

Bab 2: Cara Kerja Jantung: Listrik, Pompa, dan Irama

Sebelum memahami pacu jantung, fibrilasi atrium, ablasi, trombus, atau kardiomiopati, kita perlu kembali ke dasar: apa sebenarnya yang sedang dilakukan jantung setiap detik?

Jantung sering disebut “pompa”. Itu benar, tetapi belum lengkap. Jantung adalah pompa hidup yang digerakkan oleh listrik biologis, disusun dari otot khusus, bekerja dalam irama tertentu, dan terus menyesuaikan diri dengan kebutuhan tubuh. Saat kita tidur, berjalan, cemas, demam, naik tangga, atau pulih dari operasi, jantung tidak bekerja dengan pola yang sama persis. Ia harus berubah, tetapi tetap teratur.

Di sinilah banyak pengalaman pasien jantung menjadi masuk akal. Seseorang bisa berkata, “Denyut saya hanya berubah sedikit, tetapi badan terasa sangat lelah.” Atau, “Saya memakai pacu jantung, tetapi mengapa masih bisa fibrilasi atrium?” Atau, “Mengapa dokter begitu memperhatikan irama, bukan hanya angka denyut?” Jawabannya ada pada hubungan tiga hal: listrik, pompa, dan irama.

Bab ini akan membangun pemahaman itu dari awal.

Jantung sebagai rumah empat ruang

Bayangkan jantung sebagai rumah kecil dengan empat ruang utama. Dua ruang di atas disebut atrium, dan dua ruang di bawah disebut ventrikel.

- Atrium kanan menerima darah yang kembali dari tubuh.
- Ventrikel kanan memompa darah ke paru-paru.
- Atrium kiri menerima darah yang sudah mendapat oksigen dari paru-paru.
- Ventrikel kiri memompa darah kaya oksigen ke seluruh tubuh.

Pembagian empat ruang ini adalah dasar anatomi jantung manusia. Aliran darah normal berjalan satu arah: tubuh → sisi kanan jantung → paru-paru → sisi kiri jantung → tubuh kembali. Struktur empat ruang dan arah aliran ini dijelaskan dalam buku fisiologi kedokteran standar seperti Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology dan Pathophysiology of Heart Disease (Hall, 2021; Lilly, 2022).

Agar aliran darah tidak bolak-balik sembarangan, jantung memiliki katup. Katup adalah “pintu satu arah”. Ia terbuka ketika darah harus lewat, lalu menutup agar darah tidak kembali ke ruang sebelumnya.

Contohnya begini. Ketika ventrikel kiri memompa darah ke pembuluh besar bernama aorta, darah seharusnya maju ke seluruh tubuh. Jika pintu keluar sudah tertutup pada saat yang tepat, darah tidak kembali ke ventrikel kiri. Bila katup bocor atau menyempit, pompa jantung bisa bekerja lebih berat. Dalam bab ini kita tidak membahas penyakit katup secara mendalam, tetapi konsep “pintu satu arah” penting karena jantung bukan hanya memompa; jantung juga mengatur arah.

Dua perjalanan darah: ke paru-paru dan ke seluruh tubuh

Jantung kanan dan jantung kiri memiliki tugas berbeda.

Jantung kanan mengirim darah ke paru-paru. Di paru-paru, darah melepaskan karbon dioksida dan mengambil oksigen. Perjalanan ini disebut sirkulasi pulmonal. Kata pulmonal berarti berhubungan dengan paru-paru.

Jantung kiri mengirim darah ke seluruh tubuh: otak, ginjal, hati, otot, kulit, dan organ lain. Perjalanan ini disebut sirkulasi sistemik. Kata sistemik berarti berhubungan dengan seluruh sistem tubuh.

Contoh sederhana: ketika Anda berjalan ke kamar mandi, otot kaki membutuhkan lebih banyak oksigen. Ventrikel kiri harus mengirim darah lebih banyak atau lebih cepat. Tetapi darah itu sebelumnya harus melewati paru-paru untuk mengambil oksigen. Jadi sisi kanan dan sisi kiri jantung harus bekerja sebagai satu tim.

Jika salah satu sisi terganggu, tubuh bisa merasakannya. Gangguan sisi kiri dapat membuat darah tidak cukup efektif dikirim ke tubuh, sehingga muncul lelah, pusing, atau penurunan stamina. Gangguan sisi kanan atau gangguan aliran ke paru dapat berhubungan dengan sesak atau penumpukan cairan. Dalam praktik klinis, gejala selalu perlu dinilai bersama pemeriksaan dokter, karena keluhan yang mirip bisa memiliki banyak penyebab.

Sistol dan diastol: memompa dan mengisi

Setiap denyut jantung memiliki dua fase besar.

Fase pertama disebut diastol. Pada fase ini, ruang jantung terutama ventrikel sedang mengendur dan terisi darah.

Fase kedua disebut sistol. Pada fase ini, ventrikel berkontraksi dan memompa darah keluar.

Urutannya penting: jantung harus mengisi sebelum bisa memompa. Jika waktu pengisian terlalu pendek, volume darah yang masuk ke ventrikel bisa berkurang. Akibatnya, meskipun jantung berdenyut cepat, darah yang dikirim setiap denyut mungkin tidak optimal.

Contoh: bayangkan Anda mengisi ember dari keran, lalu menuangkannya ke tanaman. Jika Anda terlalu cepat mengangkat ember sebelum terisi cukup, Anda memang sering bolak-balik, tetapi tiap kali membawa air hanya sedikit. Pada jantung, denyut yang terlalu cepat dapat mengurangi waktu pengisian, terutama pada orang dengan fungsi jantung tertentu atau gangguan irama tertentu. Hubungan antara frekuensi denyut, pengisian ventrikel, dan kemampuan pompa merupakan prinsip dasar fisiologi jantung (Hall, 2021; Lilly, 2022).

Ini membantu menjelaskan mengapa angka denyut saja tidak selalu cukup. Denyut 120 per menit pada satu orang mungkin hanya terasa sebagai berdebar ringan, tetapi pada orang lain bisa menimbulkan sesak, lelah, atau pusing, tergantung fungsi pompa, tekanan darah, obat, irama, usia, dan penyakit lain.

Darah yang keluar setiap menit: cardiac output

Dalam fisiologi jantung, ada istilah penting: cardiac output. Dalam bahasa Indonesia sering diterjemahkan sebagai curah jantung.

Curah jantung adalah jumlah darah yang dipompa oleh jantung dalam satu menit. Secara sederhana, curah jantung bergantung pada dua hal:

Curah jantung = denyut jantung per menit \times volume darah per denyut

Volume darah per denyut disebut stroke volume. Ini bukan “stroke” dalam arti serangan stroke otak, melainkan istilah fisiologi untuk jumlah darah yang dikeluarkan ventrikel dalam satu denyut.

Contoh angka sederhana: jika jantung berdenyut 70 kali per menit dan setiap denyut mengeluarkan 70 mL darah, maka curah jantung kira-kira:

$70 \times 70 \text{ mL} = 4.900 \text{ mL}$ per menit, atau sekitar 4,9 liter per menit.

Angka ini hanya contoh untuk memahami konsep, bukan target pribadi. Dalam tubuh nyata, curah jantung berubah sesuai kebutuhan. Saat istirahat, kebutuhan berbeda dengan saat olahraga. Saat demam, cemas, anemia, dehidrasi, atau gagal jantung, kebutuhan dan kemampuan tubuh juga bisa berubah. Rumus dasar curah jantung ini adalah konsep fisiologi kardiovaskular yang luas digunakan dalam pendidikan kedokteran (Hall, 2021; Lilly, 2022).

Mengapa konsep ini penting bagi pasien pacu jantung atau fibrilasi atrium?

Karena keluhan sering muncul ketika tubuh merasa aliran darah efektif tidak sesuai kebutuhan. Kadang masalahnya denyut terlalu lambat. Kadang denyut terlalu cepat. Kadang denyut tidak teratur. Kadang otot jantungnya melemah. Kadang kombinasi beberapa hal.

Pacu jantung terutama membantu sisi listrik dan frekuensi denyut pada kondisi tertentu. Ia tidak otomatis memperbaiki semua masalah pompa, katup, pembuluh darah, paru, atau darah. Ini sebabnya seseorang bisa memakai pacu jantung tetapi tetap perlu evaluasi untuk fibrilasi atrium, fungsi jantung, trombus, atau kardiomiopati.

Listrik jantung: sinyal kecil yang mengatur gerakan besar

Otot jantung tidak menunggu perintah sadar dari otak untuk setiap denyut. Kita tidak perlu berpikir, “Sekarang denyut.” Jantung memiliki sistem listrik sendiri.

Istilah “listrik” di sini bukan berarti ada kabel logam seperti di rumah. Listrik biologis terjadi karena perpindahan ion—partikel bermuatan seperti natrium, kalium, kalsium, dan klorida—melintasi membran sel. Perubahan muatan listrik pada sel jantung memicu kontraksi otot. Buku fisiologi menjelaskan bahwa aktivitas listrik dan kontraksi mekanik jantung saling terkait melalui proses yang disebut excitation-contraction coupling, yaitu hubungan antara rangsangan listrik dan kontraksi otot (Hall, 2021).

Untuk pasien, yang paling penting bukan menghafal ion, tetapi memahami prinsipnya:

Sebelum jantung memompa dengan terkoordinasi, harus ada sinyal listrik yang terkoordinasi.

Jika sinyal listriknya rapi, ruang jantung berkontraksi dalam urutan yang efisien. Jika sinyal listriknya kacau, terlalu lambat, terlalu cepat, atau terputus, pompa bisa terganggu.

Contoh: sebuah orkestra bisa memiliki pemain yang hebat, tetapi jika konduktornya kacau, musiknya menjadi tidak teratur. Pada jantung, otot adalah pemain, sistem listrik adalah pengatur irama. Pacu jantung, dalam keadaan tertentu, berperan seperti alat bantu pengatur sinyal ketika sistem alami terlalu lambat atau tidak tersambung dengan baik.

Nodus sinus: pacu jantung alami

Di atrium kanan terdapat kelompok sel khusus bernama nodus sinus atau sinoatrial node. Ini sering disebut pacu jantung alami karena biasanya menjadi sumber awal denyut jantung normal.

Pada keadaan normal, nodus sinus menghasilkan sinyal listrik secara teratur. Sinyal ini menyebar ke atrium kanan dan kiri, membuat atrium berkontraksi. Setelah itu sinyal menuju pusat penghubung berikutnya.

Irama yang berasal dari nodus sinus disebut irama sinus. Pada banyak orang dewasa, denyut jantung istirahat dalam irama sinus sering berada sekitar 60–100 kali per menit, meskipun angka normal dalam keadaan tertentu dapat berbeda, misalnya pada atlet, saat tidur, saat demam, atau karena obat tertentu (Lilly, 2022).

Contoh: saat Anda tidur, aktivitas tubuh menurun. Denyut dapat turun. Saat Anda berjalan cepat atau cemas, sistem saraf dan hormon dapat membuat nodus sinus lebih cepat. Jadi nodus sinus bukan metronom kaku; ia menyesuaikan diri.

Tetapi pada sebagian orang, nodus sinus terlalu lambat, sering berhenti sejenak, atau tidak mampu menaikkan denyut sesuai kebutuhan. Kondisi seperti ini termasuk dalam kelompok gangguan pembentukan impuls listrik. Pada kasus tertentu, dokter dapat mempertimbangkan pacu jantung bila kelambatan denyut terbukti berkaitan dengan gejala atau risiko tertentu; pedoman bradikardia menekankan bahwa keputusan pemasangan pacu jantung bergantung pada hubungan antara gangguan irama, gejala, dan konteks klinis pasien (Kusumoto et al., 2019).

Nodus AV: gerbang antara atrium dan ventrikel

Setelah sinyal listrik menyebar di atrium, sinyal menuju nodus AV. AV adalah singkatan dari atrioventricular, artinya berhubungan dengan atrium dan ventrikel.

Nodus AV dapat dibayangkan sebagai gerbang atau pos pemeriksaan. Ia menunda sinyal sebentar sebelum meneruskannya ke ventrikel. Penundaan kecil ini penting karena memberi waktu bagi atrium untuk membantu mengisi ventrikel sebelum ventrikel memompa.

Contoh: jika atrium adalah ruang tunggu dan ventrikel adalah ruang pompa utama, maka nodus AV memastikan prosesnya tidak terlalu terburu-buru. Atrium mengirim darah tambahan ke ventrikel, lalu ventrikel memompa.

Setelah melewati nodus AV, sinyal bergerak melalui jaringan khusus bernama berkas His, lalu bercabang menjadi cabang kanan dan kiri, dan menyebar melalui serabut Purkinje. Sistem ini membantu ventrikel kanan dan kiri berkontraksi dengan cepat dan terkoordinasi. Urutan sistem konduksi—nodus sinus, nodus AV, berkas His, cabang berkas, dan serabut Purkinje—merupakan dasar fisiologi listrik jantung (Hall, 2021; Lilly, 2022).

Jika jalur ini terganggu, sinyal dari atrium ke ventrikel bisa terlambat atau terputus. Ini disebut blok konduksi. Pada beberapa jenis blok, ventrikel menjadi terlalu lambat karena tidak menerima sinyal yang cukup. Dalam kondisi tertentu, pacu jantung dapat dipasang untuk menjaga agar ventrikel tetap mendapat sinyal listrik yang memadai (Kusumoto et al., 2019).

Irama bukan hanya kecepatan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering memperhatikan angka denyut: 60, 80, 110, 140. Angka ini penting, tetapi belum cukup. Ada dua hal berbeda:

1. Frekuensi denyut: berapa kali jantung berdenyut per menit.
2. Irama: apakah jarak antar denyut teratur dan apakah urutan listriknya normal.

Contoh pertama: denyut 80 per menit dan teratur. Ini bisa sesuai dengan irama sinus normal.

Contoh kedua: denyut rata-rata 80 per menit tetapi jarak antar denyut tidak beraturan—kadang cepat, kadang jeda, kadang cepat lagi. Rata-ratanya mungkin sama, tetapi pengalaman tubuh bisa berbeda. Sebagian orang merasa berdebar, tidak nyaman di dada, lelah, atau cemas karena ketidakteraturan itu.

Fibrilasi atrium adalah contoh penting. Pada fibrilasi atrium, aktivitas listrik di atrium menjadi tidak teratur dan sangat kacau. Atrium tidak berkontraksi secara efektif seperti pada irama sinus. Sinyal yang sampai ke ventrikel melalui nodus AV menjadi tidak beraturan, sehingga denyut nadi sering terasa “acak” atau “tidak rata”. Pedoman modern fibrilasi atrium menjelaskan bahwa AF ditandai oleh aktivasi atrium yang tidak terkoordinasi dan kontraksi atrium yang tidak efektif secara mekanik (Joglar et al., 2024).

Inilah sebabnya orang dengan pacu jantung masih bisa mengalami AF. Pacu jantung dapat membantu ketika denyut terlalu lambat atau sinyal tidak tersalurkan dengan baik, tetapi ia tidak selalu mencegah atrium menghasilkan aktivitas listrik kacau. Pada sebagian alat, pacu jantung dapat merekam episode irama cepat atrium atau melakukan mode tertentu untuk meresponsnya, tetapi keberadaan alat bukan berarti semua aritmia hilang.

Atrium membantu, ventrikel menentukan banyak hal

Dalam percakapan pasien, atrium kadang dianggap kurang penting karena ventrikel adalah pompa utama. Itu kurang tepat. Memang ventrikel, terutama ventrikel kiri, memompa darah ke seluruh tubuh. Tetapi atrium membantu pengisian ventrikel, terutama pada kondisi tertentu.

Kontraksi atrium menjelang akhir diastol sering disebut atrial kick. Artinya, atrium memberi dorongan tambahan agar ventrikel terisi lebih baik sebelum memompa. Pada orang muda dengan jantung sehat, hilangnya kontribusi ini mungkin tidak selalu terasa berat. Tetapi pada orang dengan kekakuan ventrikel, gangguan fungsi jantung, penyakit katup, usia lanjut, atau kardiomiopati, hilangnya atrial kick dapat lebih terasa.

Contoh: bayangkan mengisi koper. Jika koper masih longgar, tanpa dorongan tambahan pun barang bisa masuk. Tetapi jika koper kaku atau hampir penuh, dorongan terakhir menjadi lebih penting. Pada jantung, ventrikel yang lebih kaku atau lemah dapat lebih bergantung pada pengisian yang terkoordinasi.

Pada AF, atrium tidak berkontraksi efektif. Akibatnya, kontribusi atrium terhadap pengisian ventrikel berkurang, dan denyut ventrikel dapat menjadi tidak teratur. Pedoman AF menjelaskan bahwa AF berhubungan dengan gejala seperti palpitasi, kelelahan, penurunan kapasitas aktivitas, sesak, dan peningkatan risiko stroke pada sebagian pasien, sehingga evaluasi risiko dan terapi harus disesuaikan secara individual (Joglar et al., 2024).

Mengapa denyut terlalu lambat bisa bermasalah

Denyut terlalu lambat disebut bradikardia. Secara harfiah, brady berarti lambat dan cardia berarti jantung. Namun dalam kedokteran, angka saja tidak selalu menentukan bahaya. Ada orang yang denyutnya rendah karena sangat terlatih secara fisik dan tidak bergejala. Ada pula orang yang denyutnya tidak terlalu rendah tetapi mengalami pusing, hampir pingsan, atau lemah karena jantung tidak cukup memenuhi kebutuhan tubuh.

Masalah utama bradikardia adalah curah jantung bisa turun jika denyut terlalu sedikit untuk mempertahankan aliran darah yang cukup. Ingat rumus tadi:

Curah jantung = denyut per menit × volume per denyut

Jika denyut turun jauh dan tubuh tidak bisa mengimbangnya dengan meningkatkan volume per denyut, aliran darah ke otak dan organ lain bisa berkurang. Gejalanya dapat berupa pusing, lemas, mudah lelah, sesak, kebingungan, atau pingsan. Pedoman bradikardia menekankan pentingnya menghubungkan gejala dengan gangguan denyut sebelum menentukan terapi seperti pacu jantung (Kusumoto et al., 2019).

Contoh: jika lampu rumah redup karena pasokan listrik kurang, peralatan masih mungkin menyala tetapi tidak optimal. Pada tubuh, otak sangat sensitif terhadap penurunan aliran darah. Karena itu, kelambatan denyut tertentu bisa terasa sebagai hampir pingsan atau pingsan.

Pacu jantung sering dipasang untuk mencegah denyut turun di bawah batas tertentu pada pasien yang memenuhi indikasi. Tetapi batas dan pengaturan alat bersifat personal. Itulah mengapa laporan kontrol pacu jantung berisi angka seperti batas bawah denyut, persentase pacing, sensing, threshold, dan episode aritmia—semuanya akan dibahas pada bab khusus.

Mengapa denyut terlalu cepat juga bisa bermasalah

Denyut terlalu cepat disebut takikardia. Secara harfiah, tachy berarti cepat. Sama seperti bradikardia, takikardia tidak hanya dinilai dari angka. Konteks sangat penting: sedang olahraga atau sedang duduk diam? Ada demam? Ada anemia? Ada AF? Tekanan darah bagaimana? Fungsi pompa jantung bagaimana?

Denyut cepat dapat menjadi masalah karena beberapa alasan.

Pertama, waktu pengisian ventrikel menjadi lebih pendek. Jika ventrikel belum sempat terisi cukup, darah yang dipompa per denyut dapat turun.

Kedua, otot jantung sendiri membutuhkan oksigen. Saat denyut terlalu cepat, kebutuhan oksigen jantung meningkat. Pada orang dengan penyakit pembuluh koroner atau cadangan jantung terbatas, ini bisa menimbulkan keluhan.

Ketiga, jika takikardia berlangsung lama, pada sebagian pasien dapat berkontribusi terhadap pelemahan fungsi jantung, suatu keadaan yang dikenal sebagai tachycardia-induced cardiomyopathy atau kardiomiopati akibat denyut cepat. Ini bukan berarti setiap denyut cepat pasti merusak jantung, tetapi denyut cepat yang menetap dan tidak terkontrol dapat menjadi faktor penting pada sebagian kasus (Lilly, 2022; Joglar et al., 2024).

Contoh: mesin mobil bisa sesekali berputar cepat saat menanjak. Tetapi jika mesin dipaksa berputar sangat tinggi terus-menerus tanpa henti, risiko kerusakan meningkat. Jantung tentu bukan mesin mobil, tetapi analogi ini membantu memahami mengapa durasi dan konteks takikardia penting.

Mengapa ketidakteraturan bisa terasa sangat mengganggu

Sebagian pasien lebih terganggu oleh “tidak teratur” daripada oleh “cepat”. Ini masuk akal.

Ketika denyut tidak teratur, setiap denyut tidak selalu menghasilkan volume darah yang sama. Denyut yang datang terlalu cepat setelah denyut sebelumnya mungkin terjadi saat ventrikel belum terisi penuh, sehingga dorongan darahnya lebih kecil. Denyut berikutnya setelah jeda lebih panjang mungkin terasa lebih kuat karena ventrikel sempat terisi lebih banyak. Akibatnya, nadi terasa tidak rata: lemah-kuat, cepat-jeda, cepat lagi.

Contoh pengalaman: seseorang meraba nadi dan merasa, “Denyutnya hilang satu.” Kadang yang terjadi bukan benar-benar berhenti, melainkan ada denyut sangat dini dengan volume kecil sehingga tidak terasa jelas di pergelangan tangan. Setelah itu muncul denyut lebih kuat. Fenomena seperti ini dapat terjadi pada denyut prematur, tetapi keluhan serupa juga bisa muncul pada aritmia lain. Karena itu, EKG atau rekaman alat diperlukan untuk membedakan jenis irama.

Pada AF, ketidakteraturan adalah ciri utama denyut ventrikel. Karena nodus AV menerima banyak sinyal kacau dari atrium dan hanya sebagian yang diteruskan, jarak antar denyut ventrikel menjadi tidak teratur. Ini dapat membuat pasien merasa berdebar, lelah, atau tidak stabil, meskipun angka rata-rata denyut tidak tampak ekstrem (Joglar et al., 2024).

EKG: bayangan listrik di permukaan tubuh

Untuk melihat aktivitas listrik jantung, dokter menggunakan EKG, singkatan dari elektrokardiogram. EKG merekam perubahan listrik jantung dari permukaan kulit melalui elektroda yang ditempelkan di dada, lengan, atau kaki.

EKG bukan foto jantung. Ia tidak menunjukkan bentuk ruang jantung seperti ekokardiografi. EKG adalah rekaman pola listrik. Dari pola itu, dokter dapat menilai irama, kecepatan, asal sinyal, gangguan konduksi, tanda beban ruang tertentu, dan petunjuk lain.

Dalam EKG normal, ada beberapa bagian penting:

- Gelombang P: biasanya menggambarkan aktivasi atrium.
- Kompleks QRS: menggambarkan aktivasi ventrikel.
- Gelombang T: menggambarkan pemulihan listrik ventrikel setelah aktivasi.

Contoh: pada irama sinus, gelombang P biasanya muncul sebelum setiap QRS dengan pola yang sesuai. Pada fibrilasi atrium, gelombang P sinus yang teratur tidak tampak seperti biasa, dan jarak antar QRS sering tidak teratur. Ini adalah salah satu alasan EKG sangat penting untuk memastikan jenis aritmia, bukan hanya mengandalkan rasa berdebar.

Pacu jantung juga dapat meninggalkan tanda pada EKG, misalnya spike pacing kecil sebelum aktivasi ruang yang dipacu. Namun interpretasi EKG pada pasien pacu jantung bisa lebih kompleks, sehingga dokter biasanya menggabungkan EKG dengan pemeriksaan alat pacu jantung.

Pacu jantung buatan: membantu sinyal, bukan mengganti seluruh jantung

Setelah memahami sistem listrik alami, kita bisa lebih tenang memahami pacu jantung.

Pacu jantung buatan adalah alat yang mengirim impuls listrik kecil ke jantung melalui kabel elektroda ketika diperlukan. Tujuannya bukan “menghidupkan jantung setiap saat” dalam arti dramatis, tetapi menjaga agar denyut tidak terlalu lambat atau membantu koordinasi tertentu sesuai indikasi.

Pada pacu jantung double chamber, biasanya ada satu kabel yang berhubungan dengan atrium kanan dan satu kabel dengan ventrikel kanan. Dengan dua ruang ini, alat dapat membantu menjaga hubungan waktu antara atrium dan ventrikel pada kondisi tertentu. Detailnya akan dibahas dalam Bab 4.

Namun prinsipnya sudah bisa dipahami sekarang: pacu jantung bekerja pada sisi timing listrik. Ia membantu memberi sinyal ketika sinyal alami kurang cepat, hilang, atau tidak tersalur sesuai kebutuhan. Pedoman klinis menjelaskan penggunaan pacu jantung terutama dalam konteks bradikardia simptomatik, gangguan konduksi tertentu, dan indikasi lain yang harus dinilai secara individual (Kusumoto et al., 2019).

Contoh: jika nodus sinus kadang berhenti terlalu lama, pacu jantung dapat memberikan sinyal cadangan. Jika sinyal dari atrium tidak sampai ke ventrikel karena blok tertentu, pacu jantung dapat membantu ventrikel tetap berdenyut. Tetapi jika atrium mengalami fibrilasi atrium, pacu jantung tidak otomatis membuat atrium kembali teratur. Untuk AF, dokter dapat mempertimbangkan obat, kardioversi, ablasi, kontrol frekuensi, kontrol irama, dan pencegahan stroke sesuai kondisi pasien (Joglar et al., 2024).

Hubungan listrik dan pompa: mengapa urutan penting

Jantung yang efektif bukan hanya jantung yang berdenyut. Ia harus berdenyut dengan urutan yang baik.

Urutan ideal secara sederhana adalah:

1. Nodus sinus memulai sinyal.
2. Atrium berkontraksi.
3. Nodus AV memberi jeda singkat.
4. Ventrikel berkontraksi.
5. Jantung mengendur dan mengisi lagi.

Jika urutan ini terganggu, efisiensi pompa bisa turun.

Contoh pertama: bila atrium dan ventrikel tidak sinkron, ventrikel mungkin berkontraksi saat pengisian belum optimal. Pasien bisa merasa berdebar, tekanan di leher, lelah, atau tidak nyaman, tergantung kondisi.

Contoh kedua: bila ventrikel kanan dan kiri tidak berkontraksi serempak pada pasien tertentu, pompa jantung bisa kurang efisien. Dalam kondisi khusus, dokter dapat mempertimbangkan terapi sinkronisasi jantung, tetapi itu topik lanjutan dan tidak sama dengan pacu jantung biasa.

Contoh ketiga: pada AF, atrium tidak memberi kontraksi terkoordinasi, dan denyut ventrikel dapat menjadi tidak teratur. Pada orang dengan cadangan jantung terbatas, perubahan ini bisa sangat terasa.

Di sini kita melihat mengapa dokter jantung sering memperhatikan detail: bukan hanya “berapa denyutnya”, tetapi “irama apa”, “asal sinyal dari mana”, “apakah atrium dan ventrikel sinkron”, “berapa banyak pacing”, “bagaimana fungsi ventrikel”, dan “apakah ada risiko bekuan darah”.

Mengapa gangguan kecil bisa terasa besar

Salah satu hal yang paling membingungkan bagi pasien adalah ketidaksesuaian antara “kelihatannya kecil” dan “rasanya besar”.

Seorang pasien mungkin mendengar, “Ada episode aritmia,” tetapi rasanya seperti seluruh tubuh runtuh. Atau sebaliknya, alat mencatat episode AF, tetapi pasien tidak merasakan apa-apa. Kedua kemungkinan ini nyata. Gejala aritmia sangat bervariasi antarindividu, dan AF dapat bersifat simptomatik maupun asimtomatik; pedoman AF menekankan bahwa sebagian episode dapat tidak disadari pasien tetapi tetap relevan untuk penilaian risiko dan terapi (Joglar et al., 2024).

Mengapa bisa begitu?

Pertama, otak dan tubuh sangat peka terhadap perubahan aliran darah. Sedikit penurunan tekanan darah atau curah jantung pada orang tertentu dapat menimbulkan pusing atau lemah.

Kedua, ketidakteraturan denyut dapat dirasakan langsung sebagai sensasi dada yang tidak nyaman. Bagi sebagian orang, sensasi ini memicu kecemasan. Kecemasan kemudian dapat meningkatkan adrenalin, membuat denyut terasa lebih kuat, dan lingkaran tidak nyaman berlanjut.

Ketiga, kondisi dasar berbeda-beda. Orang dengan fungsi ventrikel baik mungkin lebih toleran terhadap irama tertentu dibanding orang dengan kardiomiopati atau penyakit lain.

Keempat, obat dapat mengubah respons tubuh. Obat pengatur frekuensi dapat membuat denyut lebih lambat; obat diuretik dapat memengaruhi cairan dan elektrolit; antikoagulan memengaruhi risiko perdarahan; obat antiaritmia punya efek dan risiko sendiri. Karena itu, keluhan baru sebaiknya dibicarakan dengan dokter, terutama bila berat, mendadak, atau berbeda dari biasanya.

Contoh praktis: dua orang sama-sama memiliki denyut 110 per menit. Orang pertama sedang berjalan cepat dan merasa baik. Orang kedua sedang duduk diam, merasa sesak, pusing, dan nadi tidak teratur. Angka 110 sama, tetapi maknanya berbeda. Konteks menentukan.

Menyusun peta sederhana di kepala

Setelah membaca bab ini, kita bisa membawa peta sederhana:

Jantung memiliki ruang. Atrium menerima dan membantu mengisi. Ventrikel memompa.

Jantung memiliki katup. Katup menjaga darah mengalir satu arah.

Jantung memiliki listrik. Nodus sinus memulai irama normal. Nodus AV mengatur jalur ke ventrikel. Sistem His-Purkinje menyebarkan sinyal dengan cepat.

Jantung memiliki pompa. Curah jantung bergantung pada denyut per menit dan volume darah per denyut.

Jantung memiliki irama. Irama yang teratur dan sinkron dapat membuat pompa lebih efisien. Irama kacau, terlalu lambat, atau terlalu cepat dapat menimbulkan gejala.

Pacu jantung membantu bagian tertentu dari sistem listrik. Ia penting, tetapi tidak berarti semua masalah jantung otomatis selesai.

AF adalah gangguan irama atrium. Atrium menjadi tidak terkoordinasi, denyut ventrikel sering tidak teratur, dan pada sebagian pasien risiko stroke perlu dinilai serta dicegah dengan strategi yang sesuai.

Peta ini akan kita gunakan terus. Saat nanti membahas pacu jantung double chamber, kita akan kembali ke atrium dan ventrikel. Saat membahas laporan kontrol alat, kita akan kembali ke sensing, threshold, dan pacing. Saat membahas AF, kita akan kembali ke atrium yang listriknya kacau. Saat membahas trombus, kita akan kembali ke aliran darah yang bisa melambat atau tidak efektif di bagian tertentu. Saat membahas kardiomiopati, kita akan kembali ke otot pompa yang berubah.

Dengan memahami dasar ini, istilah medis mulai kehilangan sebagian kekuatannya untuk menakut-nakuti. Ia tetap serius, tetapi menjadi lebih dapat dibicarakan.

Pertanyaan refleksi untuk dibawa ke bab berikutnya

Sebelum lanjut, coba jawab dengan kata-kata sendiri:

1. Apa perbedaan atrium dan ventrikel?
2. Mengapa jantung perlu fase mengisi sebelum memompa?
3. Apa arti curah jantung?
4. Mengapa denyut 100 per menit tidak selalu bermakna sama pada semua orang?
5. Mengapa pacu jantung tidak otomatis mencegah fibrilasi atrium?
6. Mengapa irama yang tidak teratur bisa terasa mengganggu meskipun angka denyut rata-rata tidak terlalu tinggi?

Jika Anda bisa menjawabnya dengan tenang, Bab 3 akan terasa jauh lebih mudah. Kita akan masuk ke pertanyaan berikutnya: apa itu pacu jantung, mengapa dipasang, dan apa sebenarnya yang ia bantu di dalam tubuh?

References

Hall, J. E. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14th ed.). Elsevier.

Joglar, J. A., Chung, M. K., Armbruster, A. L., Benjamin, E. J., Chyou, J. Y., Cronin, E. M., Deswal, A., Eckhardt, L. L., Goldberger, Z. D., Gopinathannair, R., Gorenek, B., Hess, P. L., Hlatky, M., Hogan, G., Ibeh, C., Indik, J. H., Kido, K., Kusumoto, F., Link, M. S., ... Wyse, D. G. (2024). 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS guideline for the diagnosis and management of atrial fibrillation. *Circulation*, 149(1), e1-e156.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001193>

Kusumoto, F. M., Schoenfeld, M. H., Barrett, C., Edgerton, J. R., Ellenbogen, K. A., Gold, M. R., Goldschlager, N. F., Hamilton, R. M., Joglar, J. A., Kim, R. J., Lee, R., Marine, J. E., McLeod, C. J., Oken, K. R., Patton, K. K., Pellegrini, C. N., Selzman, K. A., Thompson, A., & Varosy, P. D. (2019). 2018 ACC/AHA/HRS guideline on the evaluation and management of patients with bradycardia and cardiac conduction delay. *Circulation*, 140(8), e382-e482.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000628>

Lilly, L. S. (Ed.). (2022). *Pathophysiology of Heart Disease: A Collaborative Project of Medical Students and Faculty* (7th ed.). Wolters Kluwer.

Document information

Bab 2: Cara Kerja Jantung: Listrik, Pompa, dan Irama

Project	Hidup Bersama Pacu Jantung
Document	Document 1.6
Author	terry.mart
Verifier	Not verified
Downloaded	July 04, 2026 20:30 KST
Status	Working
Document link	https://www.theorytrace.com/projects/hidup-bersama-pacu-jantung/documents/bab-2-cara-kerja-jantung-listrik-pompa-dan-irama/