemodinamik Non-Invasif Pada Pasien Gagal Jantung: Literature Review

Aan Nuraeni <sup>1</sup>, Ristina Mirwanti <sup>1</sup>, Firman Sugiharto <sup>2</sup>, Dylla Istiazahra <sup>2</sup>, Elsa Egawati Sonandar <sup>2</sup>, Kintan Komala <sup>2</sup>, Meisha Nurlianti Hidayat <sup>2</sup>, N Nunik Virgianty <sup>2</sup>, Neng Anisa Purnama Cahya <sup>2</sup>, Sandra Restuti <sup>2</sup>, Wahyu Pratiwi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Keperawatan Universitas Padjadjaran, Jawa Barat, Indonesia, Indonesia

<sup>2</sup> Mahasiswa Fakultas Keperawatan Universitas Padjadjaran, 45360, Jawa Barat, Indonesia, Indonesia

### INFORMASI

Korespondensi:  
[aan.nuraeni@unpad.ac.id](mailto:aan.nuraeni@unpad.ac.id)



Keywords:  
Heart failure,  
Hemodynamics, Non-  
Invasive, Monitoring

### ABSTRACT

*Objectives: Therefore, this literature review aimed to identify the efficacy of non-invasive monitoring to evaluate the hemodynamics of patients with HF.*

*Methods: This study was a literature review. Keywords include “heart failure patients” AND “non-invasive hemodynamic monitoring” AND “invasive hemodynamic monitoring” and searched extensively through Springer Link, PubMed, and Science Direct. Data analysis was assisted by a data extraction table and qualitative analysis.*

*Result: Seven articles were included in the qualitative analysis after being selected through the title, abstract, and inclusion-exclusion criteria. The analysis revealed that non-invasive hemodynamic monitoring in heart failure patients could be carried out in the Intensive Care Unit, non-intensive care unit, and at home. The Non-invasive Pulse Contour Analysis (NPCA), caretaker BP device, and Photoplethysmography-Based Device were used in the ICU. While in the non-ICU, Ballistocardiography (BCG) and Impedance Cardiography (ICG) were used, and Non-Invasive Telemonitoring in bioimpedance monitoring can be used in the home setting.*

*Conclusions: Overall, the use of technology to monitor hemodynamics in heart failure patients non-invasively had good validation and efficacy compared with invasive monitoring. Furthermore, this non-invasive technology can be used in the ICU, in Non-ICU settings, and at home (telemonitoring).*

## PENDAHULUAN

Pasien gagal jantung merupakan salah satu pasien dengan kebutuhan pelayanan tinggi dan dalam kondisi status hemodinamik yang tidak stabil (Wulan & Rohmah, 2019). Saat ini, pemantauan pasien gagal jantung di rumah sakit sebagian besar didasarkan pada status hemodinamik pasien (Zhang et al., 2021). Pemantauan hemodinamik adalah cara untuk menilai kondisi kardiovaskular. Pemantauan ini berkaitan dengan sirkulasi dalam sistem pembuluh darah dengan jantung sebagai satu-satunya organ yang berfungsi dalam memompa darah ke seluruh tubuh.

Pemantauan hemodinamik pada pasien gagal jantung merupakan hal yang sangat penting. Menurut Hartawan (2016) pemantauan ini bertujuan untuk membantu mengidentifikasi kondisi pasien, mengevaluasi respon pasien terhadap terapi yang diberikan, menunjang penegakkan diagnosa medis. Selain itu, hal ini juga untuk mengetahui kondisi jantung secara umum terutama pada pasien kritis yang bersifat antisipasi terhadap perburukan kondisi pasien (Herman et al., 2015). Kemudian, pemantauan hemodinamik bukan tindakan terapeutik melainkan sebagai upaya awal untuk mendeteksi secara dini adanya permasalahan pada pasien gagal jantung sehingga petugas kesehatan dapat memberikan penanganan yang optimal (Sengeløv & Biering-Sørensen, 2021). Oleh sebab itu, penilaian dan penanganan hemodinamik merupakan bagian penting pada pasien ICU terutama pada pasien gagal jantung (Setiyawan, 2016) they are require to hemodynamic monitoring and need early mobilization treatment. Lateral position is one of the nursing interventions in early mobilization and became the standard to prevent immobilization complications, but the impact of the changing position on hemodynamic from the Non-Invasive Blood Pressure (NIBP).

Pemantauan hemodinamik dapat dilakukan secara tidak langsung (non invasif) dan secara langsung (invasif). Pemantauan secara tidak langsung (non invasif) dapat dilakukan melalui pemeriksaan kesadaran, tekanan darah (metode palpasi, metode auskultasi, metode flush, metode osilonometri, metode pletismograf, metode tonometri arteri, dan metode probe doppler), tekanan vena jugularis, *capillary refill time*, suhu tubuh, produksi urin, rekaman EKG, oksimeter nadi, gambaran ekokardiografi, gelombang nadi, dopler esofagus, dan perubahan bioimpedans elektrik dinding dada. Sedangkan pemantauan hemodinamik secara langsung (invasif) dapat dilakukan melalui

pemeriksaan tekanan arteri menggunakan kanul yang dimasukkan ke arteri, tekanan vena sentralis (CVP), dan kateterisasi arteri pulmonalis (Hartawan, 2016).

Dalam pelaksanaan pemantauan hemodinamik, perawat memiliki peran yang sangat penting. Pada keadaan gangguan hemodinamik, diperlukan pemantauan dan penanganan yang tepat karena kondisi hemodinamik sangat mempengaruhi fungsi penghantaran oksigen dalam tubuh dan melibatkan fungsi jantung (Setiyawan, 2016). Pada pasien dengan gangguan jantung, status hemodinamik yang tidak stabil merupakan kondisi berbahaya dan jika tidak ditangani dengan tepat maka pasien berisiko mengalami gagal fungsi organ multipel hingga kematian (Muti, 2020). Kondisi kritis inilah yang harus ditangani oleh perawat guna memaksimalkan pemberian asuhan keperawatan komprehensif.

Saat ini, seiring dengan perkembangan teknologi pemantauan hemodinamik di ruang perawatan intensif mulai beralih dari pemantauan secara invasif ke non invasif (Loodie Ackly Agu & eka, 2018). Hal ini dilakukan dengan alasan dan berbagai macam pertimbangan salah satunya adalah komplikasi yang ditimbulkan dari pemantauan hemodinamik secara invasif. Beberapa komplikasi tersebut antara lain lambat dalam menentukan *cardiac output*; menyebabkan perubahan isi cairan *intrathoracic* dan *SVR* memengaruhi pengukuran dalam metode *bioimpedance*; serta kejadian infeksi akibat pembuatan jalur khusus pada arteri dan vena sentral atau pembuatan *AV loop* yang sangat berbahaya bagi keselamatan pasien (Loodie Ackly Agu & eka, 2018). Namun, pemantauan secara non invasif masih belum banyak diketahui terkait dengan validitas pemakaian dari instrumen yang digunakan.

Dalam memonitor hemodinamik, perawat harus mengadaptasi perkembangan teknologi guna memaksimalkan perannya sebagai *care giver*. Kemampuan menginterpretasikan hasil, membuat keputusan klinis, menyikapi dan menyelidiki perubahan yang terjadi, mengomunikasikan hasil interpretasi data hemodinamik maupun rencana perubahan perawatan perlu dibarengi dengan pengetahuan dan kemampuan berpikir kritis yang baik. Hal ini akan menurunkan risiko terjadinya tindakan yang merugikan dan memastikan bahwa tindakan yang diberikan sesuai dengan kondisi pasien. Selain itu, kemampuan perawat dalam mengedukasi tenaga kesehatan lain terkait *monitoring* hemodinamik adalah hal yang penting untuk dilakukan guna mendukung

kualitas rencana perawatan masing-masing profesi (Donaho & Trupp, 2009). Oleh karena itu, adanya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis, mengidentifikasi efikasi dan perbandingan non invasif dan invasif, serta mengetahui kebutuhan dalam memonitor hemodinamik pada pasien gagal jantung.

**METODE**

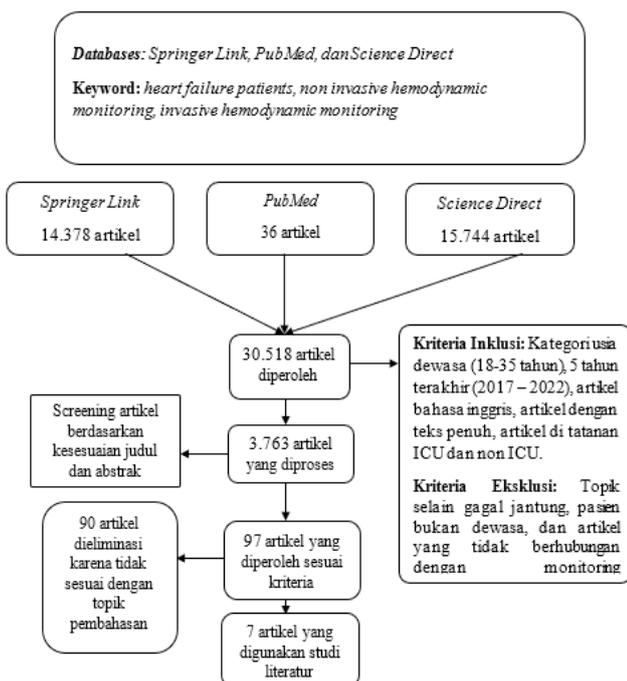
Desain yang digunakan dalam telaah artikel ini adalah metode *descriptive review*. Pencarian artikel ini menggunakan teknik PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*). Populasinya adalah pasien dewasa dengan gagal jantung, intervensinya adalah monitoring hemodinamik non invasif, perbandingannya adalah monitoring hemodinamik invasif, serta luarannya adalah akurasi hasil interpretasi, validitas, dan lain-lain. Pencarian artikel menggunakan *data base Springer Link, PubMed, dan Science Direct*, dengan kata kunci menggunakan *boolean operators*, yaitu *heart failure patients AND non invasive hemodynamic monitoring AND invasive hemodynamic monitoring*. Kriteria inklusi telaah artikel ini meliputi kategori usia dewasa (18-35 tahun), 5 tahun terakhir (2017 – 2022), artikel bahasa inggris, artikel dengan teks penuh, artikel yang berhubungan dengan monitoring hemodinamik di tatanan ICU dan non ICU. Sedangkan kriteria eksklusi telaah artikel ini saat dilakukan pencarian artikel adalah topik selain gagal jantung, pasien bukan dewasa, dan artikel yang tidak berhubungan dengan monitor hemodinamik.

**HASIL**

Setelah melakukan pencarian literatur melalui *data bases* yaitu *Springer Link, PubMed, dan Science Direct* didapatkan sebanyak 30.518 artikel (*Springer Link* 14.378 artikel, *PubMed* 36 artikel, dan *Science Direct* 15.744 artikel). Kemudian, dilakukan penyortiran artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang sudah ditetapkan. Hasil penyortiran tersebut didapatkan 3.763 artikel. Setelah itu dilakukan *screening* seleksi judul, seleksi abstrak, dan *full text* terhadap 97 artikel tersebut dan didapatkan hasil sebanyak 7 artikel, di mana 3 artikel dari *Springer Link*, 3 artikel dari *PubMed*, dan 1 artikel dari *Science Direct*. Alur pencarian literatur disajikan dalam bagan 1.

Berdasarkan metode penelitian dari 7 artikel hanya 1 yang termasuk ke dalam review artikel yakni pada penelitian Faragli et al., (2021). Berdasarkan *setting* dari penggunaan alat terdapat pada ruang Intensive Care Unit (*Non invasive Pulse Contour Analysis (NPCA). Caretaker (CT) BP device, Photoplethysmography-Based Device*), ruang Non Intensive Care Unit (*Ballistocardiography (BCG) dan Impedance Cardiography (ICG)*), dan Rumah (*Telemonitoring (Telemonitoring Non Invasif dalam bentuk bioimpedance monitoring)*).

Terdapat beberapa alat atau *device* non invasif yang berguna untuk monitoring status hemodinamik pada pasien gagal jantung. Berdasarkan hasil penelitian, secara keseluruhan penggunaan teknologi untuk dapat memonitoring hemodinamik secara non invasif pada pasien gagal jantung terbilang memiliki tingkat validasi dan efikasi yang baik dan dapat digunakan baik di tatanan ruang ICU, Non ICU (di ruangan perawatan/ Poliklinik), dan rumah (*telemonitoring*). Hasil analisis dan ekstraksi data terdapat pada tabel 1.



**Bagan 1. Diagram Alur Pencarian Literatur**

Tabel 1. Analisis Jurnal

Peneliti	Metode Penelitian, Populasi dan Sampel	Intervensi	Setting	Hasil
(Roth et al., 2018)	<p><b>Metode:</b> <i>Prospective, single center, non-randomized study</i></p> <p><b>Populasi:</b> Pasien HF-REF (<i>Heart failure with reduced left ventricular ejection fraction</i>) sebanyak 107.</p> <p><b>Sampel:</b> Sebanyak 58 orang.</p>	Perangkat <i>Noninvasive Pulse Contour Analysis</i> (NPCA) yang dikalibrasi otomatis dengan perangkat CNAP. Dibandingkan dengan menggunakan alat invasif yaitu <i>thermodilution</i> (TD).	ICU, IGD, Poli Rawat Jalan	<p>Dari 58 pasien yang dianalisis, pengukuran curah jantung menunjukkan nilai rata-rata yang menyimpang.</p> <p>Pada pengukuran <i>cardiac index</i>, dengan pengukuran menggunakan <i>thermodilution</i> (TD) menunjukkan penurunan CI (&lt;2,5 L/mnt/m<sup>2</sup>) pada 52 pasien (90%), sementara NPCA mendokumentasikan penurunan CI pada 18 pasien (31%) saja. Bias rata-rata antara pengukuran adalah +1,92 L/mnt (<i>limits of agreement</i> (LOA) ± 2,28 L/mnt, <i>percentage error</i> (PE) 47,4%) untuk CO, + 0,92 L /min/m<sup>2</sup> (LOA ± 1,08 L/min/m<sup>2</sup>, PE 46,5%) untuk CI, + 26 ml (LOA ± 31 ml, PE 45,3%) untuk SV, dan 528 dyne s cm<sup>-5</sup> (LOA ± 782 dyne s cm<sup>-5</sup>, PE 56,3%) untuk SVR. Dengan penurunan <i>cardiac index</i>, sebagaimana ditentukan oleh TD, ada peningkatan kesenjangan (%) antara nilai <i>cardiac output</i> yang diperoleh TD versus NPCA</p> <p>Analisis penyimpangan antara kalibrasi menunjukkan perubahan CO rata-rata 0,62 L/menit (± 0,66 L/menit) karena perubahan jari dengan kalibrasi ulang sistem.</p>
(Lopes et al., 2019)	<p>Metode: Studi kasus-kontrol (TARGET)</p> <p><b>Populasi:</b> Pasien dengan hipertensi berturut-turut selama lebih dari 18 tahun di Rumah Sakit Pusat Tondela Viseu</p> <p><b>Sampel:</b> Sebanyak 102 pasien</p>	Perangkat ICG (HOT-MAN <sup>®</sup> System for Adults W/EXT-TEB-CO <sup>®</sup> )	Non ICU	<p>ICG menjadi metode noninvasif yang <i>reliable</i>, dan murah untuk menentukan parameter hemodinamik.</p> <p>Pasien hipertensi dengan gagal jantung menunjukkan nilai parameter aliran darah (<i>Cardiac Index</i> dan <i>Stroke Index</i>) yang lebih rendah secara signifikan, kontraktilitas (EPCI dan ISI) dan LSWI dibandingkan dengan pasien hipertensi tanpa gagal jantung.</p>
Kwon et al., (2021)	<p><b>Metode:</b> <i>Prospective cohort study</i></p> <p><b>Populasi:</b> Pasien bedah dan trauma dewasa yang dirawat di unit perawatan intensif</p> <p><b>Sampel:</b> Sebanyak 34 pasien.</p>	Perangkat <i>Caretaker</i> (CT) BP <i>device</i> Tekanan darah oleh CT dicatat secara bersamaan dengan tekanan darah arteri invasif. Tekanan darah arteri invasif dibandingkan dengan yang diperoleh sistem CT.	ICU	<p>Korelasi TD sistolik dan diastolik (koefisien Pearson), serta perbedaan rata-rata (deviasi standar), masing-masing adalah 0,92 dan -0,36 (7,57) mmHg dan 0,83 dan -2,11 (6,00).</p> <p>CT memiliki potensi untuk memperluas pemantauan cNIBP ke lebih luas populasi pasien.</p>

Peneliti	Metode Penelitian, Populasi dan Sampel	Intervensi	Setting	Hasil
Dvir et al., (2022)	<p><b>Metode:</b> <i>Observational, prospective, comparative clinical trial.</i></p> <p><b>Populasi:</b> Pasien yang dirawat di ICU dipantau menggunakan perangkat curah jantung kontur nadi.</p> <p><b>Sampel:</b> sebanyak 7 pasien</p>	Perangkat <i>pulse contour cardiac output</i> (PiCCO) dan <i>Photoplethysmography Based Device</i> . Pemantauan paralel CO menggunakan perangkat <i>patch</i> dada berbasis <i>photoplethysmography</i>	ICU	Bland-Altman menunjukkan bahwa <i>photoplethysmography</i> memiliki bias 0.3L/m dengan -1.6 dan 2.2L/m 95% limit of agreement (LOA) dan bias 2.4% dengan 95% LOA antara -25.7% dan 30.5%. Perangkat berbasis <i>photoplethysmography</i> memberikan pengukuran CO <sub>2</sub> yang sebanding dengan PiCCO invasif dan dapat digunakan tanpa komplikasi yang terlihat dengan metode invasif.
(Faraghi et al., 2021)	<p><b>Metode:</b> <i>Interventional study</i></p> <p><b>Populasi:</b> Pasien dengan gagal jantung (<i>heart failure</i>)</p> <p><b>Sampel:</b> Tidak disebutkan</p>	Pemantauan dilakukan dengan metode dukungan komunikasi/telepon terstruktur, <i>bioimpedance monitoring</i> , dan <i>non-invasive home telemonitoring</i>	Rumah	<i>Bioimpedance monitoring</i> , dukungan komunikasi/telepon terstruktur, <i>non-invasive home telemonitoring</i> yang dikombinasikan dengan dukungan komunikasi/telepon terstruktur memiliki efek menguntungkan dalam pengelolaan pasien gagal jantung. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan tingkat kematian dari semua penyebab, penurunan kejadian <i>rehospitalisasi</i> , penurunan risiko kematian, peningkatan kualitas hidup, penurunan lama rawat inap pasien di rumah sakit, dan penurunan biaya perawatan yang harus dibayar pasien.
(Zhang et al., 2021)	<p><b>Metode:</b> <i>cross-section</i></p> <p><b>Populasi:</b> 158 pasien di ruang ekokardiografi</p> <p><b>Sampel:</b> Dibagi kedalam 3 grup berdasarkan hasil indeks LAP</p>	<i>Ballistocardiography</i> (BCG)	Non ICU	Hasil output lima kali akuisisi yang berbeda sangat konsisten. Hasil pengujian sistem akuisisi antara pasien yang berbeda menunjukkan bahwa output indeks LAP menggunakan sistem akuisisi sinyal BCG memiliki <i>repeatability</i> yang andal. LAP-index dan ekokardiografi memiliki konsistensi yang pasti dalam mengevaluasi LAP, yang berarti bahwa LAP-index berpotensi mengidentifikasi adanya peningkatan LAP.
(Khrainim et al., 2020)	<p><b>Metode:</b> single-center observational study</p> <p><b>Populasi:</b> sebanyak 32 pasien rawat jalan dengan</p> <p><b>Sampel:</b> 32 pasien</p>	Penggunaan alat ICG Non invasif Elektrokardiogram (EKG) dan parameter hemodinamik yang diinginkan dianalisis dengan kardiografer impedansi BioZ Dx (Cardio Dynamics Inc., San Diego, CA, USA) dan algoritme khusus pabrikan.	Non ICU	Terdapat peluang untuk mengkarakterisasi hemodinamik pada pasien gagal jantung rawat jalan menggunakan ICG non-invasif. Parameter ICG ini menunjukkan nilai diskriminan yang sangat baik untuk memisahkan mereka yang memiliki dan tanpa AF.

## PEMBAHASAN

Perangkat pemantauan *cardiopulmonary* invasif rentan terhadap komplikasi dan tidak nyaman sehingga terjadi peralihan dari metode invasif ke non invasif. Pemantauan hemodinamik dengan cara non-invasif dapat memungkinkan diagnosis dan pengobatan pasien yang tidak stabil dan meminimalkan morbiditas dan mortalitas pasien gagal jantung (Nachman et al., 2020). Berdasarkan hasil penelitian yang sudah didapatkan terdapat beberapa macam intervensi non invasif untuk monitoring status hemodinamik pada pasien gagal jantung. Pengelompokkan berdasarkan pada *setting* dan tempat penggunaan alat atau *device* pada pasien gagal jantung, yakni penggunaan di ruang *intensive care unit*, *non intensive care unit*, dan rumah (*telementoring*).

### Intensive Care Unit

#### 1. Non invasive Pulse Contour Analysis (NPCA)

*Non invasive Pulse Contour Analysis* (NPCA) dengan perangkat *Continuous Noninvasive Arterial Pressure* (CNAP) adalah salah satu metode baru yang dapat menentukan nilai *cardiac output* secara non invasif melalui manset sederhana. Manset ini menjaga aliran darah kapiler tetap konstan. Mekanismenya adalah tekanan yang dibutuhkan dicatat oleh transduser tekanan dan sesuai dengan bentuk gelombang tekanan arteri yang sebenarnya (teknik pelepasan vaskular atau yang disebut prinsip Penaz). Sinyal tekanan arteri yang berasal dari manset jari dikalibrasi ke nilai tekanan arteri *oscillometric*. Selain itu, pengukuran hanya dilakukan melalui salah satu dari dua manset pada satu waktu, sehingga dapat diubah untuk menghindari komplikasi, misalnya iskemia. Teknik ini tersedia dengan kalibrasi otomatis yang berasal dari data biometrik pasien (usia, tinggi, berat, jenis kelamin) dan dengan kalibrasi ke nilai *cardiac output* yang diukur sebelumnya. Parameter hemodinamik yang dapat diukur dengan alat ini yaitu *cardiac output* (CO), *cardiac index* (CI), *stroke volume* (SV) dan *systemic vascular resistance* (SVR).

Terlepas dari banyak keuntungan yang menjanjikan, NPCA yang dikalibrasi otomatis dengan perangkat CNAP saat ini dalam penelitian Roth, et al. (2018) belum dapat direkomendasikan pada pasien dengan HF-REF (*heart failure with reduced left ventricular ejection fraction*) untuk penentuan curah jantung. Dibandingkan dengan *thermodilution* (TD) yang dikenal *gold standard* monitor hemodinamik saat ini,

NPCA yang dikalibrasi otomatis secara sistematis menaksir curah jantung lebih tinggi dengan penurunan fungsi jantung. Hal ini dibuktikan dengan temuan studi tersebut bias proporsional + 1,92 L/mnt dengan LOA  $\pm$  1,16 L/mnt, yang menunjukkan bahwa curah jantung secara sistematis ditaksir terlalu tinggi oleh NPCA (Roth et al., 2018).

#### 2. Caretaker BP device

*Caretaker BP device* merupakan *teknologi continuous noninvasive BP* (cNIBP) *beat-by-beat* yang menyediakan informasi interval interbeat dengan resolusi tinggi (Kwon et al., 2021). Perangkat ini menggunakan manset jari bertekanan rendah ( $\approx$ 35-45 mmHg), yang dipasangkan secara pneumatik dengan denyut arteri melalui saluran tekanan ke sensor tekanan piezo-elektrik yang dirancang khusus untuk deteksi dan analisis. Pada alat ini, pemantauan tekanan darah dilakukan melalui algoritma analisis yang disebut "*pulse decomposition analysis* (PDA)", yang menganalisis komponen denyut nadi, khususnya denyut ejeksi ventrikel kiri (P1) dan pantulannya, denyut refleks ginjal (P2) dan refleks iliaka, denyut nadi (P3), yang merupakan denyut nadi tekanan arteri (Gratz et al., 2017).

Model PDA berusaha mengoreksi perubahan fisiologis untuk memberikan keluaran yang lebih tepat. Berkenaan dengan pengukuran HR, *Caretaker* menghasilkan interval interbeat yang akurat bila dibandingkan dengan EKG. Secara khusus, *Caretaker* melacak interval interbeat dalam perbedaan rata-rata  $<1$  ms (6,0 ms) dalam rentang interbeat dari 0,4 hingga 1,4 detik, sesuai dengan HR dari 43 hingga 150 bpm. Lebih lanjut dengan parameter hemodinamik tambahan, seperti *stroke volume*, curah jantung, dan waktu ejeksi ventrikel kiri, yang dapat dengan mudah dimodelkan dalam formalisme PDA (Kwon et al., 2021).

Selanjutnya, efek dari anatomi yang menyimpang, seperti aneurisma aorta perut atau stenosis arteri ginjal, dapat diselidiki dalam kaitannya dengan pembacaan CT BP. Validitas CT dalam pengaturan rentang tekanan darah yang lebih ekstrim dan selama titrasi obat vasoaktif akan memerlukan penyelidikan lebih lanjut. Penelitian Kwon et al., (2021) mengungkapkan bahwa penentuan tekanan darah dan HRV secara noninvasif menggunakan perangkat CT dan pendekatan PDA dimungkinkan dalam pedoman standar ANSI/AAMI/ISO 81060-2:2013. HRV berguna untuk penilaian sistem otonom dan prediksi

risiko kardiovaskular. Akurasinya melebihi teknologi cNIBP yang ada. Berdasarkan hasil yang disajikan, ditambah dengan kenyamanan penggunaan, CT memiliki potensi untuk memperluas pemantauan cNIBP ke populasi pasien yang lebih luas.

### 3. *Photoplethysmography-Based Device*

*Photoplethysmography* adalah teknik optik noninvasif yang digunakan untuk mendeteksi perubahan volumetrik dalam darah di permukaan kulit yang menggunakan beberapa panjang gelombang. Penelitian Dvir et al., (2022) telah menunjukkan bahwa perangkat berbasis *photoplethysmography* memberikan pembacaan yang akurat dan valid dengan bias marginal dan LOA yang minimal untuk CO bila dibandingkan dengan termodilusi yang diperoleh dari PiCCO invasif, yang dianggap sebagai standar yang lebih baik untuk pengukuran CO.

*Photoplethysmograph* dapat digunakan untuk mengetahui kondisi sistem kardiovaskular dengan mengukur perubahan volume darah pada jaringan kulit. Dalam penerapannya, metode ini menggunakan sensor optik untuk menangkap sinyal elektrik yang berasal dari sumber cahaya yang terpantul karena perubahan aliran darah selama aktivitas jantung. Sinyal yang dihasilkan oleh metode *photoplethysmograph* telah banyak dikembangkan untuk pengukuran bermacam parameter kesehatan diantaranya detak jantung (HR), variabilitas detak jantung (HRV), tingkat pernapasan (RR), gula darah dan saturasi oksigen dalam darah (Annisa Pratiwi et al., 2016).

Perangkat monitor *patch* dada berbasis *photoplethysmography* mencakup sensor *photoplethysmography* reflektif yang menyediakan beberapa tanda vital menggunakan pendekatan waktu transit gelombang puls yang dikombinasikan dengan analisis gelombang puls. Pemantauan dimulai setelah proses kalibrasi dasar. Kalibrasi dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat berbasis manset atau jalur arteri, tergantung pada monitor spesifik yang digunakan pada pasien. Setelah mendapatkan nilai kalibrasi, dimasukkan ke dalam aplikasi web, dan mulai saat ini penelitian dilanjutkan dengan pengukuran paralel. Tanda-tanda vital yang dikumpulkan oleh monitor yang dapat dikenakan meliputi saturasi oksigen (Spo<sub>2</sub>), laju pernapasan, denyut nadi (PR), BP noninvasif tanpa manset, volume sekuncup, CO, indeks jantung, resistensi pembuluh darah sistemik dan suhu (Dvir et al., 2022).

Sedangkan PiCCO didasarkan pada termodilusi

transpulmoner dan analisis puls kontur untuk menghitung parameter hemodinamik. Saat menggunakan pengukuran termodilusi transpulmoner, bolus tertentu dari larutan disuntikkan melalui kateter vena sentral. Ketika bolus melewati jantung kanan, paru-paru, dan jantung kiri, dideteksi oleh PiCCO *Catheter*, ditempatkan baik di arteri femoralis atau aksila. Prosedur ini diulang tiga kali dalam waktu kurang dari 10 menit untuk memastikan rata-rata yang digunakan untuk mengkalibrasi perangkat dan untuk menghitung parameter termodilusi akurat. Parameter termodilusi harus dievaluasi setiap kali ada perubahan substansial dalam kondisi atau terapi pasien, dan direkomendasikan untuk mengkalibrasi ulang setidaknya tiga kali sehari. Teknik PiCCO memiliki beberapa keterbatasan. Hal ini membutuhkan akses intra-arteri dan vena sentral, tekanan arteri pulmonal tidak dapat diukur, dan analisis kontur nadi tidak dapat diandalkan pada pasien dengan aritmia, alat bantu sirkulasi mekanis, patologi katup aorta, dan mungkin tergantung pada lokasi jalur arteri (Dvir et al., 2022). Berdasarkan hasil yang disajikan, *Photoplethysmography* memberikan pengukuran CO<sub>2</sub> yang sebanding dengan PiCCO invasif dan dapat digunakan tanpa komplikasi yang terlihat dengan metode invasif.

### *Non Intensive Care Unit*

#### 1. *Ballistocardiography (BCG)*

BCG adalah teknik non-invasif untuk memantau parameter kardiovaskular yang mengumpulkan getaran dada yang disebabkan oleh detak jantung dan eaksi darah ke pembuluh darah perifer. Penelitian ini menggunakan sensor getaran serat optik baru untuk mengumpulkan sinyal BCG. Teknologi inti dari penelitian ini adalah teknologi algoritma komprehensif berbasis sensor serat optik, yang menggunakan suara jantung ketiga sebagai parameter utama (Zhang et al., 2021). Selama pemeriksaan BCG, pasien terlentang, dengan sensor BCG yang mengandung serat optik ditempatkan di bawah punggung pasien, getaran dada yang disebabkan oleh pergerakan jantung pasien dan aliran darah di pembuluh darah besar menyebabkan serat optik menghasilkan sedikit pembengkokan dan deformasi, kemudian diperoleh hasil sinyal BCG dengan menganalisis variasi sinyal cahaya yang disebabkan oleh deformasi. Untuk menganalisis stabilitas sistem akuisisi sinyal BCG dari pasien diukur selama 10 menit dalam posisi tenang dan terlentang, data dibagi ke dalam panjang waktu yang berbeda, yaitu 1, 2, 3, 5 dan 8 menit pertama (Zhang et al.,

2021).

Ekokardiografi dalam penelitian ini menggunakan perangkat Philips5500 dan pencitraan jaringan *Doppler* (DTI) yang dilengkapi dengan transduser multifrekuensi untuk mengumpulkan gambar ultrasound pasien. Volume pengambilan sampel *Doppler* ditempatkan di puncak katup mitral dan dicatat 5-10 siklus jantung dari apikal. Tingkat akurasi untuk mengevaluasi tekanan pengisian dan kinerja prognosis komprehensif ekokardiografi dilaporkan menjadi yang terbaik di antara modalitas non-invasif lainnya (Zhang et al., 2021). Indeks LAP, indeks gabungan yang berasal dari BCG memiliki reliabilitas dan akurasi tinggi dalam mengidentifikasi peningkatan LAP. Keberhasilan diagnostik indeks LAP dalam mengidentifikasi LAP mendekati hasil evaluasi komprehensif ekokardiografi. BCG memiliki keunggulan non-invasif dan mudah dioperasikan, yang kemudian memberikan kemungkinan baru untuk deteksi non-invasif pasien dengan kongesti hemodinamik atau peningkatan tekanan pengisian (Zhang et al., 2021)

## 2. *Impedance Cardiography* (ICG)

ICG adalah tindakan non-invasive yang mengukur jumlah konduktivitas listrik thorax dan perubahan waktu untuk memproses secara terus menerus mengenai parameter kardiodynamik seperti *stroke volume*, frekuensi nadi, *cardiac output* (Lopes et al., 2019) *well-tolerated, and non-invasive method used to obtain hemodynamic measurements and could potentially be useful in heart failure (HF)*. ICG memungkinkan pemantauan curah jantung (CO) terus menerus, denyut demi denyut, independen operator pada pasien medis atau bedah. Penggunaan ICG memerlukan empat elektroda eksternal sekali pakai, dua pasang diletakkan di pangkal leher dan dua pasang diletakkan di batas bawah dada pasien sepanjang garis aksila tengah. Empat sensor yang ditempatkan secara superior menghasilkan arus listrik bolak-balik dengan frekuensi tinggi dan intensitas sangat rendah (sekitar 7 $\mu$ A) yang tidak dapat dideteksi oleh pasien, dan empat elektroda lainnya mendeteksi variasi dalam impedansi listrik rongga dada. Prosedur ICG ini dapat ditoleransi dengan baik dan dapat dibandingkan dengan grafik elektrokardio 12 sadapan standar

Dalam penelitian Lopes et al., (2019), para pasien diinstruksikan untuk bernapas normal, tetap diam dan tidak berbicara atau batuk selama prosedur. Setelah

stabilisasi parameter hemodinamik, setidaknya tiga pengukuran ditentukan untuk setiap variabel dan nilai rata-rata dipertimbangkan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari bioimpedansi diantaranya penempatan elektroda, gerakan atau perubahan posisi, kelembaban kulit, komposisi darah (kadar hemoglobin dan resistivitas spesifik darah), komposisi tubuh (termasuk jaringan paru-paru, lemak, udara), dan bahkan lingkungan.

Pada penelitian Khraim et al., (2020), pasien poliklinik yang memiliki riwayat penyakit gagal jantung dilakukan evaluasi hemodinamik dengan menggunakan alat ICG. Penelitian ini menjalankan model regresi logistik multivariat menggunakan prediktor ICG sebagai penanda AF dan melaporkan kurva karakteristik operasi penerima (ROC) yang dihasilkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada peluang untuk mengkarakterisasi hemodinamik pada pasien gagal jantung rawat jalan menggunakan ICG non-invasif. Parameter ICG ini menunjukkan nilai diskriminan yang sangat baik untuk memisahkan mereka yang memiliki dan tanpa AF.

## Rumah (*Telemonitoring Non Invasif*)

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berpengaruh terhadap bidang kesehatan. Salah satu hasil perkembangan tersebut adalah *non-invasive telemonitoring* untuk membantu pelaksanaan proses *monitoring* hemodinamik pasien gagal jantung yang lebih modern dan efisien. Berbagai macam metode dapat dilakukan untuk *non-invasive telemonitoring* ini seperti dukungan telepon yang terstruktur, *non-invasive home telemonitoring*, dan *bioimpedance monitoring*. Masing-masing metode biasanya disesuaikan dengan karakteristik lingkungan, kondisi pasien, fasilitas dan infrastruktur, serta hal-hal lainnya yang berkaitan dengan proses *monitoring* hemodinamik (Faragli et al., 2021).

Saat ini, *monitoring* hemodinamik dapat dilakukan melalui dukungan telepon/sistem komunikasi yang terstruktur. Sistem ini dirancang agar mampu mendukung proses komunikasi dengan jangkauan yang luas disertai berbagai kemudahan lainnya. Dalam pelaksanaannya, *monitoring* melalui telepon ini memiliki banyak keunggulan seperti biaya yang murah, penggunaan yang cenderung mudah oleh pasien/keluarga, persepsian obat yang lebih jelas, serta adanya peningkatan pengetahuan dan perilaku perawatan diri pada pasien gagal jantung. Selain digunakan antar rumah pasien dan rumah sakit,

*monitoring* melalui telepon juga dapat digunakan oleh tenaga kesehatan sebagai media bertukar informasi mengenai kondisi pasien (Faragli et al., 2021).

Adapun metode lainnya dalam *non-invasive telemonitoring* yaitu *bioimpedance monitoring* yang merupakan pengukuran komposisi tubuh secara *non-invasive* untuk mengkaji berbagai kondisi klinis. Teknologi ini akan merekam informasi tubuh secara keseluruhan dan mengirimkannya melalui sistem secara *real time*. *Monitoring* dengan metode ini cukup menguntungkan, mengingat data mengenai fungsi kardiovaskular, total cairan tubuh, dan index *Granov Goor* yang merupakan indikator fungsi ventrikel kiri dapat diketahui secara rinci (Nachman et al., 2021). Menurut penelitian sebelumnya terkait *bioimpedance monitoring*, penggunaan *monitoring* ini sangat modern dan sangat mendukung integrasi tenaga kesehatan dalam pengelolaan pasien gagal jantung. Metode ini memiliki teknologi pengukuran komposisi tubuh yang akurat dan komunikasi nirkabel yang dapat menghubungkan pasien dengan tenaga kesehatan melalui aplikasi yang diunduh pada ponsel pintar. Dalam penelitiannya, *bioimpedance monitoring* sangat membantu *monitoring* hemodinamik pasien dalam berbagai posisi tubuh seperti *semi-recumbent*, *supine*, dan berdiri. Dengan informasi tersebut, rancangan intervensi yang akan diberikan menjadi lebih tepat dan sesuai dengan kondisi terkini pasien (Dovancescu et al., 2013).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil literatur yang sudah didapatkan bahwa secara keseluruhan penggunaan teknologi untuk memonitoring hemodinamik secara non invasif pada pasien gagal jantung terbilang memiliki tingkat validasi dan efikasi yang baik dan dapat digunakan baik di tatanan ruang ICU, Non ICU (di ruangan perawatan/Poliklinik), dan rumah (*telemonitoring*). Berdasarkan setting dari penggunaan alat untuk ruang Intensive Care Unit dapat menggunakan alat *Non invasive Pulse Contour Analysis* (NPCA), *Caretaker BP device*, *Photoplethysmography-Based Device*, ruang Non Intensive Care Unit seperti *Ballistocardiography* (BCG) dan *Impedance Cardiography* (ICG)), dan Rumah (*Telemonitoring*) seperti *bioimpedance monitoring*.

## SARAN

Dari hasil penelitian yang sudah didapatkan, terdapat beberapa rekomendasi yang perlu diperhatikan bagi praktisi kesehatan mengenai monitor hemodinamik secara non invasif pada pasien gagal jantung. Pertama,

terkait penggunaan dan *maintanance* alat-alat non invasif di rumah sakit perlu adanya pengenalan dan demonstrasi penggunaan alat ke seluruh staf petugas kesehatan terutama perawat yang bertugas di ruangan *intensive care unit*. Hal ini karena, alat yang digunakan perlu untuk dikalibrasi ulang dan *updating* fitur yang harus dilakukan ketika selesai digunakan sehingga tidak memengaruhi ketidakakuratan hasil. Kedua, terkait penerapan *telemonitoring* di Indonesia perlu dilakukan kolaborasi antara profesional kesehatan dan profesional lain yang berhubungan dengan teknologi dan informasi terutama terkait penyediaan sarana dan pra sarana. Secara keseluruhan, perlu dilakukan pelatihan bagi profesional kesehatan terutama perawat terkait penggunaan alat-alat maupun penerapan *telemonitoring* di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Annisa Pratiwi, C., Madona, P., & Palapa Wijaya, Y. (2016). Akuisisi Data Sinyal Photoplethysmograph (PPG) Menggunakan Photodiode. *Jurnal Elektro Dan Mesin Terapan*, 2(2), 32–41. <https://doi.org/10.35143/elementer.v2i2.187>
- Donaho, E. K., & Trupp, R. J. (2009). Hemodynamic Monitoring in Heart Failure: A Nursing Perspective. *Heart Failure Clinics*, 5(2), 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2008.11.006>
- Dorsey, E. R., & Topol, E. J. (2016). State of telehealth. *New England Journal of Medicine*, 375, 154–161.
- Dovancescu, S., Torabi, A., Mabote, T., Caffarel, J., Kelkboom, E., Aarts, R., Korsten, E., & Cleland, J. (2013). Sensitivity of a wearable bioimpedance monitor to changes in the thoracic fluid content of heart failure patients. *Computing in Cardiology*, 40, 927–930.
- Dvir, A., Goldstein, N., Rapoport, A., Balmor, R. G., Nachman, D., Merin, R., Fons, M., Ben Ishay, A., & Eisenkraft, A. (2022). Comparing Cardiac Output Measurements Using a Wearable, Wireless, Noninvasive Photoplethysmography-Based Device to Pulse Contour Cardiac Output in the General ICU: A Brief Report. *Critical Care Explorations*, 4(2), e0624. <https://doi.org/10.1097/cce.0000000000000624>
- Eurlings, C. G. M. J., Boyne, J. J., de Boer, R. A., & Brunner-La Rocca, H. P. (2019). Telemedicine in heart failure—more than nice to have? *Netherlands Heart Journal*, 27(1), 5–15. <https://doi.org/10.1007/s12471-018-1202-5>
- Faragli, A., Abawi, D., Quinn, C., Cvetkovic, M., Schlabs, T., Tahirovic, E., Dungen, H. D.,

- Pieske, B., Kelle, S., Edelmann, F., & Alogna, A. (2021). The role of non-invasive devices for the *telemonitoring* of heart failure patients. *Heart Failure Reviews*, 26(5), 1063–1080. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09963-7>
- Gratz, I., Deal, E., Spitz, F., Baruch, M., Allen, I. E., Seaman, J. E., Pukenas, E., & Jean, S. (2017). Continuous Non-invasive finger cuff CareTaker® comparable to invasive intra-arterial pressure in patients undergoing major intra-abdominal surgery. *BMC Anesthesiology*, 17(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s12871-017-0337-z>
- Hartawan, I. N. B. (2016). Pemantauan Hemodinamik. In *PKB Ilmu Kesehatan Anak XVI*.
- Herman, Istianah, U., & Suryani, E. (2015). Hubungan Pemenuhan Kebutuhan Istirahat Tidur Pada Pasien General Anestesi Di RSUD Nene Mallomo Kabupaten Sidenreng Rappang Sulawesi Selatan. In *Caring* (Vol. 2, Issue 4, pp. 22–33).
- Khraim, F., Alhamaydeh, M., Faramand, Z., Saba, S., & Al-Zaiti, S. (2020). A Novel Non-Invasive Assessment of Cardiac Hemodynamics in Patients With Heart Failure and Atrial Fibrillation. *Cardiology Research*, 11(6), 370–375. <https://doi.org/10.14740/cr1110>
- Kwon, Y., Stafford, P. L., Enfield, K., Mazimba, S., & Baruch, M. C. (2021). Continuous Noninvasive Blood Pressure Monitoring of Beat-By-Beat Blood Pressure and Heart Rate Using Caretaker Compared With Invasive Arterial Catheter in the Intensive Care Unit. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 000, 1–10. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.09.042>
- Loodie Ackly Agu & eka, T. (2018). *Pemantau Hemodinamik dari Invasif menuju Tidak Invasif Hemodynamic Monitor from invasive to non invasive*. 36(6), 128–137.
- Lopes, B. S., Craveiro, N., Firmino-Machado, J., Ribeiro, P., & Castelo-Branco, M. (2019). Hemodynamic differences among hypertensive patients with and without heart failure using impedance cardiography Bruno. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*, 13(1–9), 259–261. <https://doi.org/10.1177/https>
- Muti, R. T. (2020). Pengaruh Posisi Semi Fowler Dengan Kombinasi Lateral Kanan Terhadap Perubahan Haemodinamik Pada Pasien Gagal Jantung Di Ruang Iccu Rumah Sakit Umum Daerah Margono Soekarjo Purwokerto. *Vliva Medika*, 13(2), 50–63.
- Nachman, D., Gepner, Y., Goldstein, N., Kabakov, E., Ishay, A. Ben, Littman, R., Azmon, Y., Jaffe, E., & Eisenkraft, A. (2020). Comparing blood pressure measurements between a photoplethysmography-based and a standard cuff-based manometry device. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73172-3>
- Nachman, D., Rahamim, E., Kolben, Y., Mengesha, B., Elbaz-Greener, G., Amir, O., & Asleh, R. (2021). In search of clinical impact: Advanced monitoring technologies in daily heart failure care. *Journal of Clinical Medicine*, 10(20). <https://doi.org/10.3390/jcm10204692>
- Roth, S., Fox, H., Fuchs, U., Schulz, U., Costard-Jäckle, A., Gummert, J. F., Horstkotte, D., Oldenburg, O., & Bitter, T. (2018). Noninvasive pulse contour analysis for determination of cardiac output in patients with chronic heart failure. *Clinical Research in Cardiology*, 107(5), 395–404. <https://doi.org/10.1007/s00392-017-1198-7>
- Sengeløv, M., & Biering-Sørensen, T. (2021). Noninvasive Hemodynamic Evaluation at Rest in Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Heart Failure Clinics*, 17(3), 423–434. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2021.02.006>
- Setiyawan. (2016). Mean arterial pressure non invasif blood pressure (MAP-NIBP) pada lateral position dalam perawatan intensif: Studi literature. *Prodi S-1 Keperawatan STIKes Kusuma Husada Surakarta*, 5, 565–569.
- Veenis, J. F., & Brugts, J. J. (2020). Remote monitoring of chronic heart failure patients: invasive versus non-invasive tools for optimising patient management. *Netherlands Heart Journal*, 28(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s12471-019-01342-8>
- Wulan, E. S., & Rohmah, W. N. (2019). Gambaran Caring Perawat Dalam Memberikan Asuhan Keperawatan Di Ruang Intensive Care Unit (Icu) RSUD Raa Soewondo Pati. *Jurnal Keperawatan Dan Kesehatan Masyarakat Cendekia Utama*, 8(2), 120. <https://doi.org/10.31596/jcu.v8i2.410>
- Zhang, L., Cai, P., Deng, Y., Lin, J., Wu, M., Xiao, Z., Chu, Z., Shi, Q., Ye, F., Hu, J., Yang, C., Li, P., Zhuang, S., & Wang, B. (2021). Using a non-invasive multi-sensor device to evaluate left atrial pressure: an estimated filling pressure derived from ballistocardiography. *Annals of Translational Medicine*, 9(20), 1587–1587. <https://doi.org/10.21037/atm-21-5161>