

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gagal napas pada anak adalah suatu kondisi yang mengancam nyawa dan memerlukan penanganan cepat dan tepat. Gagal napas terjadi ketika sistem respirasi tidak dapat memenuhi kebutuhan oksigen tubuh atau menghilangkan karbon dioksida (CO₂) dengan cukup efektif. Kondisi ini merupakan keadaan yang sangat serius dan memerlukan penanganan medis segera karena dapat menyebabkan kegagalan organ dan mortalitas pada pasien.

Penyebab gagal napas pada anak dapat dilihat dari penyebab dan mekanismenya. Penyebabnya bisa karena adanya infeksi, atelectasis, atau sumbatan mukus yang menyebabkan obstruksi dari aliran udara, kolaps segmen paru, konsolidasi paru dan peningkatan inflamasi. Salah satu penanganan yang dilakukan adalah tindakan intubasi dan pemasangan ventilasi mekanik.

Data epidemiologi menunjukkan insidens 2,3% pasien gagal napas yang mengalami *Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS) dari rawat inap PICU dan angka mortalitas ratenya antara 24-34%. Beberapa penelitian dan publikasi menunjukkan angka survive yang lebih baik. (Anunta *et al.*, 2019).

Ketika kondisi pasien sudah mulai stabil maka dapat dipertimbangkan untuk dilakukan ekstubasi. Ekstubasi merupakan fase penting yang dijalani pasien-pasien anak yang dirawat di PICU. Namun, proses ekstubasi juga dapat menjadi momen yang kritis bagi pasien, terutama ketika proses ini dilakukan terlalu cepat atau terlalu lambat. (Antoniou *et al.*, 2014a)

Ekstubasi hanya bisa dilakukan jika kondisi napas anak cukup stabil dan memenuhi kriteria untuk dilakukan ekstubasi. Ekstubasi dilakukan dengan pertimbangan yang matang dan evaluasi menyeluruh karena hal ini melibatkan risiko yang cukup besar. Keputusan ini harus dilakukan dengan pemantauan ketat dan keterlibatan tim medis yang berpengalaman di ruang perawatan intensif untuk memastikan keberhasilan dan mengurangi risiko komplikasi.

Untuk meminimalkan risiko terjadinya komplikasi saat proses ekstubasi, diperlukan suatu penilaian yang objektif mengenai kesiapan pasien untuk diekstubasi. Salah satu metode penilaian kesiapan pasien untuk diekstubasi adalah dengan menggunakan *Extubation Readiness Test* (ERT). ERT merupakan serangkaian penilaian yang dilakukan sebelum proses ekstubasi untuk menilai kemampuan pasien dalam bernapas dengan atau tanpa bantuan pernapasan tambahan (Igarashi *et al.*, 2022).

Namun, di Indonesia, **belum ada** penelitian yang membahas penggunaan ERT sebagai penilaian kesiapan ekstubasi pada pasien di PICU. Penggunaan ERT sebagai penilaian kesiapan ekstubasi pada pasien di PICU dapat memberikan banyak manfaat, seperti mengurangi risiko kegagalan ekstubasi dan mengurangi durasi penggunaan alat bantu pernapasan (Baptistella *et al.*, 2018).

Penelitian ini berusaha menilai tentang penggunaan ERT sebagai standar sebelum dilakukan ekstubasi pada pasien PICU yang menggunakan ventilator mekanik karena gagal napas. Melalui penelitian ini, **perlu** dikembangkan sebuah sistem penilaian kesiapan pasien untuk diekstubasi yang efektif dan efisien, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan kualitas pelayanan kesehatan pasien di PICU.

Selama ini, pasien-pasien yang terintubasi dipertimbangkan untuk ekstubasi melalui penilaian klinis umum saja tanpa kriteria khusus. ERT ini diharapkan dapat dijadikan standar untuk pengambilan keputusan sebelum pasien diekstubasi dan untuk evaluasi kemampuan pasien untuk bernapas spontan sehingga dapat meminimalkan risiko gagal ekstubasi atau komplikasi pasca-ekstubasi. Penelitian ini juga diharapkan dapat mengurangi durasi penggunaan alat bantu pernapasan invasif dan mengurangi komplikasi penggunaan ventilator mekanik.

Penelitian tentang *Extubation Readiness Test* (ERT) **penting** karena dapat membantu menentukan waktu ekstubasi paling optimal dan mengurangi risiko reintubasi dan *prolonged ventilation*. Hal ini akan meningkatkan keselamatan pasien dan efisiensi waktu perawatan pasien di PICU.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang permasalahan, maka dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut :

Bagaimana penilaian skor *Extubation Readiness Test* (ERT) untuk menentukan kesiapan ekstubasi pasien gagal napas yang dirawat di PICU?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menilai keakuratan/tingkat keberhasilan ekstubasi pada penggunaan skor *Extubation Readiness Test* (ERT) dalam menentukan kesiapan pasien anak dengan gagal napas yang akan diekstubasi

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui penggunaan skor *Extubation Readiness Test* (ERT) sebagai penilaian keberhasilan ekstubasi pasien gagal napas yang dirawat di PICU
2. Untuk mengetahui jumlah minimal skor *Extubation Readiness Test* (ERT) dalam menentukan kesiapan ekstubasi pasien gagal napas yang dirawat di PICU

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah nilai skor *Extubation Readiness Test* (ERT) (*cut off*) lebih tinggi pada pasien yang berhasil diekstubasi dibandingkan pasien yang gagal diekstubasi

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Untuk Pengembangan Ilmu Pengetahuan

1. Hasil Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi ilmiah mengenai penggunaan *Extubation Readiness Test* (ERT) sebagai penilaian keberhasilan ekstubasi pada pasien gagal napas di PICU

2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan pengembangan terhadap penelitian-penelitian sejenis

1.5.2 Manfaat untuk pemecahan masalah medis

1. Penelitian ini diharapkan membantu klinisi dalam memberikan tatalaksana yang tepat sehingga tercapai efektifitas dan efisiensi dalam keberhasilan ekstubasi pada pasien gagal napas di PICU
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber data untuk mengurangi risiko gagal ekstubasi dan komplikasi pasca-ekstubasi pada pasien gagal napas di PICU
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber data untuk meningkatkan efisiensi penggunaan alat bantu pernapasan dan durasi perawatan pasien gagal napas di PICU

1.5.3 Manfaat untuk data penelitian selanjutnya

Sebagai data untuk penelitian selanjutnya yang meneliti penggunaan *Extubation Readiness Test* (ERT) sebagai penilaian keberhasilan ekstubasi pada pasien gagal napas di PICU

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gagal napas akut pada anak

2.1.1 Definisi

Gagal napas akut pada anak didefinisikan sebagai ketidakmampuan sistem pernapasan untuk mendukung oksigenasi, ventilasi, atau keduanya. Gagal napas akut adalah penyebab umum seorang anak dirawat di unit perawatan intensif pediatrik (PICU). Data epidemiologi mengungkapkan insiden tahunan dari kondisi ini sebesar 2,3% pada pasien yang dirawat di PICU dengan angka kematian sebesar 24% hingga 34% (Schouten *et al.*, 2016; Wong *et al.*, 2019).

2.1.2 Patofisiologi

Kontrol pernapasan yang normal dihasilkan oleh interaksi yang kompleks antara pembuluh darah, otak, paru-paru, dan alat pernapasan. Kemoreseptor perifer terletak di badan aorta dan karotis dan sensitif terhadap PaO₂, PaCO₂, dan pH. Penurunan PaO₂, penurunan pH atau peningkatan CO₂ menghasilkan sinyal untuk meningkatkan ventilasi. Kemoreseptor pusat di otak sensitif terhadap pH dari *Cerebrospinal Fluid* (CSF). Sinar darah-otak memungkinkan CO₂ untuk melintas dengan bebas sehingga pH CSF ditentukan oleh PaCO₂, dan selektif terhadap ion hidrogen. Oleh karena itu, kemoreseptor pusat dapat mendeteksi perubahan kecil pada CO₂. *Input* informasi dari kemoreseptor perifer dan pusat diintegrasikan dalam batang otak. Pons dan medula menghasilkan impuls berkala untuk memicu pernapasan. Cedera pada batang otak menyebabkan pola pernapasan yang khas dan abnormal berdasarkan tingkat cedera. Korteks dapat mengesampingkan mekanisme otomatis ini dengan upaya pernapasan yang mengkompensasi mekanisme tersebut (North & Jennett, 1974).

Otot utama inspirasi, yaitu diafragma, yang dipersarafi oleh saraf frenikus yang berasal dari akar saraf tulang belakang C3 hingga C5. Dengan demikian, pasien dengan cedera saraf tulang belakang pada atau di atas

tingkat ini berisiko mengalami kelumpuhan diafragma dan gagal napas. Stimulasi saraf frenikus menyebabkan kontraksi dan perataan diafragma yang berbentuk kubah. Hal ini menyebabkan peningkatan volume intratoraks dan akibatnya terjadi penurunan tekanan intratoraks. Gradien tekanan negatif dihasilkan antara alveoli dan lingkungan luar, sehingga menghasilkan pergerakan bersih udara ke alveoli. Pernapasan tekanan negatif ini berbeda dengan pernapasan tekanan positif dari ventilasi mekanik invasif. Radiks saraf tulang belakang toraks menginervasi otot interkostal eksternal untuk membantu inspirasi dengan menarik dada ke atas dan ke anterior.

Pernafasan adalah proses pasif yang tenang karena adanya rekoil elastis paru-paru dan dinding dada. Saat berolahraga atau dalam gangguan pernapasan, pernafasan dapat menjadi proses aktif yang dibantu oleh otot interkostal internal yang menarik kosta ke dalam dan ke bawah, dan otot dinding perut yang berkontraksi kemudian mendorong isi perut ke atas (Bohnhorst & Peter, 2020).

Dibandingkan dengan orang dewasa, anak-anak, terutama bayi, memiliki risiko lebih tinggi mengalami gagal napas akut. Diameter saluran napas anak-anak yang kecil menghasilkan resistensi yang tinggi terhadap aliran. Resistensi sebanding dengan kebalikan dari jari-jari jalan napas pangkat 4; dengan demikian, perubahan kecil pada diameter jalan napas dapat menyebabkan peningkatan besar dalam resistensi jalan napas, yang mengarah kepada penurunan aliran udara. Jalan napas anak berukuran kecil dan dapat dipersempit lebih lanjut oleh sekresi, edema, atau bronkokonstriksi. Anak kecil juga memiliki ventilasi kolateral yang belum berkembang dan sudut bronkus kanan atas yang lebih vertikal ke bawah, yang menjadi predisposisi atelektasis (Terry & Traystman, 2016).

Dinding dada anak lebih komplians, yang dari sudut pandang mekanik, tidak menguntungkan untuk pernapasan normal. Diafragma anak-anak lebih cepat lelah daripada orang dewasa karena serat otot tipe 1 yang lebih sedikit. Terlebih lagi, pada bayi, kontrol pusat pernapasan belum matang dan rentan terhadap apnea dan bradipnea (Schroeder *et al.*, 2013).

Gangguan oksigenasi atau ventilasi yang menyebabkan gagal napas paling sering disebabkan oleh ketidaksesuaian ventilasi/perfusi (V/Q). Meskipun rasio ventilasi dan perfusi 1:1 yang ideal jarang terjadi, pada penyakit paru akut ketidaksesuaian dapat menjadi lebih parah. Segmen paru-paru yang terfusi tetapi tidak berventilasi dianggap sebagai ruang mati (V/Q mendekati tak terhingga). Contoh faktor penyebab ventilasi yang tidak efektif meliputi gangguan anatomis, emboli paru, dan hipertensi paru yang parah. Respirasi CO₂ terganggu ketika ruang mati meningkat, yang mengakibatkan hiperkarbia. Area paru-paru yang memiliki perfusi tetapi tidak memiliki ventilasi akan menghasilkan pergeseran fisiologis (V/Q = 0). Pada keadaan normal, darah mengalir dari arteri pulmonalis ke vena pulmonalis tanpa terpapar membran alveolar, yang mengakibatkan hipoksemia. Contoh *shunt* adalah kolaps dari paru dan koneksi arteri-vena paru. Pada sebagian besar penyakit paru-paru, terdapat heterogenitas dalam ketidakcocokan V/Q dari 0 hingga tak terhingga (Bohnhorst & Peter, 2020).

Kegagalan pernapasan juga dapat disebabkan oleh gangguan difusi oksigen melintasi membran alveolar-kapiler. Keterbatasan difusi dapat terjadi bersamaan dengan ketidaksesuaian V/Q. Contoh penyebab gangguan difusi adalah fibrosis paru. Hiperkarbia akibat gangguan difusi umumnya jarang terjadi karena CO₂ berdifusi melintasi membran alveolar-kapiler lebih cepat daripada oksigen (Belda *et al.*, 2013).

2.1.3 Etiologi

Gagal napas akut memiliki tiga kategori etiologi utama yaitu gangguan parenkim paru seperti pneumonia, bronkiolitis, asma, sepsis, dan aspirasi, gangguan obstruksi saluran napas seperti croup, korpus alienum saluran nafas, stenosis subglottis, laringomalasia, serta disfungsi neuromuskular seperti miopati, neuropati, myasthenia gravis, disfungsi sistem saraf pusat, dan paralisis diafragma. Penyakit yang menyebabkan gagal napas dari paru disebabkan oleh ketidaksesuaian V/Q, gangguan difusi gas, atau keduanya. Gangguan obstruksi jalan napas lebih sering menyebabkan gagal napas pada lebih banyak anak-anak daripada orang dewasa karena jari-jari jalan napas

yang lebih kecil. Penyebab neuromuskuler dari gagal napas dapat terjadi di mana saja dari saraf pusat hingga otot-otot pernapasan yang dipersarafi (Friedman & Nitu, 2018).

2.1.4 Diagnosis

Evaluasi awal seorang anak pada gangguan pernapasan meliputi anamnesis dan pemeriksaan fisik yang terarah namun menyeluruh. Anamnesis yang menyeluruh yang diarahkan untuk mengidentifikasi tanda-tanda pemicu dan gejala dapat membantu dokter dalam etiologi yang mendasari gagal napas. Penilaian tanda-tanda vital pasien, penampilan umum, pemeriksaan paru-paru dapat memberi gambaran gejala gagal napas akut. Takipnea dan hipoksemia adalah manifestasi umum dari gagal napas akut, meskipun takikardia sering kali merupakan tanda yang kurang diperhatikan dari gagal napas yang akan datang. Peningkatan kerja pernapasan bermanifestasi sebagai retraksi, napas cuping hidung atau adanya pernapasan perut (Friedman & Nitu, 2018).

Anak-anak dengan gagal napas akibat kelemahan neuromuskular atau disfungsi sistem saraf pusat mungkin tidak menunjukkan gejala yang khas, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan penunjang untuk membantu diagnosis yang lebih spesifik. Auskultasi pada paru-paru sangat membantu untuk diagnosis dan penatalaksanaan. Pernafasan yang berkepanjangan atau mengi yang terdengar menunjukkan bronkokonstriksi jalan napas. Temuan yang terlokalisasi menunjukkan adanya pneumonia fokal atau aspirasi benda asing. Tidak adanya suara napas dapat berupa karena pneumotoraks, efusi pleura, atau konsolidasi paru-paru yang padat. Ronki di semua bidang paru-paru umumnya karena edema paru atau edema interstisial. Stridor dihasilkan oleh aliran udara sekunder yang bergejolak terhadap penyempitan di saluran napas bagian atas dan dapat terjadi pada croup, kompresi jalan napas, dan benda asing yang teraspirasi. Data laboratorium awal meliputi pengambilan sampel gas darah untuk menilai status asam/basa serta oksigenasi dan ventilasi. Gas darah arteri lebih baik daripada gas darah vena karena kemampuannya untuk menilai oksigenasi (Rahajoe *et al.*, 2018).

Radiografi dada akan sering dilakukan mengidentifikasi penyebab gagal napas termasuk inflamasi atau kondisi infeksi, radiopak benda asing, atelektasis, atau efusi. Radiografi dada juga menilai untuk patologi yang membutuhkan intervensi seperti pneumotoraks. Baik radiografi dada maupun hasil analisis gas darah tidak boleh menunda penanganan darurat pada pasien yang memburuk secara akut yang memerlukan intubasi dan ventilasi mekanik (Bonet *et al.*, 2010).

Sekresi pernapasan dapat dikirim untuk pengujian mikrobiologi, sitologi, dan histologi. Berbagai metode dapat digunakan untuk mengambil sampel sekresi. Bronkoskopi standar emas dengan lavase bronkoalveolar (BAL) adalah metode yang paling invasif tetapi memiliki keunggulan yaitu dapat mengambil sampel paru-paru terdalam dan memvisualisasikan kondisi saluran udara. Jika diduga terdapat sumber infeksi dicurigai sebagai penyebab terjadinya gagal napas, maka sekret dikirim untuk tes laboratorium berikut: pewarnaan gram, *bacil acid fast staining*, jumlah sel, kultur bakteri (atau juga jamur dan kultur mikobakteri), dan / atau *Polymerase Chain Reaction*. BAL juga dapat mendiagnosis perdarahan paru, hemosiderosis paru, dan pneumonitis aspirasi (Maggi *et al.*, 2012).

2.2 Ventilator Mekanik

2.2.1 Definisi

Ventilator mekanik merupakan alat pendukung dalam upaya mempertahankan proses ventilasi paru yang adekuat secara akut pada kondisi-kondisi gangguan pernafasan yang dapat mengancam nyawa (Hikey & Giwa, 2023).

2.2.2 Indikasi dan Kontraindikasi Pemakaian Ventilator

Indikasi primer penggunaan ventilator mekanik meliputi (Pham *et al.*, 2017):

1. Gangguan jalur nafas.
 - a. Ventilator mekanik memberi perlindungan pada pasien dengan instabilitas jalur nafas, yang dapat terjadi akibat trauma ataupun infeksi orofaring.
 - b. Obstruksi jalan nafas baik yang bersifat proksimal seperti angioedema ataupun distal seperti bronkospasme akibat asma, ataupun eksaserbasi akut dari penyakit paru obstruktif.
2. Hipoventilasi
 - a. Hipoventilasi akibat gangguan sistem saraf pusat seperti pada overdosis obat-obatan terlarang yang mengganggu fungsi pernafasan, atau pada pasien pascaoperasi yang mendapat obat sedatif, ataupun koma dengan nilai GCS<8 (Fox *et al.*, 2018).
 - b. Kelemahan otot-otot respirasi, seperti pada distrofi otot, dan myositis (Hallowell & Paik, 2022).
 - c. Gangguan sistem saraf perifer seperti krisis myastenik dan *Guillain-Barre syndrome* (Morar *et al.*, 2023).
 - d. Defek restriktif ventilasi seperti akibat trauma dinding dada, atau efusi, edema paru, dan pneumothoraks dalam jumlah besar .
3. Kegagalan respirasi hipoksemik akibat hilangnya kemampuan pertukaran gas oksigen atau pengantaran ke jaringan perifer akibat beberapa faktor, meliputi (Hikey & Giwa, 2023):
 - a. Defek pengisian alveolus akibat edema pulmoner, pneumonia, ataupun ARDS
 - b. Defek vaskularisasi pulmoner yang menyebabkan ketidaksesuaian ventilasi-perfusi, dapat terjadi akibat emboli udara atau emboli paru dalam ukuran besar
 - c. Defek difusi yang dapat terjadi akibat fibrosis paru ataupun efusi pleura.
4. Gangguan keseimbangan asam-basa akibat disturbansi metabolik refrakter berat (Jung *et al.*, 2019).

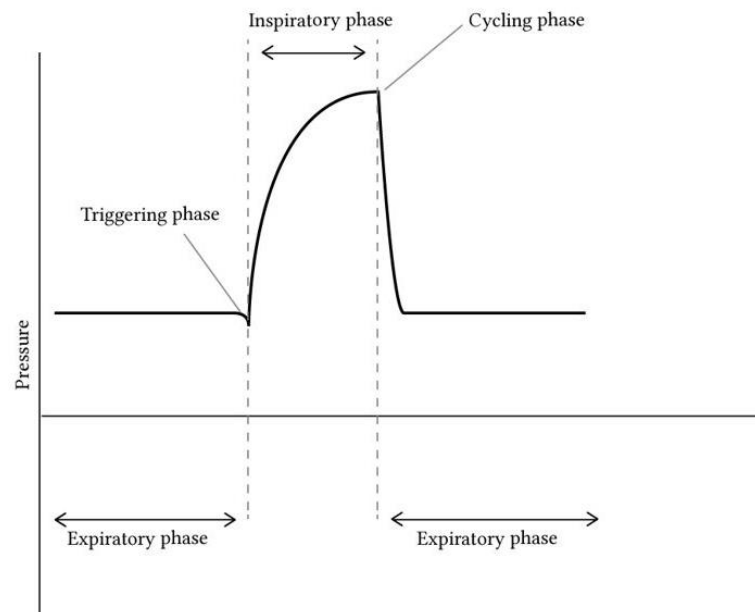
5. Pasien dengan respons buruk terhadap *Nasal Intermittent Positive Pressure Ventilation* (NIPPV).

Kontraindikasi ventilasi mekanik umumnya tidak bersifat langsung karena manfaatnya yang digunakan dalam kondisi kegawatdaruratan. Satu-satunya kontraindikasi absolut dari ventilasi mekanik ialah apabila ada penolakan dari pasien, sementara indikasi relatif ialah apabila tersedia pilihan ventilasi non-invasif yang lebih nyaman digunakan bagi pasien dan minim resiko komplikasi (Carpio & Mora, 2023).

2.2.3 Prinsip kerja ventilator mekanik

Ventilator mekanik menghantarkan gas ke paru-paru, memberikan tekanan positif pada sistem pernafasan sehingga membantu mengembangkan paru-paru, meningkatkan tekanan transpulmoner, memperbaiki oksigenasi, dan membantu kerja otot-otot pernafasan. Kapasitas udara yang mampu diterima dan dikeluarkan oleh paru-paru dalam satu siklus respirasi dan dalam kondisi rileks disebut dengan volume tidal (VT) (Cronin *et al.*, 2022). Secara fisiologis nilai VT berkisar antara 8-10 mL/kg berat badan ideal (Pham *et al.*, 2017).

Terdapat empat tahapan/fase dalam ventilasi mekanik, yaitu fase pemicu (*trigger*), fase inspirasi, fase siklus, dan fase ekspirasi. Fase pemicu adalah inisiasi inhalasi yang dipicu oleh upaya dari pasien atau dengan parameter yang ditetapkan oleh ventilator mekanik. Fase inspirasi merupakan fase saat udara masuk ke paru-paru pasien. Fase siklus adalah momen singkat ketika penghirupan telah berhenti tetapi sebelum fase ekspirasi dimulai. Fase ini membatasi besar volume udara yang masuk pada paru-paru pasien yang disesuaikan dengan VT. Fase ekspirasi adalah penghembusan udara secara pasif dari pasien (Kacmarek *et al.*, 2020). Fase-fase pada penggunaan ventilator mekanik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Fase-fase pada penggunaan ventilasi mekanik (Kacmarek *et al.*, 2020).

Dalam melakukan penghantaran gas ke paru-paru, ventilator mekanik dapat menghantarkannya melalui beberapa cara (mode) yaitu mode *mandatory* dan mode *assisted*. Pada mode *mandatory* mesin ventilator mekanik menginisiasi masuknya udara dan mengatur frekuensi pernafasan pasien. Mode ini dapat digunakan pada pasien dengan ketidakmampuan inisiasi nafas seperti pada pasien gagal nafas, gangguan neuromuskuler, dan ARDS. Sementara pada mode *assisted*, tarikan nafas pasien menginduksi masuknya udara dan pasien memiliki kontrol atas frekuensi pernafasan yang dilakukan sehingga tekanan negatif pleura juga membantu udara masuk, selain akibat tekanan positif dari ventilator (Mireles-Cabodevila & Kacmarek, 2016).

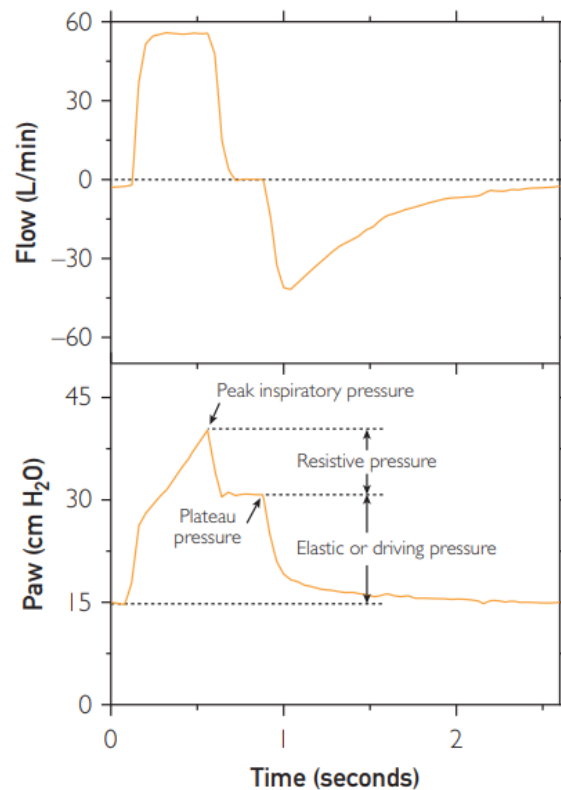
Secara umum, pemberian napas pada mode *assisted* dapat dibagi kembali menjadi jenis terbatas volume (VAC) atau terbatas tekanan (PAC). Tergantung pada komplians pernafasan, resistensi jalan napas, dan jenis atau mode ventilator mekanik, VT napas dan tekanan jalan napas akan berubah. Sebagai contoh, dalam kasus penggunaan mode VAC, VT diatur ke jumlah

yang tetap; oleh karena itu, tekanan jalan napas statis (atau puncak tekanan pada akhir inspirasi) akan bergantung pada complians paru-paru. Sementara, ketika mode PAC digunakan, tekanan pendorong diatur dan ditetapkan; oleh karena itu, VT bervariasi dari satu tarikan napas ke tarikan napas lainnya dan bergantung pada complians paru-paru. Apabila complians paru-paru tinggi, maka VT tinggi, dan ketika complians paru-paru rendah, VT juga rendah (Hikey & Giwa, 2023).

2.3 Fisiologi Pernafasan Dengan Ventilator Mekanik

Ventilasi mekanik memberikan berbagai dampak pada mekanisme fisiologis paru. Fisiologi pernapasan dalam keadaan normal beroperasi dengan mekanisme tekanan negatif untuk menarik udara. Selama proses inspirasi, gerakan diafragma ke bawah menghasilkan tekanan negatif di dalam rongga pleura. Akibatnya, tekanan negatif ini menginduksi tekanan negatif yang sama di dalam saluran udara, yang memfasilitasi penghirupan udara ke dalam paru-paru (Marini, 2015).

Gaya yang bekerja selama ventilasi pada setiap titik waktu dijelaskan sebagai berikut. Perubahan tekanan, volume, dan aliran selama inspirasi dan ekspirasi dapat digambarkan dengan persamaan gerak $Paw = P0 + (R \times \text{aliran}) + (Vt \text{ ERS})$, di mana Paw = tekanan saluran napas, $P0$ = tekanan alveolar awal, R = hambatan aliran, Vt = volume tidal, dan ERS = elastisitas sistem pernapasan. Setiap elemen dari persamaan ini berdampak pada tekanan yang diberikan pada saluran napas (Pham, Brochard and Slutsky, 2017).



Gambar 2. Perubahan tekanan, volume, dan aliran selama inspirasi dan ekspirasi dengan ventilasi mekanik (Pham *et al.*, 2017).

Tekanan intratoraks negatif juga memiliki efek mengurangi tekanan di atrium kanan (RA) dan menciptakan gaya isap pada vena cava inferior (IVC), sehingga meningkatkan aliran darah vena kembali ke jantung. Penggunaan pernapasan tekanan positif mengubah proses fisiologis ini. Transmisi tekanan positif dari ventilator diamati di saluran udara bagian atas dan kemudian meluas ke alveoli. Akibatnya, tekanan ini diteruskan ke ruang alveolar dan rongga toraks, sehingga menghasilkan tekanan positif (atau pengurangan tekanan negatif) di dalam ruang pleura (Corp *et al.*, 2021) .

Peningkatan tekanan atrium kanan dan penurunan aliran balik vena menghasilkan penurunan *preload*. Fenomena ini menunjukkan dampak ganda pada penurunan curah jantung. Penurunan volume darah yang ada di ventrikel kanan menghasilkan penurunan jumlah darah yang dikirim ke ventrikel kiri. Akibatnya, berkurangnya volume darah yang tersedia untuk dikeluarkan

menyebabkan penurunan curah jantung. Penurunan preload menyebabkan jantung beroperasi pada posisi yang kurang optimal pada kurva *Frank-Starling*, sehingga efisiensi berkurang dan curah jantung berkurang. Akibatnya, jika tidak ada peningkatan kompensasi dalam resistensi pembuluh darah sistemik (SVR), hal ini akan menyebabkan penurunan tekanan arteri rata-rata (MAP). Faktor ini memiliki relevansi yang signifikan pada individu yang mungkin menunjukkan kapasitas terbatas untuk meningkatkan resistensi vaskular sistemik (SVR) mereka, seperti mereka yang didiagnosis dengan syok distributif (misalnya syok septik, neurogenik, atau anafilaksis) (Corp *et al.*, 2021).

Sebaliknya, penggunaan ventilasi mekanik tekanan positif telah diamati secara substansial mengurangi upaya pernapasan yang diperlukan. Akibatnya, fenomena ini menyebabkan penurunan sirkulasi darah ke otot pernapasan, sekaligus mengarahkannya ke organ vital yang lebih penting. Pengurangan upaya otot pernapasan menyebabkan penurunan produksi karbon dioksida (CO₂) dan laktat oleh otot-otot ini, sehingga berkontribusi pada perbaikan asidosis (Carpio & Mora, 2023).

Keuntungan potensial dari penggunaan ventilasi mekanik tekanan positif pada pasien yang menderita edema paru kardiogenik ialah dampaknya terhadap aliran balik vena. Pada pasien yang mengalami kelebihan volume, pengurangan aliran balik vena akan berdampak langsung pada timbulnya edema paru dengan menurunkan curah jantung sisi kanan. Secara bersamaan, pengurangan aliran balik dapat meningkatkan overdistensi pada ventrikel kiri, memposisikannya pada lokasi yang lebih baik pada kurva *Frank-Starling*, sehingga berpotensi meningkatkan curah jantung (Corp *et al.*, 2021).

Pemahaman yang komprehensif mengenai tekanan paru dan complians paru sangat penting untuk pemberian ventilasi mekanik yang efektif. Nilai tipikal untuk complians paru adalah sekitar 100 ml/cmH₂O. Hal ini menyiratkan bahwa pada sistem paru yang khas, 500 ml udara melalui ventilasi tekanan positif akan menghasilkan peningkatan tekanan alveolar sebesar 5 cm H₂O. Sebaliknya, penerapan tekanan positif pada tingkat 5 cm

H₂O akan menghasilkan penambahan volume paru-paru sebesar 500 mL (Lewith & Pandit, 2020).

Pada kondisi paru yang abnormal, tingkat complians dapat bervariasi secara signifikan, baik secara substansial meningkat atau sangat berkurang. Setiap kondisi patologis yang mengakibatkan kerusakan parenkim paru, seperti emfisema, akan menyebabkan peningkatan complians paru. Sebaliknya, penyakit yang menyebabkan paru-paru menjadi lebih kaku, seperti ARDS, pneumonia, edema paru, dan fibrosis paru, akan menyebabkan penurunan complians paru-paru (Antoniou *et al.*, 2014b; Plantier *et al.*, 2018).

2.4 Penyapihan (*Weaning*) dan Ekstubasi pada Pasien Dengan Ventilasi Mekanik

Seiring perkembangan penyakit, ventilasi mekanik diatur sedemikian rupa untuk menyediakan pertukaran gas yang efektif. Ketika fase akut penyakit mereda, ditandai dengan penurunan tekanan saluran napas rata-rata yang dibutuhkan, penyapihan (*weaning*) dapat dimulai. Akhir penyapihan dapat didefinisikan sebagai waktu di mana pernapasan spontan pasien sendiri dapat memberikan gas yang efektif pertukaran gas yang efektif, meskipun cara terbaik untuk menentukan waktu ini masih belum jelas. Pada akhir penyapihan dilakukan ekstubasi, atau tindakan pengangkatan ETT (Newth *et al.*, 2020).

2.4.1 Prediktor keberhasilan ekstubasi pada pasien dengan ventilasi mekanik

Keberhasilan ekstubasi bergantung pada dua kondisi: kapasitas untuk mempertahankan jalan napas yang tidak terhalang setelah pengangkatan selang trakea, dan kemampuan untuk mentoleransi pernapasan spontan tanpa memerlukan bantuan ventilator mekanik invasif. Ada beberapa indeks prediktif yang dapat memberikan panduan untuk ekstubasi pada pasien pediatrik dengan penyakit akut (Tabel 2.1) (Egbuta & Evans, 2022).

Ekstubasi yang berhasil pada pasien di *Pediatric Intensive Care Unit* (PICU) sering kali dikaitkan dengan frekuensi ventilator yang menyerupai frekuensi normal yang sesuai dengan usianya, serta volume tidal yang lebih

besar dan kekuatan inspirasi negatif (NIF) yang lebih tinggi. *Rapid Shallow Breathing Index* (RSBI) mengevaluasi hubungan antara frekuensi pernapasan dan volume tidal (Newth *et al.*, 2020).

Indeks Komplians, Laju, Oksigenasi dan Tekanan (CROP index) adalah alat yang digunakan untuk mengevaluasi komplians paru-paru, serta tingkat tekanan oksigen alveolar dan arteri dalam kaitannya dengan frekuensi ventilasi. Kedua variabel ini telah menunjukkan kegunaan yang signifikan dalam memperkirakan ekstubasi yang efektif (Ng *et al.*, 2023). Nilai indeks RSBI yang kurang dari 8 napas per menit per mililiter per kilogram (bpm/ml/kg) memiliki sensitivitas 74% dan spesifisitas 73% dalam memprediksi keberhasilan ekstubasi. Di sisi lain, nilai indeks CROP lebih dari 0,15 mililiter per kilogram per napas per menit (ml kg/napas/menit) menunjukkan sensitivitas 83% dan spesifisitas 53% (Egbuta & Evans, 2022; Thiagarajan *et al.*, 1999).

Penelitian sebelumnya merekomendasikan untuk menggunakan indeks prediktif ini dikombinasikan dengan penilaian klinis untuk memandu kesiapan pasien untuk menyapih dan meningkatkan peluang keberhasilan ekstubasi (Egbuta & Evans, 2022; Toida *et al.*, 2017).

Tabel 2.1. Prediktor keberhasilan ekstubasi pada anak yang di rawat di PICU

Variabel	Definisi	Nilai prediktif
Frekuensi ventilasi spontan	Jumlah nafas yang independen tiap menit	RR<45
Volume tidak spontan	Jumlah udara yang masuk dan keluar dalam paru dalam tiap siklus respirasi	Vt>5,5 ml/kg
<i>Rapid Shallow Breathing Index</i> (RSBI)	RR/Vt	RSBI < 8 nafas/menit/ml/kg
Kapnografi volumenterik	Vd/Vt	Vd/Vt < 0,50
CROP Index	Cdyn x NIF x Crop index	<0,15 ml/kg/napas/menit
CVC	Udara maksimum yang dikeluarkan dalam sekali tangisan.	CVC 17 ml/kg
PIFR	Udara maksimum yang dapat dihirup setelah ekshalasi maksimal hingga menyisakan volume residual	PIFR 3,5 ml/detik/cm
MIP	Tekanan maksimal yang dihasilkan respirasi maksimal setelah ekspirasi hingga menyisakan volume residual	MIP 50 cmH2O

*Cdyn: dynamic compliance; NIF, negative inspiratory force; VD, dead space ventilation; VT, tidal volume.

2.5 Kegagalan Ekstubasi

Di PICU, kegagalan ekstubasi sering terjadi dalam 24-96 jam setelah ekstubasi dan berkisar antara 2,7% hingga 30%. Usia 24 bulan, kelainan genetik, kondisi sindromik, penyakit pernapasan kronis, kondisi neurologis

kronis, gangguan jalan napas medis atau bedah, NIV kronis, reintubasi pascabedah segera setelah masuk PICU, dan penggunaan adrenalin (epinefrin), terapi helium oksigen (heliox), atau NIV dalam waktu 24 jam pascabedah merupakan beberapa karakteristik yang telah ditemukan terkait dengan kegagalan ekstubasi. Menurut penelitian oleh Baisch dkk, pasien PICU yang mengalami kegagalan ekstubasi mengalami lama rawat inap di rumah sakit, dengan ventilator yang lebih panjang, serta tingkat pemasangan trakeostomi yang lebih besar (Baisch *et al.*, 2005).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa kekuatan inspirasi negatif memiliki peran yang signifikan dalam memprediksi kemungkinan intubasi ulang setelah ekstubasi yang gagal. Khemani dkk. menemukan bahwa upaya pernapasan yang lebih tinggi setelah ekstubasi, pernapasan yang berkepanjangan, tekanan saluran napas maksimal pra-ekstubasi yang lebih rendah selama oklusi saluran napas, dan *Upper Airway Obstruction* (UAO) setelah ekstubasi merupakan faktor risiko reintubasi. Selain itu, mereka menemukan bahwa pada saat ekstubasi, sekitar 35% janak mengalami penurunan kekuatan otot pernapasan ($\text{NIF} > 30 \text{ cmH}_2\text{O}$), dan mereka yang memiliki kekuatan otot pernapasan yang masih ada ($\text{NIF} > 30 \text{ cmH}_2\text{O}$; 14% vs 5,5%; $p=0,006$) hampir tiga kali lebih mungkin memerlukan reintubasi (Khemani *et al.*, 2017).

2.6 Penilaian *Extubation Readiness Test*

Extubation Readiness Test (ERT) adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan pasien dalam menjalani proses ekstubasi, yaitu proses pelepasan endotrakeal tube pada pasien yang sebelumnya memerlukan bantuan alat bantu pernapasan (ventilator mekanik). ERT dapat membantu dokter dan tim medis dalam menentukan apakah pasien siap untuk diekstubasi atau tidak, dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti fungsi pernapasan, kemampuan batuk dan sekresi, serta stabilitas kardiovaskular (Loberger *et al.*, 2020).

ERT biasanya dilakukan pada pasien yang mengalami masalah pernapasan akut dan memerlukan perawatan di unit perawatan intensif dalam hal ini pasien yang dirawat di PICU. Dengan menggunakan ERT, diharapkan dapat mengurangi risiko kegagalan ekstubasi, komplikasi pasca-ekstubasi, dan mempercepat pemulihan pasien sehingga dapat meningkatkan efisiensi perawatan di PICU (Krasinkiewicz *et al.*, 2021).

ERT adalah tes yang dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan pasien untuk diekstubasi atau melepaskan ventilator mekanik dan kembali bernapas secara mandiri. Pada pasien di Unit Perawatan Intensif (PICU), penggunaan ERT sangat penting untuk menentukan waktu yang tepat untuk melakukan ekstubasi. Hal ini karena pasien di PICU seringkali memerlukan bantuan alat bantu pernapasan seperti ventilator dan memerlukan evaluasi yang cermat untuk memastikan mereka siap untuk diekstubasi (Moura *et al.*, 2021). Tes ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti tes spontan breathing trial (SBT), tes ventilator weaning protocol, atau tes respiratory muscle strength (Loberger *et al.*, 2020).

Pada pasien PICU, ERT dapat membantu mengurangi durasi penggunaan ventilator dan risiko komplikasi yang terkait dengan penggunaan ventilator yang lama, seperti pneumonia nosokomial, atelektasis, atau trauma paru. Selain itu, ERT juga dapat membantu mempercepat pemulihan pasien dan memperbaiki prognosis (Ng *et al.*, 2023).

Hasil tes ERT juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti stres dan kelelahan pasien, obat-obatan, dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan ERT pada pasien PICU harus dilakukan dengan hati-hati dan di bawah pengawasan medis yang ketat. Tes ini harus dilakukan oleh tenaga medis yang terlatih dan dilengkapi dengan alat bantu pernapasan dan obat-obatan yang dibutuhkan jika terjadi kegagalan ekstubasi. Pada pasien di PICU, penggunaan ERT sangat penting karena ekstubasi yang terlalu cepat atau terlambat dapat meningkatkan risiko komplikasi dan memperburuk prognosis pasien. Oleh karena itu, penentuan waktu yang tepat untuk

melakukan ekstubasi sangatlah penting dan perlu dilakukan secara hati-hati (Ng *et al.*, 2023).

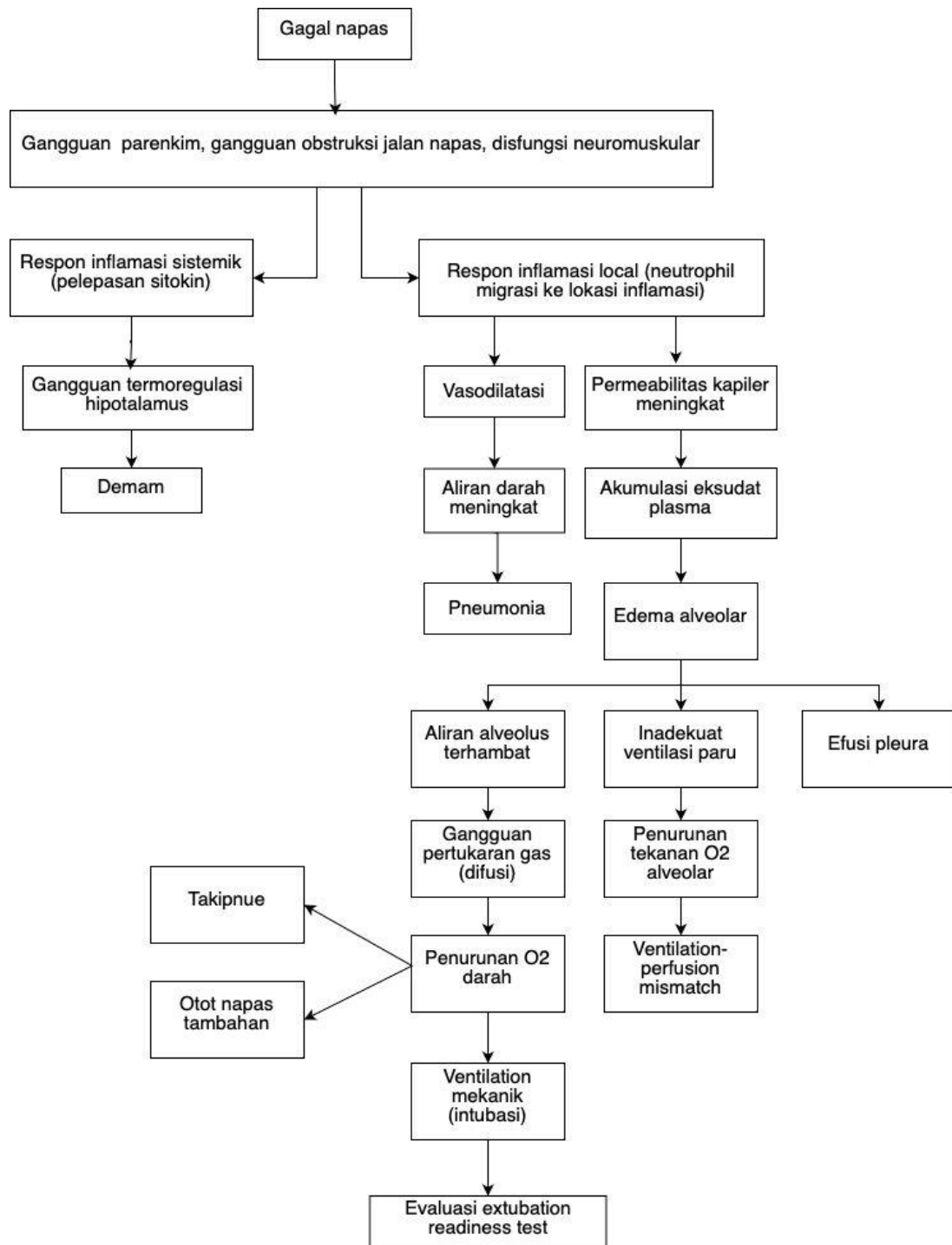
Metode yang paling umum digunakan adalah SBT, yang dilakukan dengan menghentikan ventilator selama beberapa waktu dan memantau kemampuan pasien untuk bernapas secara mandiri. Selama SBT, pasien diberikan oksigen dengan aliran rendah dan diberikan waktu untuk bernapas sendiri. Jika pasien mampu bernapas secara mandiri selama waktu yang ditentukan, ekstubasi dapat dilakukan (Karthika *et al.*, 2016).

Selain itu, penggunaan ERT pada pasien PICU juga memerlukan evaluasi yang cermat terhadap kemampuan pernapasan pasien, pengelolaan cairan, pengobatan, dan pemantauan yang ketat terhadap kondisi pasien setelah diekstubasi. Evaluasi dan pemantauan yang cermat akan membantu mencegah terjadinya komplikasi pasca-ekstubasi seperti atelektasis, pneumonia, dan gagal nafas (Newth *et al.*, 2020).

ERT pada pasien PICU dapat membantu tim medis dalam membuat keputusan klinis yang tepat terkait dengan penggunaan ventilator dan rencana ekstubasi pasien. Namun test ini hanya satu dari beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan, dan harus dilakukan secara hati-hati dan terintegrasi dengan evaluasi klinis yang komprehensif

Setiap pasien memiliki kondisi yang unik, dan ERT hanya merupakan satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan ventilator dan ekstubasi. Oleh karena itu, penggunaan ERT harus dilakukan oleh tenaga medis yang berpengalaman dan terlatih dalam pengelolaan pasien PICU.

2.7 Kerangka Teori



Gambar 3. Bagan kerangka teori