

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem konduksi jantung merupakan jaringan kompleks yang mengatur aktivasi atrium dan ventrikel secara sinkron sehingga menjamin kontraksi ventrikel yang efisien. Gangguan pada sistem ini—baik akibat penyakit jantung struktural, iskemia, maupun predisposisi genetik—dapat menyebabkan bradiaritmia atau blok konduksi yang sering memerlukan pemasangan alat pacu jantung permanen untuk mempertahankan denyut jantung yang adekuat dan stabilitas hemodinamik. Terapi pacu jantung telah merevolusi tatalaksana kondisi ini, berkembang dari pemacuan apikal ventrikel kanan (*right ventricular apical pacing*, RVP) hingga pendekatan yang lebih menekankan aktivasi ventrikel fisiologis (*physiological ventricular activation*) (Parlato et al., 2023).

Selama beberapa dekade, RVP menjadi standar karena lokasi apeks ventrikel kanan mudah dijangkau dan stabil untuk fiksasi *lead* (Rijks et al., 2022). Namun, semakin banyak bukti menunjukkan bahwa RVP bersifat non-fisiologis dan dapat menginduksi disinkroni listrik serta mekanik, yang berujung pada *remodeling* ventrikel kiri, peningkatan risiko *atrial fibrillation*, dan *heart failure* (Liu et al., 2021). Disinkroni ini berkaitan dengan penurunan *cardiac output* seiring waktu serta gangguan kontraksi mekanik ventrikel kiri yang dapat menurunkan fungsi sistolik dan meningkatkan beban kerja miokardium (Mafi-Rad et al., 2016). Seiring dipahaminya dampak tersebut, berbagai strategi pemacuan alternatif dikembangkan untuk meniru aktivasi ventrikel *fisiologis* dan meminimalkan efek merugikan RVP (Arnold et al., 2016; Liu et al., 2021).

Sebagai langkah awal, pemacuan biventrikular (*biventricular pacing*, BVP) diperkenalkan dengan implantasi dua *lead* pada ventrikel kanan dan ventrikel kiri melalui *coronary sinus* untuk memulihkan sinkronisasi ventrikel. Meskipun BVP memperbaiki sinkroni listrik, pola aktivasi yang dihasilkan tetap belum sepenuhnya fisiologis karena depolarisasi ventrikel masih berlangsung melalui konduksi miokard *cell-to-cell conduction*, bukan melalui sistem *His–Purkinje* (Rijks et al., 2022).

Perkembangan selanjutnya adalah munculnya pemacuan sistem konduksi (*conduction system pacing*), khususnya *His bundle pacing*, yang bertujuan mempertahankan atau memulihkan aktivasi ventrikel fisiologis (Cerantola et al., 2023). Dengan menargetkan *His bundle* secara langsung, metode ini berpotensi menghasilkan depolarisasi ventrikel yang lebih alami. Namun, keterbatasan teknis, hasil yang kurang optimal pada pasien dengan *bundle branch block*, serta kekhawatiran terhadap *pacing threshold* yang tinggi membatasi penerapannya secara luas (Pestrea et al., 2020).

Pemacuan cabang berkas kiri (*left bundle branch pacing*, LBBP) kemudian berkembang sebagai teknik yang mampu mengatasi sebagian besar keterbatasan tersebut. Melalui pendekatan *transseptal* ventrikel, LBBP melibatkan *left bundle branch* secara langsung dan menghasilkan pola aktivasi ventrikel yang lebih fisiologis, sehingga meminimalkan disinkroni yang sering dijumpai pada metode konvensional (Fu et al., 2022; Vetta et al., 2020). Selain terbukti mempersempit durasi kompleks QRS dan meningkatkan sinkronisasi ventrikel, LBBP berpotensi mempertahankan fungsi sistolik ventrikel kiri, yang merupakan faktor kunci dalam optimalisasi kinerja jantung (Gurgu et al., 2020). Studi klinis juga melaporkan tingkat keberhasilan implantasi yang tinggi, profil keamanan yang baik, serta luaran jangka pendek dan panjang yang menjanjikan (De Pooter et al., 2022; Li et al., 2019; Rademakers et al., 2022).

Meskipun demikian, adopsi LBBP secara luas masih menghadapi tantangan, terutama keterbatasan ketersediaan *lumenless lead* serta kebutuhan keahlian khusus untuk prosedur ini (Bender and Ajjola, 2019; Burri et al., 2023; De Pooter et al., 2021). Kondisi ini berpotensi membatasi akses pasien, khususnya di negara berkembang atau fasilitas dengan sumber daya elektrofisiologi yang terbatas.

Dalam konteks tersebut, penggunaan *stylet-driven lead* muncul sebagai alternatif yang lebih terjangkau dan mudah diakses, dengan riwayat penggunaan luas dalam praktik klinis (Marinaccio et al., 2019). Pendekatan ini berpotensi memperluas akses terhadap manfaat fisiologis LBBP tanpa

memerlukan perangkat khusus yang sulit diperoleh. Namun, data *follow-up* jangka pendek mengenai efektivitas LBBP menggunakan *stylet-driven lead* (SDL), khususnya terhadap fungsi sistolik ventrikel kiri, masih terbatas (Yu et al., 2023).

Oleh karena itu, tesis ini bertujuan untuk meneliti efek jangka pendek LBBP menggunakan *stylet-driven lead* terhadap fungsi sistolik ventrikel kiri, terutama pada populasi Asia seperti Indonesia. Penelitian ini akan meninjau mekanisme dasar, mengevaluasi manfaat dan tantangan klinis, serta menyajikan data yang diharapkan dapat memperkaya bukti ilmiah dan membantu mengarahkan praktik terbaik dalam pemacuan jantung modern.

1.2. Rumusan Masalah

“Bagaimana efek jangka pendek pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL terhadap parameter ekokardiografi fungsi sistolik ventrikel kiri?”

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menilai efek jangka pendek pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL terhadap parameter ekokardiografi fungsi sistolik ventrikel kiri.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menilai perubahan parameter ejeksi fraksi (EF) menggunakan metode *Teicholz* (TEICH) dan *BIPLANE* 1 minggu dan 6 bulan setelah pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.
2. Menilai perubahan parameter dimensi ventrikel kiri yaitu diameter akhir diastolik (*Left Ventricular End-Diastolic Diameter/ LVEDd*) dan diameter akhir sistolik (*Left Ventricular End-Systolic Diameter/ LVESd*) 1 minggu dan 6 bulan setelah pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.
3. Menilai perubahan parameter *Fractional Shortening* (FS) 1 minggu dan 6 bulan setelah pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.
4. Menilai perubahan parameter volume ventrikel kiri yaitu volume akhir diastolik (*Left Ventricular End-Diastolic Volume/ LVEDV*) dan volume akhir sistolik (*Left Ventricular End-Systolic Volume/ LVESV*) 1 minggu dan 6 bulan setelah pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.

1.4. Hipotesis Penelitian

H0 = Tidak terdapat perbaikan fungsi sistolik ventrikel kiri pada pasien yang dilakukan pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.

H1 = Terdapat perbaikan fungsi sistolik ventrikel kiri pada pasien yang dilakukan pemasangan alat pacu jantung permanen yang menggunakan LBBP dengan SDL.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Ilmiah

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan terkait pemasangan alat pacu jantung permanen, khususnya LBBP dengan SDL, dan juga mengetahui efek jangka pendek pemasangan alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

1.5.2 Manfaat Praktis/Klinis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk bahan pertimbangan dalam menggunakan alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL.

1.5.2 Manfaat Bagi Institusi

RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar dan Universitas Hasanuddin Makassar dapat menambah informasi terkait dampak jangka pendek pemasangan alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan rancangan penelitian analitik observasional dengan menggunakan desain kohort prospektif untuk menilai parameter ekokardiografi fungsi sistolik ventrikel kiri pada pasien yang menjalani tindakan pemasangan alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL.

2.2. Populasi Studi

Populasi penelitian ini adalah semua pasien yang menjalani tindakan implantasi alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar. Rentang waktu pengambilan sampel berlangsung sejak Januari 2024 hingga Juni 2025.

2.3. Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini adalah pasien yang menjalani tindakan implantasi alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Teknik pengambilan sampel menggunakan teknik *consecutive sampling* hingga mencukupi jumlah sampel minimal.

2.4. Besar Sampel

Rumus besar sampel yang digunakan untuk desain penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$n = \left(\frac{Z\alpha\sqrt{2PQ} + Z\beta\sqrt{P_1Q_1 + P_2Q_2}}{P_1 - P_2} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{1.96\sqrt{2 \times 0.41 \times 0.59} + 0.84\sqrt{0.30 \times 0.70 + 0.53 \times 0.47}}{0.32} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{1.35 + 0.56}{0.32} \right)^2$$

$$n = 35.62$$

Keterangan:

$Z\alpha$ = deviat baku alfa = 5% = 1.96

$Z\beta$ = deviat baku beta = 20% = 0.84

P_2 = proporsi pada kelompok yang sudah diketahui nilainya (0.21)

Q_2 = 1- P_2 (0.79)

P_1 = proporsi pada kelompok yang dinilai merupakan *judgement* peneliti (0.53)

Q_1 = 1- P_1 = (0.47)

$P_1 - P_2$ = selisih proporsi minimal yang dianggap bermakna (0.32)

P = proporsi total = ($P_1 + P_2$)/2 = 0.37

Q = 1- P = 0.63

Berdasarkan perhitungan rumus besar sampel diatas, besar sampel minimal yang diperlukan untuk penelitian ini adalah 35.62 orang (dibulatkan menjadi 36 orang).

2.5. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

2.5.1 Kriteria Inklusi

1. Pasien yang menjalani tindakan implantasi alat pacu jantung permanen menggunakan LBBP dengan SDL.
2. Pasien dengan indikasi medis yang sesuai untuk pemasangan alat pacu jantung permanen yaitu *sinus node dysfunction* (SND) dan blok atrioventrikular.
3. Pasien yang bersedia mengikuti penelitian dan telah menandatangani *informed consent*.

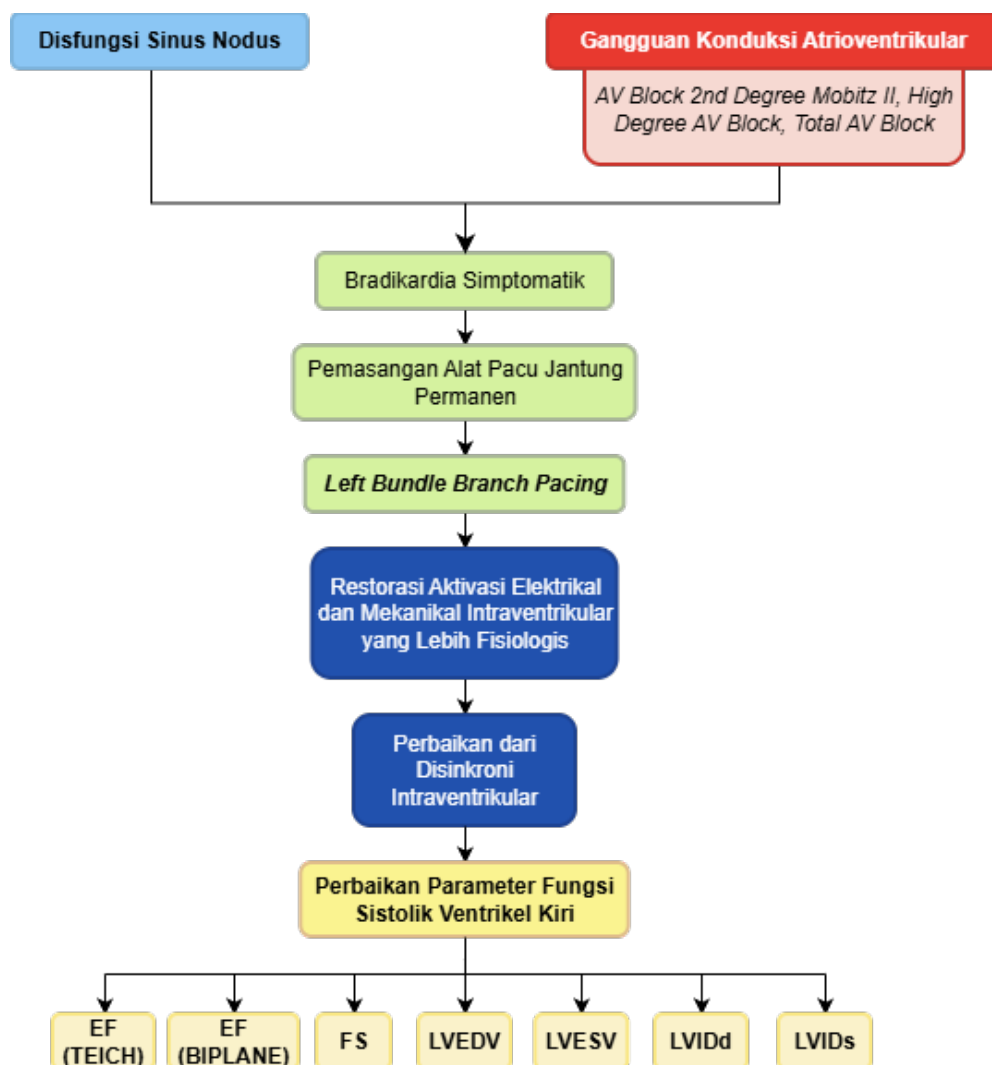
2.5.2 Kriteria Eksklusi

1. Pasien yang menolak menjadi sampel penelitian dan tidak bersedia menandatangani *informed consent*.
2. Pasien dengan kondisi medis yang dapat mempengaruhi pengukuran hasil fungsi sistolik ventrikel kiri seperti kondisi *supraventricular tachycardia* atau hipovolemia.

2.6. Pengumpulan Data

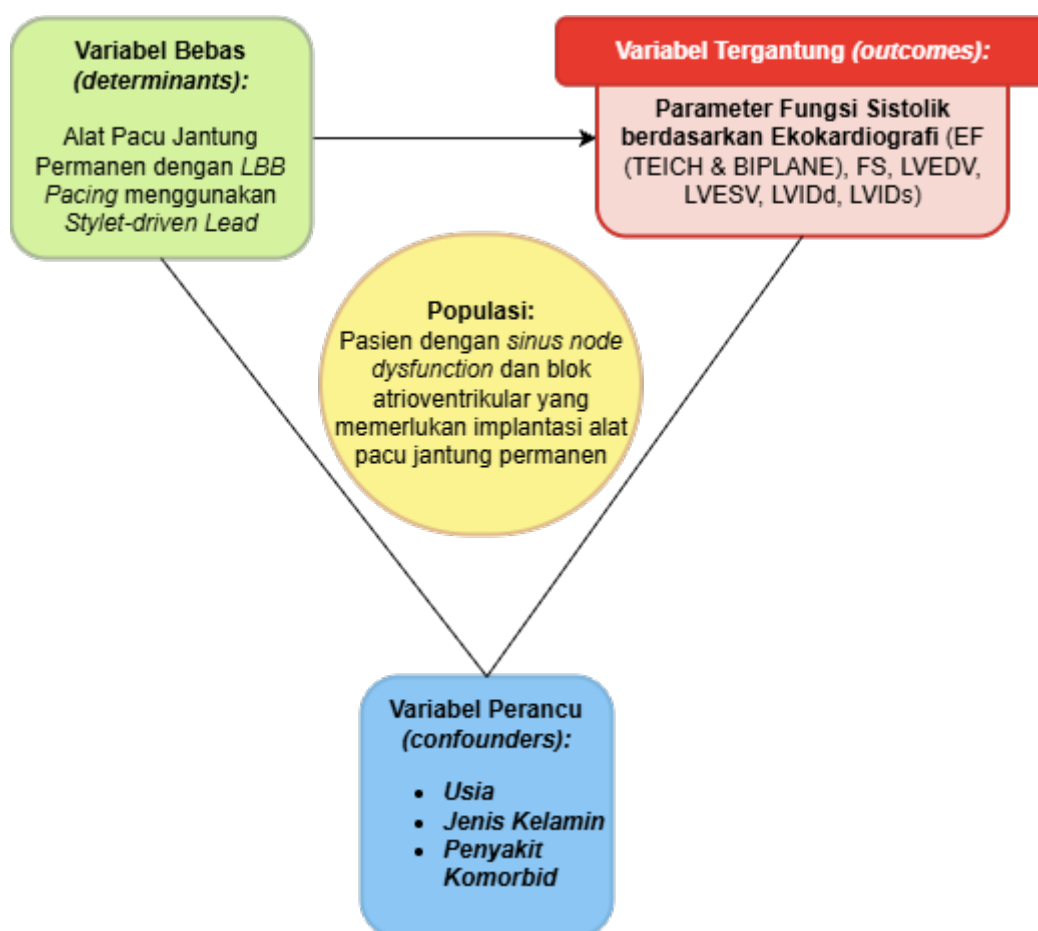
Kami mengambil data berupa nama, usia, jenis kelamin, riwayat komorbid, diagnosa utama, diagnosa penyerta, dan data ekokardiografi setelah 1 minggu implantasi alat pacu permanen melalui rekam medis pasien di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar. Setelah pasien pulang, kami memantau kondisi pasien 6 bulan setelahnya dengan menghubungi pasien atau keluarganya. Bila pasien melakukan kontrol 6 bulan setelah pemasangan alat pacu jantung permanen dilakukan pemeriksaan ekokardiografi.

2.7. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori

2.8. Kerangka Konsep



Gambar 2. Kerangka Konsep

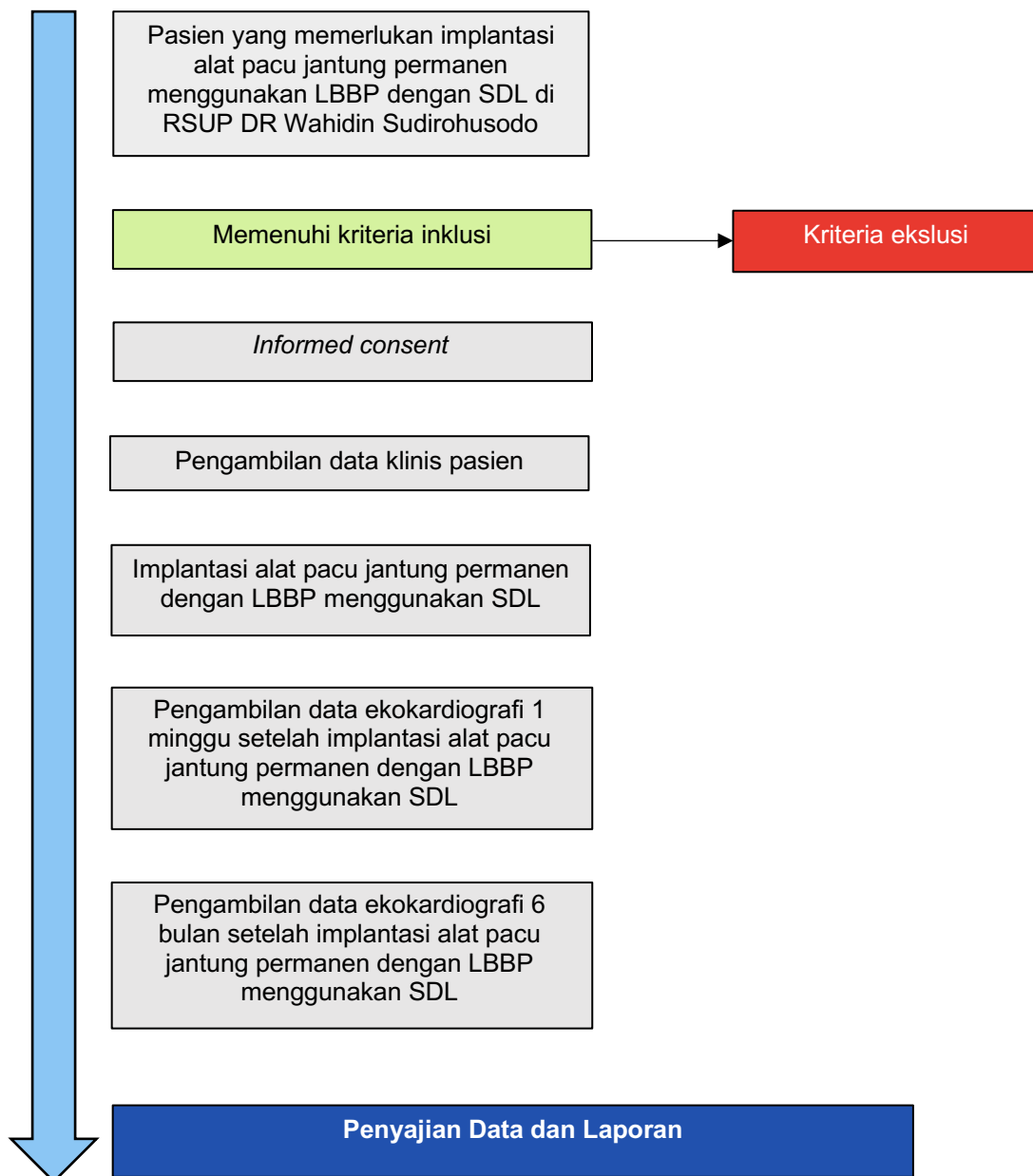
2.9. Analisa Statistik

1. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS® (*Statistical Package for Social Science*) versi 26 (IBM, USA).
2. Hasil pengolahan dan analisa data dasar variabel numerik akan disajikan dalam bentuk pengukuran *mean ± standar deviation* apabila memenuhi syarat distribusi normal, atau menggunakan *median (range)* bila distribusi data tidak normal.
3. Untuk menilai perbedaan nilai EF, FS, LVEDV, LVESV, LVIDd dan LVIDs 1 minggu setelah pemasangan dan bulan ke-6 setelah pemasangan alat pacu digunakan uji T berpasangan apabila distribusi normal atau uji *Wilcoxon* apabila distribusi tidak normal.
4. Untuk menilai perbedaan nilai EF, FS, LVEDV, LVESV, LVIDd dan LVIDs 1 minggu setelah pemasangan dan bulan ke-6 setelah pemasangan alat pacu pada populasi khusus berdasarkan faktor risiko digunakan uji T tidak berpasangan apabila distribusi normal atau uji *Mann-Whitney U* apabila distribusi tidak normal.

2.10. Izin Etik Penelitian

Izin etik penelitian ini telah diselesaikan dan disetujui oleh Komite Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, sesuai dengan yang tertuang dalam surat No. 886/UN 4.6.4.5.31/PP36/2025. Penelitian ini tunduk pada regulasi sesuai pada Deklarasi helsinki dan regulasi lokal.

2.11. Alur Penelitian



Gambar 3. Alur Penelitian

2.12. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

2.12.1 Definisi Operasional

1. Alat pacu jantung permanen adalah perangkat elektronik yang merangsang jantung dengan impuls listrik untuk mempertahankan atau memulihkan detak jantung normal.
2. *Left bundle branch pacing* adalah salah satu metode *pacing* fisiologis dengan penangkapan langsung LBB atau fasikulanya, bersama dengan miokardium septum ventrikel kiri, untuk mencapai aktivasi fisiologis ventrikel kiri yang cepat pada *output* rendah.
3. *Stylet-driven lead* merupakan *lead* yang digunakan untuk pemasangan alat pacu jantung permanen dengan menyisipkan kawat pandu kedalam lumen sehingga *lead* menjadi lebih kaku.
4. *Sinus node dysfunction* adalah kondisi di mana nodus sinoatrial (SA) gagal menghasilkan impuls listrik yang memadai untuk menjaga ritme jantung yang normal.

5. Blok atrioventrikuler adalah kondisi dimana terdapat keterlambatan atau blokade dalam penghantaran impuls listrik dari atrium ke ventrikel melalui nodus atrioventrikular (*AV Node*).
6. Jenis kelamin adalah identitas diri sampel penelitian sesuai dengan biologis dan fisiknya, dibedakan atas laki-laki dan perempuan.
7. Usia adalah umur sampel penelitian dihitung sejak tanggal lahir tercantum pada kartu identitas atau rekam medis sampai dengan waktu penelitian dan dinyatakan dalam tahun.
8. Hipertensi adalah tekanan darah sistolik ≥ 140 mmHg dan/atau tekanan darah diastolik ≥ 90 mmHg pada rata-rata dua kali pengukuran atau lebih dalam dua kali kunjungan yang berbeda.
9. Diabetes mellitus adalah suatu kelompok gangguan metabolik yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah (hiperglikemia), akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, ataupun keduanya. Diabetes mellitus dapat ditegakkan bila terdapat salah satu dari : (1) glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dl dengan gejala klasik hiperglikemia, (2) glukosa darah puasa ≥ 126 mg/dl, (3) tes toleransi glukosa oral (TTGO) ≥ 200 mg/dl, (4) HbA1c $\geq 6,5\%$.
10. Dislipidemia adalah kelainan metabolisme lipoprotein, termasuk produksi berlebihan atau defisiensi lipoprotein, yang ditandai dengan peningkatan kolesterol total, kolesterol *low density lipoprotein* (LDL), trigliserida, atau penurunan *high density lipoprotein* (HDL).
11. Perokok adalah individu yang telah mengonsumsi sedikitnya 100 batang rokok sepanjang hidupnya dan saat ini masih merokok setiap hari atau beberapa hari.
12. *Ejection Fraction (EF) – Metode Teichholz (EF Teich)* adalah parameter ekokardiografi yang menggambarkan persentase fraksi ejeksi ventrikel kiri yang dihitung secara tidak langsung dari dimensi linear ventrikel kiri (LVIDd dan LVIDs) yang diukur dengan M-mode atau 2D-guided M-mode pada parasternal long-axis view, menggunakan rumus Teichholz.
13. *Ejection Fraction (EF) – Metode Biplane Simpson (EF Biplane)* adalah parameter ekokardiografi yang menggambarkan persentase fraksi ejeksi ventrikel kiri yang dihitung berdasarkan metode *Simpson biplane* dari potongan *apical 4-chamber* dan *apical 2-chamber*, dengan menjumlahkan irisan volume ventrikel kiri pada akhir diastol dan akhir sistol.
14. *Fractional Shortening (FS)* adalah parameter ekokardiografi yang menggambarkan persentase pemendekan diameter internal ventrikel kiri dari akhir diastol ke akhir sistol, yang mencerminkan fungsi kontraksi sistolik global ventrikel kiri.
15. *Left Ventricular End-Diastolic Volume (LVEDV)* adalah parameter ekokardiografi yang menggambarkan volume ventrikel kiri pada akhir fase diastol, yang diukur menggunakan metode *Simpson biplane* dari potongan *apical 4-chamber* dan *2-chamber*.
16. *Left Ventricular End-Systolic Volume (LVESV)* adalah parameter ekokardiografi yang menggambarkan volume ventrikel kiri pada akhir fase sistol, yang diukur menggunakan metode *Simpson biplane* dari potongan *apical 4-chamber* dan *2-chamber*.
17. *Left Ventricular Internal Diameter in Diastole (LVIDd)* adalah parameter ekokardiografi berbasis doppler yang menggambarkan diameter internal ventrikel kiri yang diukur pada akhir diastol, pada potongan parasternal long-axis menggunakan M-mode.
18. *Left Ventricular Internal Diameter in Systole (LVIDs)* adalah parameter ekokardiografi berbasis doppler yang menggambarkan diameter internal ventrikel kiri yang diukur pada akhir sistol, pada potongan parasternal long-axis menggunakan M-mode.

2.12.2 Kriteria Objektif

1. *EF (Teichholz)*:

- Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan M-mode atau 2D-guided M-mode pada potongan parasternal long-axis, dengan pengukuran LVIDd dan LVIDs, kemudian dihitung menggunakan rumus Teichholz
- Hasil ukur : nilai *ejection fraction* ventrikel kiri (%) metode Teicholz
- Skala variabel : numerik

2. *EF (Biplane Simpson):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan 2D pada potongan *apical 4 chamber* dan *apical 2 chamber*, dilakukan tracing endokard ventrikel kiri pada akhir diastol dan akhir sistol, kemudian dihitung menggunakan metode *Simpson biplane*
 - Hasil ukur : nilai ejection fraction ventrikel kiri (%) metode biplane Simpson
 - Skala variabel : numerik
3. *Fractional Shortening (FS):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan M-mode atau 2D-guided M-mode pada potongan parasternal *long-axis* dengan pengukuran LVIDd dan LVIDs
 - Hasil ukur : nilai fractional shortening ventrikel kiri (%)
 - Skala variabel : numerik
4. *Left Ventricular End-Diastolic Volume (LVEDV):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan 2D pada potongan *apical 4 chamber* dan *apical 2 chamber*, dilakukan tracing endokard ventrikel kiri pada akhir diastol, kemudian dihitung menggunakan metode *Simpson biplane*
 - Hasil ukur : nilai *left ventricular end-diastolic volume* (mL)
 - Skala variabel : numerik
5. *Left Ventricular End-Systolic Volume (LVESV):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan 2D pada potongan *apical 4 chamber* dan *apical 2 chamber*, dilakukan tracing endokard ventrikel kiri pada akhir sistol, kemudian dihitung menggunakan metode *Simpson biplane*
 - Hasil ukur : nilai *left ventricular end-systolic volume* (mL)
 - Skala variabel : numerik
6. *Left Ventricular Internal Diameter in Diastole (LVIDd):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan M-mode pada potongan parasternal *long-axis*, diukur pada akhir diastol dari endokard septum interventrikular ke endokard dinding posterior ventrikel kiri
 - Hasil ukur : nilai *left ventricular internal diameter in diastole* (mm atau cm)
 - Skala variabel : numerik
7. *Left Ventricular Internal Diameter in Systole (LVIDs):*
 - Alat ukur : pengukuran ekokardiografi menggunakan M-mode pada potongan parasternal *long-axis*, diukur pada akhir sistol dari endokard septum interventrikular ke endokard dinding posterior ventrikel kiri
 - Hasil ukur : nilai *left ventricular internal diameter in systole* (mm atau cm)
 - Skala variabel : numerik