BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Teori

2.1.1 Ventilasi Mekanik

2.1.1.1 Definisi Ventilasi Mekanik

Ventilasi Mekanik adalah terapi pernapasan yang diberikan melalui alat ventilator untuk membantu atau menggantikan fungsi bernapas seseorang yang secara mandiri tidak mampu melakukan pertukaran gas dengan efektif (Hickey & Giwa, 2022). Secara praktis, ventilasi mekanik dapat bersifat invasif maupun non-invasif. Versi invasif melibatkan pemasangan selang (endotrakeal atau trakeostomi) ke saluran napas lalu menghubungkannya ke mesin yang mendorong udara bertekanan ke dalam paru-paru pasien. Tujuannya bukan hanya memberikan oksigen, tetapi juga memastikan pengeluaran karbon dioksida, menjaga agar alveoli tetap terbuka, dan mengurangi kerja pernapasan tubuh pasien (Walter, 2021).

2.1.1.2 Indikasi Penggunaan Ventilasi Mekanik

Indikasi penggunaan ventilasi mekanik meliputi beberapa kondisi klinis yang memerlukan dukungan ventilasi aktif karena sistem pernapasan pasien tidak mampu mempertahankan fungsi secara mandiri. Indikasi utama penggunaan ventilasi mekanik adalah pada kondisi gagal napas, dimana pasien mengalami kesulitan bernapas yang berat dan tidak cukup diatasi hanya dengan pemberian oksigen. Gagal napas ini bisa disebabkan oleh kerusakan langsung pada paru-paru seperti pneumonia, edema paru, atau *Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS), maupun karena kelemahan otot pernapasan akibat penyakit

neuromuskuler atau gangguan sistem saraf pusat yang menyebabkan gangguan pada pusat pernapasan (Bhakti, 2024).

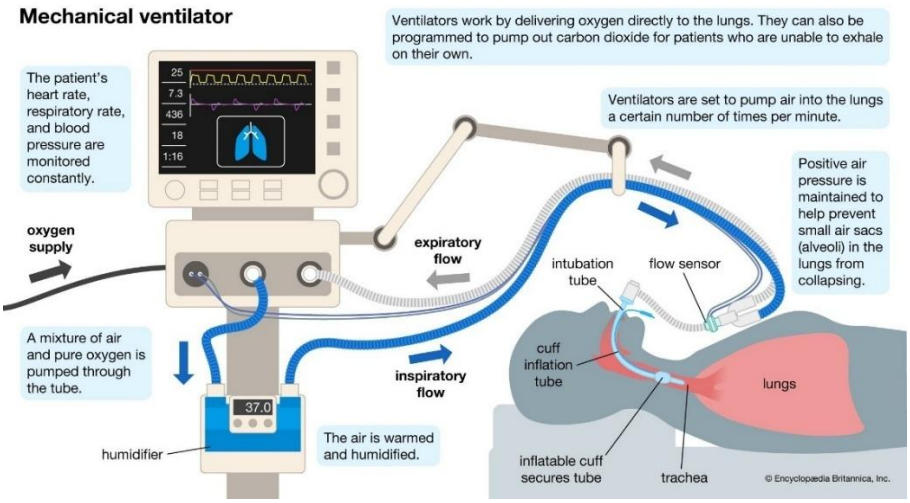
Selanjutnya, pasien yang membutuhkan perlindungan jalan napas, misalnya karena penurunan kesadaran atau risiko aspirasi, juga termasuk indikasi penggunaan ventilasi mekanis. Selain itu, kondisi serius seperti serangan jantung mendadak, syok kardiogenik, atau gagal jantung yang kelemahannya menimbulkan otot pernapasan dan menambah beban kerja jantung, juga memerlukan bantuan ventilator untuk mengurangi beban sistem kerja pernapasan dan jantung (Hickey & Giwa, 2022).

Selain itu, ventilasi mekanik juga digunakan selama operasi besar yang memerlukan anestesi umum, di mana fungsi pernapasan pasien dikontrol secara penuh. Secara umum, ventilasi mekanik memberikan dukungan pernapasan yang vital untuk menstabilkan gas dalam paru, memperbaiki oksigenasi, mengatasi hiperkapnia, dan mengurangi kerja pernapasan hingga kondisi pasien memungkinkan untuk bernapas secara mandiri kembali (Hickey & Giwa, 2022).

2.1.1.3 Prinsip Kerja Ventilasi Mekanik

Prinsip kerja ventilasi mekanik didasarkan pada penggunaan tekanan positif untuk membantu atau menggantikan fungsi pernapasan pada pasien yang mengalami kesulitan bernapas atau gagal napas. Dalam keadaan normal, manusia bernapas dengan menciptakan tekanan negatif di dalam rongga dada melalui kontraksi otot diafragma dan otot antar tulang rusuk, sehingga udara masuk ke paru-paru. Namun, pada pasien dengan gangguan pernapasan berat, mekanisme alami ini tidak efektif. Oleh karena itu, ventilator digunakan untuk menghasilkan tekanan

positif yang mendorong udara ke dalam paru-paru secara terkontrol (Prasad & Patil, 2022).



Gambar 2.1 Mechanical Ventilator

Sumber: (Rosenfeld, 2025)

Ventilator modern bekerja melalui sistem yang dikendalikan secara elektronik dan mekanis untuk memastikan aliran udara masuk (inspirasi) dan keluar (ekspirasi) sesuai kebutuhan pasien. Saat fase inspirasi, mesin menciptakan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan tekanan di dalam paru (tekanan intrapulmoner), sehingga udara terdorong masuk, mengembang-kan alveoli, dan meningkatkan proses oksigenasi darah. Ketika fase inspirasi selesai, tekanan di dalam sistem menurun secara otomatis, sehingga udara keluar secara pasif melalui elastisitas paru dan dinding dada. Proses ini meniru mekanisme pernapasan alami tubuh, namun dengan bantuan tekanan buatan dari mesin ventilator (Bhakti, 2024).

Dalam penerapannya, ventilator memiliki beberapa mode operasi yang dapat disesuaikan dengan kondisi pasien. Mode berbasis volume memastikan jumlah udara (volume tidal) yang masuk ke paru tetap konstan, sedangkan mode berbasis tekanan menjaga agar tekanan yang diberikan stabil sementara volume

udara dapat bervariasi tergantung elastisitas paru pasien. Selain itu, terdapat *mode assist-control* (A/C) yang memberikan napas buatan sesuai usaha pasien, serta mode seperti *Continuous Positive Airway Pressure* (CPAP) dan *Bilevel Positive Airway Pressure* (BiPAP) yang digunakan untuk menjaga tekanan saluran napas tetap positif sepanjang siklus napas (Hickey & Giwa, 2022).

Setiap ventilator juga memiliki pengaturan penting seperti kecepatan aliran udara (*flow rate*), rasio inspirasi-ekspirasi (I:E *ratio*), serta tingkat sensitivitas pemicu untuk memastikan sinkronisasi antara mesin dan napas pasien. Pengaturan ini membantu tenaga medis menyesuaikan dukungan ventilasi bagi pasien yang sadar maupun tidak sadar, serta meminimalkan risiko komplikasi seperti barotrauma dan volutrauma (P. L. Silva & Rocco, 2018). Dengan demikian, prinsip kerja ventilasi mekanik tidak hanya berfokus pada pengiriman udara bertekanan, tetapi juga mencakup sistem pengaturan yang kompleks untuk mempertahankan pertukaran gas yang optimal, mengurangi beban kerja otot pernapasan, dan menjaga kestabilan fisiologis pasien. Pemahaman terhadap prinsip ini menjadi dasar penting bagi tenaga medis dalam menentukan mode ventilasi yang sesuai, mencegah komplikasi, serta memfasilitasi proses pemulihan pasien secara aman dan efektif (Tol & Palmer, 2010).

2.1.1.4 Jenis-Jenis Ventilasi Mekanik

1. Ventilasi berbasis volume (*Volume-Controlled Ventilation*, VCV)

   Pada mode ini, mesin ventilator menyuplai udara dalam volume tidal yang telah ditetapkan secara tetap untuk setiap napas. Artinya, setiap siklus inspirasi akan menghasilkan jumlah udara yang sama, tanpa memperhitungkan perubahan elastisitas paru atau hambatan jalan napas pasien. Karena kontrol utamanya

adalah volume, tekanan di jalan napas bisa berubah-ubah tergantung kondisi paru pasien. Mode ini sering dipilih saat pasien belum memiliki usaha napas sendiri yang memadai atau kondisi paru masih sangat tidak stabil, karena memberikan ventilasi yang terprediksi dari segi volume (Hickey & Giwa, 2022).

2. Ventilasi berbasis tekanan (*Pressure-Controlled Ventilation*, PCV)

   Pada mode ini, tekanan inspirasi maksimal telah ditetapkan, dan ventilator memberikan udara sampai mencapai tekanan tersebut dalam tiap siklus inspirasi. Volume tidal bisa bervariasi tergantung elastisitas paru dan resistensi saluran napas pasien. Karena tekanan dikontrol, risiko tekanan tinggi di paru (barotrauma) bisa lebih rendah dibanding mode volume. Mode ini cocok pada pasien dengan paru yang sangat kaku (misalnya ARDS) atau ketika kita ingin membatasi tekanan maksimal di sistem pernapasan (Hickey & Giwa, 2022).

3. *Assist/Control* (A/C) atau *Continuous Mandatory Ventilation* (CMV)

   Dalam mode A/C atau CMV, ventilator memberikan napas *mandatory* (terjadwal) dengan volume atau tekanan yang telah dipilih, dan juga memungkinkan pasien memicu napas tambahan yang kemudian diberikan oleh mesin. Dengan demikian, kontrol bisa berbasis volume atau tekanan. Mode ini digunakan saat pasien masih sangat tergantung pada mesin, baik karena usaha napas sendiri belum memadai atau kita menginginkan ventilasi penuh (Hickey & Giwa, 2022).

4. *Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation* (SIMV)

   SIMV adalah mode dimana ventilator memberikan jumlah napas *mandatory* pada frekuensi yang telah ditetapkan, namun pasien juga diperbolehkan melakukan napas spontan di antara napas-mandatori tersebut. Mesin berusaha

mensinkronisasi napas spontan dengan bantuan tekanannya agar tidak terjadi asinkroni. Mode ini sering digunakan dalam fase *weaning*, yaitu saat pasien mulai bisa bernafas sendiri sebagian dan kita mulai mengurangi bantuan mesin secara bertahap (Hickey & Giwa, 2022).

5. *Pressure Support Ventilation* (PSV)

   Pada mode ini, pasien memicu setiap napas sendiri, dan ventilator hanya memberikan dukungan tekanan untuk membantu inspirasi (bukan memaksa volume/tekanan tetap secara penuh). Karena pasien masih harus melakukan sebagian usaha bernapas, mode ini cocok untuk pasien yang sudah mulai dapat bernapas sendiri namun masih memerlukan dukungan. Mode ini membantu mengurangi kerja otot pernapasan pasien dan memfasilitasi transisi ke bernapas sepenuhnya mandiri (Hickey & Giwa, 2022).

6. *Non-Invasive Ventilation* (NIV) dan mode lain seperti CPAP / BiPAP

   Selain mode invasif (intubasi/trakeostomi), ada ventilasi mekanik non-invasif yang menggunakan masker atau antarmuka luar, seperti *Continuous Positive Airway Pressure* (CPAP) atau *Bilevel Positive Airway Pressure* (BiPAP*). Non-invasive mode* ini sering digunakan pada pasien dengan kegagalan napas ringan hingga sedang, atau sebagai jembatan sebelum intubasi penuh atau setelah ekstubasi (Hickey & Giwa, 2022).

2.1.1.5 Parameter Utama Ventilasi Mekanik

Pada ventilasi mekanik, ada beberapa parameter kunci yang harus disetel oleh tim medis untuk menyesuaikan dengan kebutuhan pasien. Berikut di antaranya (P. L. Silva & Rocco, 2018) :

1. Volume tidal (V_t)

Jumlah udara yang diberikan mesin dalam satu siklus napas. Nilainya sering diatur berdasarkan berat badan ideal pasien (misalnya 6-8 mL/kg pada pasien dengan ARDS).

2. Laju napas (*Respiratory Rate*, RR)

   Jumlah napas yang diberikan ventilator per menit. Digunakan untuk mencapai ventilasi menit yang sesuai.

3. Fraksi oksigen yang dihirup (FiO_2)

   Persentase oksigen dalam gas yang diberikan. Digunakan untuk memenuhi kebutuhan oksigenasi.

4. *Positive End-Expiratory Pressure* (PEEP)

   Tekanan positif yang dipertahankan di akhir ekspirasi agar alveoli tetap terbuka dan mencegah kolaps.

5. Rasio Inspirasi terhadap Ekspirasi (rasio I:E)

   Mengatur kecepatan udara masuk dan perbandingan durasi antara inspirasi dan ekspirasi. Contohnya, I:E = 1:2 atau 1:3.

2.1.1.6 Faktor yang Mempengaruhi Lama Penggunaan Ventilasi Mekanik

Durasi ventilasi mekanis dipengaruhi oleh berbagai faktor yang mencerminkan kondisi pasien dan protokol tatalaksana klinis. Diagnosis awal atau alasan yang mendasari dimulainya ventilasi mekanis merupakan salah satu penentu terkuat dimana penyakit yang menyebabkan gagal napas berat seperti pneumonia, ARDS, atau gangguan neuromuskular seringkali memerlukan durasi ventilasi yang lebih lama. Komplikasi yang timbul selama ventilasi, seperti pneumonia terkait ventilator atau infeksi lainnya, juga dapat memperpanjang kebutuhan akan dukungan ventilasi (Sumarlan et al., 2022). Status gizi juga memainkan peran

penting dimana malnutrisi telah terbukti berkorelasi dengan periode ventilasi mekanis yang lebih lama, menekankan pentingnya dukungan nutrisi dini dan adekuat pada pasien kritis. Kondisi hipoalbuminemia/malnutrisi juga mengurangi massa serta kontraktilitas diafragma, memperburuk kemampuan ventilasi spontan saat *weaning* (Amir et al., 2025). Demikian pula, faktor prosedural dan manajemen perawatan juga memiliki peran penting. Contohnya, penundaan dalam memulai SBT atau bangun dari sedasi (*spontaneous awakening trial, SAT*) dapat menghambat proses mengurangi dukungan ventilator sehingga memperpanjang waktu (Roberts et al., 2024).

Selain itu, faktor-faktor lain yang berkontribusi meliputi usia lanjut dan komorbid (mis. PPOK, gagal jantung, penyakit ginjal) menurunkan cadangan fisiologis, melemahkan otot napas, dan memperlambat pemulihan sehingga kebutuhan dukungan ventilasi mekanik lebih lama. Studi *weaning* pada pasien ventilasi berkepanjangan menunjukkan usia tua, skor keparahan lebih tinggi, gangguan ginjal, dan hipoalbuminemia memprediksi kegagalan *weaning*/lamanya ventilasi mekanik (Amir et al., 2025). Faktor keparahan penyakit juga berkontribusi dalam durasi ventilasi mekanik dimana semakin berat penyakit dasar (tinggi APACHE II/SOFA), semakin besar kebutuhan oksigen/ventilasi, sedasi, dan intervensi lain yang menunda *liberation*. Sepsis dan kegagalan multiorgan meningkatkan metabolisme, kerja napas, serta risiko delirium/kelemahan ICU, sehingga memperpanjang durasi ventilasi mekanik (P. Huang, 2025).

2.1.2 Lama Penggunaan Ventilasi Mekanik

Lama penggunaan ventilasi mekanik merupakan salah satu aspek penting dalam perawatan pasien ICU karena berkaitan erat dengan proses pemulihan dan

risiko terjadinya komplikasi. Durasi ventilasi mekanik dapat bervariasi antar pasien, tergantung pada kondisi klinis, penyakit yang mendasari, serta praktik perawatan di ICU. Dalam konteks klinis, lama penggunaan ventilasi mekanik umumnya mengacu pada waktu sejak pasien dilakukan intubasi dan mendapatkan ventilasi mekanik hingga dilakukan evaluasi kesiapan *weaning*.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa rata-rata pasien dewasa menggunakan ventilasi mekanik selama beberapa hari sebelum memenuhi kriteria kesiapan *weaning*. Studi observasional modern melaporkan bahwa durasi ventilasi mekanik pada pasien ICU umumnya berada pada rentang 4–10 hari, tergantung pada kondisi penyakit dan respons pasien terhadap terapi (Koulenti et al., 2019; Papazian et al., 2020). Pasien dengan kondisi klinis stabil cenderung menunjukkan perbaikan fungsi pernapasan lebih cepat, sehingga dapat menjalani proses *weaning* dalam waktu yang relatif singkat.

Sebaliknya, pada pasien dengan gangguan pernapasan berat seperti *Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS), pneumonia berat, atau sepsis, durasi penggunaan ventilasi mekanik dapat berlangsung lebih lama, bahkan melebihi 10 hari. Hal ini disebabkan oleh proses penyembuhan yang lebih lambat serta adanya komplikasi tambahan yang dapat memperburuk fungsi paru dan menunda kesiapan *weaning* ventilator (Hazard et al., 2020).

Selain itu, durasi dari intubasi hingga inisiasi *weaning* bervariasi, tetapi seringkali dimulai dalam beberapa hari setelah stabilisasi, tergantung pada status pernapasan pasien. Waktu antara intubasi hingga mulai proses *weaning* biasanya sekitar 4–7 hari, tergantung pada kecepatan perbaikan kondisi pasien. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jika rumah sakit menggunakan protokol *weaning*

yang baik, maka waktu ini bisa lebih singkat bahkan lebih cepat 1 hari dibandingkan rumah sakit yang tidak memakai protokol tersebut (Hazard et al., 2020).

Tabel 2.1 Rata-rata Durasi Ventilasi Mekanik

Tahapan	Rata-rata Durasi	Keterangan
Penggunaan ventilator secara umum	4–10 hari	Tergantung penyakit dan respon pasien
Dari intubasi hingga mulai *weaning*	4–7 hari	Lebih cepat bila protokol *weaning* diterapkan
Dari intubasi hingga ekstubasi	8–12 hari	Dapat lebih lama bila terjadi komplikasi

Sumber (Koulenti et al., 2019; Hazard et al., 2020)

2.1.3 Proses Perbaikan Kondisi Pasien

2.1.3.1 Pengertian Proses Perbaikan Pasien yang Terpasang Ventilasi Mekanik

Proses perbaikan pada pasien yang dirawat di ruang ICU dan terpasang ventilator mekanik merupakan tahapan pemulihan fungsi fisiologis tubuh, khususnya sistem pernapasan, setelah sebelumnya mengalami gangguan atau kegagalan napas yang mengharuskan penggunaan alat bantu pernapasan. Secara sederhana, proses ini menggambarkan perubahan kondisi pasien dari ketergantungan penuh pada mesin ventilator menuju kemampuan bernapas secara mandiri (Fadila et al., 2022b).

2.1.3.2 *Weaning* dan Kaitannya dengan Proses Perbaikan Kondisi

Weaning mengacu pada proses bertahap pengurangan dan penghentian dukungan ventilasi mekanis seiring dengan membaiknya kondisi pernapasan pasien. Proses ini melibatkan pemindahan kerja pernapasan secara progresif dari ventilator kembali ke otot-otot pernapasan pasien sendiri. Proses ini dimulai setelah penyakit yang mendasari yang memerlukan ventilasi mulai membaik dan pasien

menunjukkan kesiapan untuk mempertahankan pernapasan spontan (Fadila et al., 2022b).

Weaning biasanya ditandai dengan mengurangi bantuan ventilator secara bertahap, seperti menurunkan tekanan atau memberikan napas wajib, sambil memantau secara ketat upaya pernapasan, oksigenasi, dan stabilitas klinis pasien secara keseluruhan. Berbagai tes, seperti uji pernapasan spontan, membantu menilai apakah pasien dapat mempertahankan pertukaran gas dan fungsi pernapasan yang memadai tanpa bantuan ventilator. Tujuan penyapihan adalah untuk memungkinkan ekstubasi, yaitu pelepasan jalan napas buatan, dengan aman, dengan risiko minimal gagal napas atau reintubasi. *Weaning* dapat dilakukan langsung dan selesai setelah penilaian pertama, atau mungkin memerlukan beberapa hari atau minggu. Keberhasilan diukur berdasarkan kemampuan pasien untuk bernapas secara mandiri tanpa tanda-tanda distres, hipoksia, atau hiperkapnia, serta status kardiovaskular dan neurologis yang stabil (Fadila et al., 2022b).

2.1.3.3 Indikator/Parameter *Weaning*

Weaning ventilator adalah proses bertahap atau langsung dalam melepaskan pasien dari dukungan ventilator mekanik setelah kondisi klinis memungkinkan. Proses ini memerlukan evaluasi menyeluruh terhadap kesiapan pasien melalui berbagai parameter klinis untuk memastikan keberhasilan dan menghindari komplikasi akibat ekstubasi dini atau keterlambatan. Indikator utama yang digunakan untuk menilai kesiapan *weaning* meliputi (Huang et al., 2014; American Association for Respiratory Care, 2024)

1. Peningkatan GCS

   GCS adalah instrumen standar untuk menilai tingkat kesadaran pasien. Dalam konteks *weaning*, peningkatan skor GCS (seringkali GCS > 8 atau pasien *alert* dan kooperatif) mengindikasikan perbaikan status neurologis yang memadai. Status kesadaran yang baik merupakan prasyarat penting karena berkaitan langsung dengan kemampuan pasien untuk melindungi jalan napasnya, mempertahankan refleks batuk yang efektif, dan mengelola sekresi trakeobronkial pasca-ekstubasi. Kesadaran yang optimal memastikan pasien mampu berpartisipasi dalam proses pernapasan spontan, sehingga mengurangi risiko aspirasi dan kegagalan pernapasan.

2. Status Oksigenasi

   Kondisi oksigenasi pasien dinilai melalui beberapa parameter, yaitu :

   a. Fraksi inspirasi oksigen (FiO_2 / *Fraction of Inspired Oxygen*) yang idealnya ≤40%
   b. RSBT <200/mm/L
   c. Volume tidal <10
   d. PEEP (*Positive End-Expiratory Pressure*) antara ≤5–8 cmH_2O
   e. Saturasi oksigen (SpO_2) minimal ≥ 90%
   f. Frekuensi pernapasan (RR) dalam rentang <35 kali per menit.

      Rentang ini mencerminkan kemampuan paru untuk melakukan pertukaran gas yang efisien tanpa ketergantungan besar pada dukungan ventilatortidak ada gangguan asam-basa yang signifikan, yang dapat mempengaruhi fungsi pernapasan.

3. Hemodinamik Stabil

   Stabilitas hemodinamik didefinisikan sebagai fungsi kardiovaskular yang terjaga tanpa gangguan signifikan. Kriteria ini meliputi denyut jantung (HR), tekanan darah TD, dan ritme jantung. Stabilitas yang diperlukan adalah:

   a. Tidak adanya syok atau iskemia miokard aktif.
   b. Tekanan darah sistolik 90-180 mmHg
   c. *Mean Arterial Pressure* (MAP) 60-20 mmHg
   d. HR <140x/menit
   e. Kebutuhan akan obat vasoaktif (vasopresor/inotropik) harus minimal atau tidak ada sama sekali. Penggunaan dosis minimal menunjukkan bahwa sistem sirkulasi pasien dapat mendukung peningkatan kebutuhan metabolik dan beban kerja otot pernapasan yang terjadi selama *weaning* tanpa kolaps sirkulasi.

4. Suhu Tubuh

   Suhu tubuh dalam batas normal atau kondisi afebril <38°C diperlukan karena demam meningkatkan laju metabolisme dan konsumsi oksigen tubuh (termasuk otot pernapasan). Peningkatan kebutuhan oksigen akibat demam dapat memperberat beban kerja pernapasan spontan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kelelahan otot pernapasan dan kegagalan *weaning*.

5. Hemoglobin

   Kadar hemoglobin yang memadai (Hb >8/dL) merupakan indikator penting dari kapasitas pengangkutan oksigen darah. Anemia signifikan (Hb rendah) mengurangi kemampuan darah untuk mendistribusikan oksigen yang cukup ke jaringan, termasuk ke otot-otot pernapasan. Selama *weaning*, otot-otot

pernapasan bekerja lebih keras, sehingga kebutuhan oksigen meningkat. Oleh karena itu, kadar Hb yang cukup diperlukan untuk mencegah hipoksia jaringan dan kelelahan otot pernapasan, yang dapat menjadi penyebab kegagalan *weaning*.

6. Analisa Gas Darah Arteri (AGD)

   Nilai gas darah arteri juga merupakan indikator kunci, dengan PaO_2 minimal 60 mmHg yang menunjukkan saturasi oksigen optimal di jaringan. $PaCO_2$ normal antara 35–45 mmHg mengindikasikan kemampuan ventilasi yang cukup untuk mengeluarkan karbon dioksida. Sedangkan pH 7.35–7.45 menunjukkan keseimbangan asam-basa yang stabil, yang esensial untuk fungsi seluler dan sistem pernapasan.

7. Uji Pernapasan Spontan (*Spontaneous Breathing Trial*/SBT)

   SBT adalah tahap penilaian kritis di mana pasien menjalani fase pernapasan mandiri tanpa dukungan ventilator selama 30 menit hingga 2 jam. Keberhasilan SBT menandakan kesiapan pasien untuk dilakukan ekstubasi secara aman.

2.1.3.4 Faktor yang Mempengaruhi Keberhasilan *Weaning*

Proses *weaning* atau penghentian bertahap dari ventilasi mekanik merupakan tahap kritis dalam perawatan pasien di unit perawatan intensif (ICU). Keberhasilan *weaning* dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, baik dari aspek fisiologis, klinis, maupun faktor eksternal. Secara akademik, faktor-faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut (Amir et al., 2025; P. Huang, 2025):

1. Status respirasi dan fungsi paru

   Kemampuan pasien untuk bernapas secara spontan menjadi faktor utama dalam keberhasilan *weaning*. Parameter seperti *tidal volume*, frekuensi napas, dan

nilai *Rapid Shallow Breathing Index (RSBI)* digunakan untuk menilai kesiapan. RSBI <105 kali/menit/L menandakan pasien siap untuk *weaning*. Selain itu, kepatuhan paru yang baik dan hambatan jalan napas yang rendah juga memperlancar proses ini.

2. Status Kardiovaskular

   Fungsi jantung yang stabil penting agar pasien mampu mempertahankan ventilasi spontan. Gangguan seperti hipotensi, aritmia, atau penyakit jantung dapat menghambat *weaning* karena meningkatkan beban kerja jantung.

3. Status Neurologis dan Kesadaran

   Pasien harus sadar dan mampu berpartisipasi dalam proses *weaning*. Refleks batuk dan menelan yang baik penting untuk mencegah aspirasi. Sedasi berlebihan atau gangguan saraf dapat memperlambat proses pelepasan ventilator.

4. Keseimbangan asam-basa dan metabolic

   Ketidakseimbangan elektrolit seperti rendahnya kadar fosfat, kalium, atau magnesium, serta gangguan asam-basa dapat melemahkan otot pernapasan. Kondisi ini perlu diperbaiki sebelum *weaning* dilakukan.

5. Status nutrisi dan kekuatan otot

   Nutrisi yang baik penting untuk menjaga kekuatan otot pernapasan. Malnutrisi dapat menyebabkan kelemahan otot diafragma, sehingga meningkatkan risiko kegagalan *weaning*.

6. Infeksi dan kondisi klinis umum

Infeksi seperti pneumonia atau sepsis meningkatkan kebutuhan oksigen dan memperberat kerja pernapasan. Pasien perlu dalam kondisi klinis yang stabil sebelum ventilator dilepaskan.

7. Dukungan dan strategi *weaning*

Keberhasilan *weaning* juga dipengaruhi oleh metode yang digunakan, seperti *Spontaneous Breathing Trial (SBT)* atau *Pressure Support Ventilation (PSV)*. Pendekatan yang disesuaikan dengan kondisi pasien dan pemantauan yang baik terbukti meningkatkan keberhasilan serta menurunkan risiko reintubasi.

2.2 Kerangka Berfikir

		Variabel X		**Variabel Y**
Faktor yang Mempengaruhi Lama Ventilasi	→	Lama Ventilasi Mekanik		Proses Perbaikan Pasien
		↓		↓
		Durasi penggunaan ventilator menggambarkan tingkat keparahan		Indikator *Weaning* (GCS, Oksigenasi, Hemodinamik, TTV, Hb) AGD dan SBT
		↓		↓
		Lama ventilasi mekanik mempengaruhi kecepatan pemulihan pasien		Perbaikan terjadi bila fungsi fisiologis mulai stabil dan siap lepas ventilator
		↓		↓
		Hubungan Lama Ventilasi Mekanik dengan Proses Perbaikan Pasien		

Bagan 2.1 Kerangka Berfikir
Sumber: (Figueroa-Casas et al., 2014; Hazard et al., 2020; Hickey & Giwa, 2022)

2.3 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian merupakan sebuah jawaban yang bersifat sementara terhadap rumusan masalah pada penelitian, maka dari itu rumusan masalah penelitian umumnya disusun berbentuk kalimat tanya (Sugiyono, 2019).

Perumusan hipotesis dalam penelitian ini adalah :

H_a : Terdapat hubungan lama penggunaan ventilasi mekanik dengan proses perbaikan pasien di ruang ICU RSUD Majalaya.