

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Pasien ICU dengan Ventilator

2.1.1 Pengertian Intensive Care Unit (ICU)

ICU (Intensive Care Unit) merupakan area pelayanan rumah sakit yang dirancang untuk merawat pasien dengan kondisi mengancam nyawa yang memerlukan pemantauan ketat dan dukungan organ tingkat lanjut (Apui et al., 2023). Pelayanan ICU ditandai oleh ketersediaan sumber daya dan kompetensi klinis untuk mempertahankan fungsi vital melalui intervensi yang cepat dan terukur. Pasien kritis umumnya membutuhkan dukungan seperti ventilasi mekanik, terapi vasoaktif, serta penatalaksanaan gangguan perfusi dan metabolik secara intensif (Schell et al., 2023). Dalam konteks ini, ICU berperan sebagai sistem perawatan terorganisasi yang menekankan stabilisasi fisiologis dan pencegahan perburukan fungsi organ. Fokus ICU pada dukungan organ dan pemantauan lanjutan memperjelas alasan parameter ventilasi-oksigenasi menjadi indikator penting dalam evaluasi klinis.

ICU juga dipahami sebagai lingkungan dengan kebutuhan pengambilan keputusan berbasis data fisiologis yang diperoleh melalui pemantauan invasif maupun noninvasif. Pemantauan tersebut mencakup aspek hemodinamik, respirasi, dan status neurologis untuk menilai respons pasien terhadap terapi serta mendeteksi perubahan kondisi secara dini (Herawati et al., 2024). Keberadaan perangkat pemantauan memungkinkan klinisi menyesuaikan strategi dukungan organ, termasuk pengaturan ventilasi, secara dinamis sesuai kebutuhan pasien. Dalam

praktiknya, pasien ICU sering memerlukan kolaborasi multiprofesi yang terintegrasi karena masalah klinis yang kompleks dan cepat berubah (Elysyah & Fridalni, 2024). Oleh karena itu, ICU menjadi konteks yang relevan untuk penelitian yang menilai perubahan PCO_2 dan SpO_2 sebagai luaran fisiologis dari suatu intervensi.

2.1.2 Karakteristik Pasien ICU dengan Ventilator

Pasien ICU umumnya memiliki derajat keparahan penyakit tinggi yang ditandai oleh ketidakstabilan fisiologis dan risiko kegagalan organ. Kondisi kritis dapat berawal dari berbagai penyakit dasar, tetapi manifestasi klinisnya sering berupa kebutuhan dukungan organ dan pemantauan berkelanjutan (Goligher et al., 2022). Pasien juga kerap mengalami fluktuasi hemodinamik, gangguan metabolik, serta perubahan status respirasi yang membutuhkan evaluasi berkala (Ferrer et al., 2025). Dalam konteks respirasi, pasien ICU dengan kegagalan napas sering membutuhkan dukungan ventilasi untuk mempertahankan pertukaran gas yang memadai. Kompleksitas kondisi ini menjadikan luaran seperti PCO_2 dan SpO_2 penting untuk menilai stabilitas ventilasi dan oksigenasi selama perawatan.

Karakteristik lain yang menonjol pada pasien ICU adalah tingginya kebutuhan sedasi, analgesia, dan tata laksana delirium/immobilitas, terutama pada pasien dengan ventilator. Sedasi dan analgesia diperlukan untuk kenyamanan, keselamatan terapi, serta mencegah ketidaksinkronan pasien–ventilator, namun pemberian berlebihan dapat menghambat pemulihan napas spontan dan mobilisasi (Alruwaili et al., 2024). Pasien ICU juga rentan mengalami kelemahan didapat di ICU (ICU-acquired weakness) akibat

inflamasi sistemik dan imobilisasi berkepanjangan, yang berkontribusi pada pemanjangan durasi ventilasi dan rehabilitasi (Hanafi, 2025). Kondisi tersebut dapat menurunkan kapasitas ventilasi efektif dan memengaruhi keberhasilan pemulihan fungsi paru. Dengan demikian, intervensi yang menggabungkan dukungan respirasi dan mobilisasi dini menjadi relevan untuk menargetkan masalah khas pasien ICU.

2.1.3 Tujuan Penggunaan Ventilator

Ventilator mekanik digunakan untuk memberikan dukungan ventilasi ketika pasien tidak mampu mempertahankan ventilasi atau oksigenasi yang adekuat secara mandiri. Tujuannya meliputi koreksi hipoksemia, pencegahan atau perbaikan hiperkapnia, penurunan kerja napas, serta stabilisasi pertukaran gas pada kegagalan napas (Phua et al., 2020). Ventilasi juga dipakai untuk mempertahankan jalan napas dan memastikan ventilasi yang terkontrol pada pasien dengan penurunan kesadaran atau ketidakmampuan proteksi jalan napas. Pada tataran klinis, tujuan tersebut diwujudkan melalui pengaturan parameter seperti volume tidal, frekuensi napas, FiO_2 , dan PEEP sesuai kondisi pasien (Mahlab-guri et al., 2020). Kerangka tujuan ini mendasari pemilihan PCO_2 dan SpO_2 sebagai indikator langsung keberhasilan dukungan ventilasi dan oksigenasi.

Selain menunjang pertukaran gas, ventilasi mekanik juga ditujukan untuk mencegah perburukan cedera paru melalui strategi protektif dan pengendalian interaksi pasien–ventilator (Menges et al., 2021). Pengaturan ventilator yang tepat berupaya meminimalkan risiko ventilator-induced lung injury sekaligus menjaga stabilitas hemodinamik, sehingga tata kelola

ventilasi tidak hanya “menambah oksigen”, tetapi mengelola mekanika paru secara aman. Dalam praktik ICU, penyelarasan antara kebutuhan fisiologis pasien dan mode ventilasi menjadi penting karena ketidaksesuaian dapat memicu asinkroni dan meningkatkan beban respirasi (Nurhayati et al., 2023). Oleh sebab itu, strategi ventilasi menuntut pemahaman fisiologi pernapasan dan evaluasi respons pasien yang berkelanjutan. Penilaian luaran PCO_2 dan SpO_2 dapat memberi gambaran apakah tujuan ventilasi tercapai dalam bentuk ventilasi efektif dan oksigenasi yang stabil.

2.1.4 Dampak Fisiologi Ventilator terhadap Sistem Pernapasan

Ventilasi mekanik mengubah pola ventilasi fisiologis dengan memberikan tekanan positif yang memengaruhi distribusi udara di paru. Pemberian PEEP dapat meningkatkan rekrutmen alveoli dan memperbaiki oksigenasi, tetapi juga berpotensi meningkatkan tekanan intratoraks dan memengaruhi perfusi paru jika tidak dititrasi dengan tepat (Costa et al., 2025). Pengaturan volume tidal dan tekanan inspirasi memengaruhi risiko overdistensi alveoli maupun derekrutmen, sehingga berdampak pada efisiensi pertukaran gas. Interaksi parameter tersebut dapat mengubah rasio ventilasi–perfusi (V/Q) yang merupakan determinan utama oksigenasi dan pembuangan CO_2 (Moradi-azhgil & Sayadi, 2024). Oleh karena itu, perubahan PCO_2 dan SpO_2 pada pasien ventilator dapat dipahami sebagai hasil dari perubahan ventilasi alveolar efektif dan dinamika V/Q .

Ventilasi mekanik juga memengaruhi kerja napas dan pola napas spontan pasien, terutama ketika sedasi, kontrol mode ventilasi, atau asinkroni terjadi. Ketika napas pasien tidak selaras dengan ventilator, dapat terjadi

peningkatan kerja napas, ketidaknyamanan, dan variasi ventilasi menit yang berdampak pada eliminasi CO_2 (Yang et al., 2025). Sebaliknya, kontrol ventilasi yang terlalu ketat disertai sedasi berlebihan dapat menurunkan kontribusi napas spontan dan menghambat weaning, sehingga memperpanjang paparan risiko komplikasi. Dalam konteks fisiologi, ventilasi menit dan ventilasi alveolar merupakan penentu utama tekanan parsial CO_2 , sehingga perubahan kecil pada ventilasi efektif dapat berimplikasi pada PCO_2 (Hall & Hall, 2025). Dampak ini menjelaskan mengapa intervensi yang membantu optimasi ventilasi (misalnya fisioterapi respirasi) dan meningkatkan toleransi aktivitas (mobilisasi dini) layak dievaluasi menggunakan PCO_2 dan SpO_2 .

2.1.5 Risiko Komplikasi Pada Pasien Ventilator

Pasien dengan ventilator berisiko mengalami komplikasi respirasi seperti hipoventilasi dan hiperkapnia akibat ventilasi alveolar yang tidak adekuat atau peningkatan dead space. Ketidakseimbangan ventilasi-perfusi dapat menyebabkan hipoksemia yang tercermin pada penurunan saturasi oksigen, terutama pada kondisi seperti ARDS dan atelectasis (Telias et al., 2022). Atelectasis mengurangi area pertukaran gas yang efektif sehingga dapat memperburuk kebutuhan oksigen dan memperpanjang ketergantungan pada ventilator. Selain itu, penumpukan sekret dan mucus plugging dapat menghambat aliran udara, meningkatkan resistensi jalan napas, serta mengganggu ventilasi efektif (Nwose et al., 2024). Pola komplikasi ini mendukung perlunya intervensi yang menargetkan

rekrutmen alveoli dan pembersihan sekret untuk memperbaiki PCO_2 dan SpO_2 .

Komplikasi infeksi seperti ventilator-associated pneumonia (VAP) juga merupakan risiko penting pada pasien yang mendapatkan ventilasi mekanik, dengan dampak terhadap lama ventilasi, lama rawat ICU, dan luaran klinis (Slobod et al., 2023). Bukti sintesis menunjukkan VAP terjadi pada proporsi yang bermakna pada pasien ventilator dan berkaitan dengan faktor keparahan penyakit serta karakteristik pasien. Infeksi dan inflamasi paru dapat memperburuk gangguan V/Q serta meningkatkan kebutuhan ventilasi dan oksigenasi, yang pada akhirnya memengaruhi parameter seperti SpO_2 (Li et al., 2024). Di sisi lain, imobilisasi berkepanjangan pada pasien ICU turut meningkatkan risiko kelemahan didapat di ICU yang dapat menghambat pemulihan fungsi napas dan memperlama penggunaan ventilator. Karena itu, kombinasi pendekatan respirasi dan mobilisasi dini relevan sebagai strategi untuk mengurangi dampak komplikasi serta memperbaiki status fisiologis pasien.

2.1.6 Faktor yang Mempengaruhi Fungsi Respirasi Pada Pasien ICU dengan Vnetilator

Faktor Predisposisi

Faktor predisposisi merupakan karakteristik individu atau kondisi yang telah ada sebelumnya dan meningkatkan kerentanan terhadap gangguan kesehatan. Pada pasien ICU, faktor predisposisi berkaitan dengan kondisi demografis dan klinis yang memengaruhi cadangan fisiologis sistem pernapasan. Faktor ini tidak secara langsung

menimbulkan gangguan respirasi, namun meningkatkan risiko terjadinya perubahan fungsi respirasi saat pasien terpapar stresor seperti ventilasi mekanik. Cadangan fungsi paru yang rendah akan mempercepat terjadinya ketidakseimbangan ventilasi dan pertukaran gas, sehingga memengaruhi perubahan PCO_2 dan SpO_2 . berikut faktor Predisposisi menurut Hall & Hall (2025) :

a) Usia

Peningkatan usia berkaitan dengan perubahan struktur dan fungsi sistem pernapasan, terutama penurunan elastisitas jaringan paru dan dinding dada yang menyebabkan menurunnya compliance paru serta meningkatnya kerja napas (Brunker et al., 2023). Pada usia dewasa (18–59 tahun), meskipun perubahan fisiologis belum seprogresif pada kelompok lanjut usia, telah terjadi penurunan cadangan respirasi secara bertahap yang dapat menjadi signifikan ketika individu terpapar stres fisiologis berat, seperti penyakit kritis, penggunaan ventilasi mekanik, imobilisasi, dan sedasi selama perawatan di ICU. Kondisi ini menghambat ekspansi paru secara optimal, sehingga ventilasi alveolar menjadi kurang efisien dan distribusi ventilasi tidak merata (Li et al., 2024)

Pada lanjut usia (≥ 60 tahun), perubahan fisiologis sistem pernapasan berlangsung lebih progresif dan disertai penurunan kekuatan otot pernapasan serta berkurangnya kemampuan kompensasi terhadap stres fisiologis (Phua et al., 2020). Akibatnya, cadangan respirasi menjadi lebih terbatas dan kerentanan terhadap

gangguan ventilasi serta pertukaran gas meningkat. Perubahan fisiologis terkait usia, baik pada kelompok dewasa maupun lanjut usia, juga memengaruhi toleransi terhadap imobilisasi dan sedasi selama perawatan ICU. Kondisi ini secara keseluruhan meningkatkan risiko terjadinya gangguan ventilasi alveolar dan ketidakseimbangan pertukaran gas pada pasien ICU dengan ventilator mekanik ICU (Paweł & Białas, 2024).

b) Jenis Kelamin

Jenis kelamin berhubungan dengan variasi anatomi dan fisiologi sistem pernapasan, termasuk perbedaan ukuran paru, kapasitas vital, dan dimensi rongga toraks yang memengaruhi pola ventilasi dan cadangan respirasi. Secara umum, laki-laki memiliki volume paru dan kapasitas vital lebih besar dibandingkan perempuan, sehingga respons ventilasi alveolar terhadap stres respirasi dapat berbeda (Trudzinski et al., 2025). Selain itu, faktor hormonal dan distribusi massa otot memengaruhi kekuatan serta daya tahan otot pernapasan, di mana perempuan cenderung lebih rentan mengalami kelelahan otot napas. Beberapa penelitian menunjukkan adanya perbedaan risiko komplikasi respirasi dan respons terhadap ventilasi mekanik berdasarkan jenis kelamin (Heraganahally et al., 2022).

c) Komorbid

Komorbid merupakan kondisi penyakit penyerta yang telah ada sebelum perawatan ICU dan dapat memperburuk fungsi respirasi dasar pasien. Penyakit paru obstruktif kronik, penyakit

kardiovaskular, serta gangguan metabolik merupakan contoh komorbid yang sering ditemukan pada pasien ICU. Kondisi tersebut dapat menurunkan kapasitas ventilasi serta meningkatkan beban kerja sistem pernapasan (Y. Hidayat et al., 2022). Secara fisiologis, komorbid membatasi kemampuan paru dalam mempertahankan ventilasi dan oksigenasi yang adekuat, sehingga cadangan respirasi menjadi lebih rendah. Kondisi ini meningkatkan risiko ketidakseimbangan ventilasi–perfusi yang berdampak pada retensi karbon dioksida dan penurunan oksigenasi jaringan (Hall & Hall, 2025).

d) Tingkat Kesadaran

Penurunan tingkat kesadaran pada pasien ICU, baik akibat sedasi, ensefalopati, maupun gangguan neurologis, secara langsung memengaruhi regulasi pusat pernapasan di batang otak serta koordinasi otot respirasi. Penurunan respons pusat napas terhadap rangsangan hiperkapnia dan hipoksemia menyebabkan penurunan dorongan napas (*respiratory drive*), sehingga ventilasi spontan menjadi tidak adekuat (Hall & Hall, 2025). Selain itu, gangguan kesadaran menghambat kemampuan pasien untuk mempertahankan pola napas yang efektif dan melakukan napas dalam secara terkoordinasi. Kondisi ini berujung pada hipoventilasi alveolar yang menghambat eliminasi karbon dioksida. Akibatnya, terjadi peningkatan retensi karbon dioksida yang tercermin pada peningkatan kadar PCO_2 pada pasien ICU dengan ventilator mekanik.

e) Penurunan Reflek Batuk

Penurunan refleks batuk pada pasien ICU, yang sering terjadi akibat sedasi, penurunan tingkat kesadaran, atau penggunaan ventilator mekanik, menghambat mekanisme proteksi jalan napas dan proses pembersihan sekret secara fisiologis. Ketidakmampuan mengeluarkan sekret menyebabkan akumulasi sekret di saluran napas, yang meningkatkan resistensi jalan napas dan menghambat aliran udara menuju alveoli (Costa et al., 2025). Hambatan aliran udara tersebut menurunkan ventilasi alveolar dan menyebabkan distribusi ventilasi tidak seimbang terhadap perfusi paru. Ketidakseimbangan ventilasi-perfusi ini mengurangi efisiensi pertukaran gas, terutama difusi oksigen ke dalam darah (Hall & Hall, 2025). Akibatnya, terjadi penurunan oksigenasi dan ketidakstabilan parameter respirasi, yang tercermin pada penurunan SpO_2 serta peningkatan risiko gangguan respirasi pada pasien ICU dengan ventilator mekanik.

Faktor Presipitasi

Faktor presipitasi adalah kondisi atau kejadian yang secara langsung memicu terjadinya perubahan atau perburukan fungsi respirasi selama perawatan. Faktor ini biasanya muncul sebagai konsekuensi dari intervensi medis, lingkungan ICU, atau respons tubuh terhadap penyakit kritis. Dalam perspektif fisiologi respirasi, faktor presipitasi berperan sebagai stresor akut yang mengganggu keseimbangan ventilasi, perfusi, dan difusi gas. Keberadaan faktor presipitasi dapat mempercepat terjadinya hipoventilasi

alveolar dan gangguan oksigenasi. Oleh karena itu, faktor presipitasi menjadi target utama intervensi keperawatan dan rehabilitasi dini di ICU. Berikut faktor presipitasi menurut Hall & Hall (2025) :

a) Imobilisasi Berkepanjangan

Imobilisasi berkepanjangan pada pasien ICU menyebabkan penurunan ventilasi basal paru akibat berkurangnya ekspansi dinding dada dan aktivitas otot pernapasan, sehingga distribusi udara ke alveoli menjadi tidak optimal. Kondisi ini meningkatkan risiko atelektasis yang mengurangi luas permukaan pertukaran gas dan mengganggu kesesuaian ventilasi-perfusi (Hall & Hall, 2025). Secara fisiologis, gangguan tersebut menurunkan efisiensi oksigenasi dan meningkatkan retensi karbon dioksida. Akibatnya, terjadi peningkatan kadar PCO_2 dan penurunan nilai SpO_2 pada pasien dengan ventilator mekanik.

b) Durasi Penggunaan Ventilator

Penggunaan ventilator mekanik dalam jangka panjang dapat menyebabkan disuse atrophy pada otot pernapasan akibat menurunnya kerja napas spontan. Penurunan kekuatan dan daya tahan otot pernapasan menghambat kemampuan pasien mempertahankan ventilasi alveolar yang efektif, terutama saat dukungan ventilator dikurangi (Hall & Hall, 2025). Kondisi ini meningkatkan risiko gangguan eliminasi karbon dioksida dan perubahan kadar PCO_2 . Selain itu, ketidakstabilan ventilasi spontan berdampak pada fluktuasi oksigenasi yang tercermin pada nilai SpO_2 .

c) Akumulasi Sekret Jalan Napas

Akumulasi sekret jalan napas pada pasien ICU dengan ventilator terjadi akibat penurunan refleks batuk dan gangguan pembersihan mukosiliar, sehingga meningkatkan resistensi jalan napas. Hambatan aliran udara tersebut menyebabkan ventilasi alveolar tidak merata dan memperburuk ketidakseimbangan ventilasi–perfusi (Hall & Hall, 2025). Secara fisiologis, kondisi ini menurunkan efisiensi pertukaran gas dan meningkatkan retensi karbon dioksida. Selain itu, gangguan distribusi oksigen menyebabkan penurunan saturasi oksigen perifer.

d) Sedasi

Sedasi pada pasien ICU menekan pusat pernapasan dan refleks batuk, sehingga menurunkan ventilasi spontan dan kemampuan pembersihan sekret jalan napas. Kondisi ini meningkatkan risiko hipoventilasi alveolar dan retensi karbon dioksida (Hall & Hall, 2025). Selain itu, sedasi berlebihan menghambat mobilisasi dini yang berperan penting dalam mempertahankan ekspansi paru dan kekuatan otot pernapasan. Kombinasi hipoventilasi dan imobilisasi memperburuk ketidakseimbangan ventilasi–perfusi serta oksigenasi.

e) Mode Ventilator

Mode ventilator menentukan pola ventilasi mekanik melalui pengaturan volume tidal, frekuensi napas, tekanan inspirasi, waktu inspirasi, dan *positive end-expiratory pressure* (PEEP), yang secara langsung memengaruhi ventilasi alveolar. Menurut Hall & Hall (2025), ventilasi alveolar merupakan determinan utama tekanan parsial karbon

dioksida (PCO_2), karena eliminasi CO_2 bergantung pada jumlah udara yang mencapai alveoli per menit. Perbedaan mode seperti :

1. **Assist Control (AC)**

merupakan mode yang memberikan napas mandatory dengan volume atau tekanan yang telah ditetapkan pada setiap siklus napas. Mode ini biasanya diberikan pada pasien dengan gagal napas akut, usaha napas yang sangat lemah, atau pasien dalam kondisi sedasi dalam setelah intubasi. Secara fisiologis, AC menjamin ventilasi menit yang relatif stabil karena setiap napas mendapatkan dukungan penuh dari ventilator. Dengan demikian, eliminasi CO_2 lebih terkontrol. Namun, apabila pasien terlalu sering memicu napas tambahan, dapat terjadi hiperventilasi yang menyebabkan penurunan PCO_2 .

2. **Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)**

memberikan sejumlah napas mandatory yang disinkronkan dengan usaha napas pasien, sementara di antara napas tersebut pasien dapat bernapas spontan. Mode ini biasanya digunakan pada pasien yang mulai menunjukkan perbaikan fungsi respirasi atau dalam tahap weaning. Secara fisiologis, ventilasi alveolar pada SIMV bergantung pada kombinasi dukungan ventilator dan kemampuan napas spontan pasien. Jika usaha napas pasien belum adekuat, ventilasi alveolar dapat menurun sehingga berpotensi meningkatkan PCO_2 .

3. **Pressure Control Ventilation (PCV)**

merupakan mode yang mengatur tekanan inspirasi, bukan volume tidal. Volume udara yang masuk ke paru sangat dipengaruhi oleh compliance paru dan resistensi jalan napas. Mode ini umumnya diberikan pada pasien dengan ARDS atau compliance paru yang rendah untuk mencegah barotrauma akibat tekanan berlebih. Secara fisiologis, pembatasan tekanan inspirasi membantu melindungi jaringan paru, tetapi jika compliance menurun, volume tidal yang dihasilkan juga akan berkurang sehingga ventilasi alveolar menurun dan PCO_2 dapat meningkat.

4. **Pressure Support Ventilation (PSV) atau CPAP**

digunakan pada pasien yang sudah mampu bernapas spontan dengan dukungan tekanan minimal dari ventilator. Mode ini umumnya diberikan pada fase akhir weaning ketika kesadaran dan kekuatan otot pernapasan sudah membaik. Dalam kondisi ini, ventilasi alveolar sangat bergantung pada kemampuan pasien sendiri. Apabila pasien mengalami kelelahan otot pernapasan, ventilasi alveolar dapat menurun dan menyebabkan retensi CO_2 .

2.1.7 Mekanisme Ventilasi, Difusi dan Perfusi Paru

a) **Ventilasi Alveolar**

Ventilasi alveolar adalah jumlah udara segar yang benar-benar mencapai alveoli per menit dan berperan langsung dalam pertukaran gas, terutama eliminasi karbon dioksida. Secara fisiologis, ventilasi alveolar ditentukan oleh ventilasi menit yang efektif setelah dikurangi komponen

dead space yang tidak ikut pertukaran gas. Ketika ventilasi alveolar menurun, tekanan parsial CO₂ dalam alveoli dan darah arteri cenderung meningkat karena pembuangan CO₂ menjadi kurang adekuat (Hall & Hall, 2025). Sebaliknya, peningkatan ventilasi alveolar akan menurunkan CO₂ alveolar dan mendukung stabilitas ventilasi yang lebih efektif. Hubungan ini menjadi dasar pemahaman bahwa perubahan PCO₂ merupakan indikator sensitif terhadap perubahan ventilasi alveolar pada pasien, termasuk pasien yang menggunakan ventilator mekanik.

Pada pasien ICU dengan ventilator, ventilasi alveolar dipengaruhi oleh pengaturan ventilator (misalnya volume tidal, frekuensi napas, PEEP) dan kondisi klinis pasien (misalnya kepatuhan paru, resistensi jalan napas, serta beban *dead space*). Ketidaktepatan pengaturan ventilator atau perubahan mekanika paru dapat menurunkan ventilasi efektif meskipun ventilasi menit tampak memadai, sehingga CO₂ tetap tertahan (Hall & Hall, 2025). Pemantauan parameter pertukaran gas menjadi penting karena kebutuhan ventilasi dapat berubah cepat sesuai dinamika penyakit kritis. Dalam praktik klinis, evaluasi PCO₂ diperlukan untuk menilai apakah ventilasi alveolar yang diberikan benar-benar efektif mengeliminasi CO₂. Oleh karena itu, ventilasi alveolar merupakan konsep kunci untuk menjelaskan mengapa intervensi dan pengaturan ventilator dapat tercermin pada perubahan PCO₂.

b) Difusi Gas di Membran Alveolo – Kapiler

Difusi gas adalah proses perpindahan O₂ dan CO₂ melintasi membran alveolo-kapiler yang terjadi karena perbedaan gradien tekanan

parsial. Efektivitas difusi dipengaruhi oleh luas permukaan pertukaran gas, ketebalan membran, serta waktu kontak darah kapiler dengan gas alveolar. Secara fisiologis, gangguan difusi lebih mudah menurunkan oksigenasi dibandingkan eliminasi CO_2 , karena karakteristik difusi O_2 dan kurva disosiasi hemoglobin yang berbeda (Hall & Hall, 2025). Pada kondisi tertentu yang merusak atau menebalkan membran alveolo-kapiler, kemampuan difusi dapat menurun dan memicu gangguan oksigenasi yang tampak pada penurunan saturasi oksigen perifer. Konsep ini menegaskan bahwa SpO_2 dapat terpengaruh ketika proses difusi terganggu, terutama pada penyakit paru berat dan kondisi kritis.

Pada pasien ICU, gangguan difusi dapat terjadi akibat kerusakan membran alveolo-kapiler dan perubahan mikrosirkulasi kapiler paru yang menurunkan kapasitas transfer gas (Hall & Hall, 2025). Sejumlah bukti klinis pada pasien kritis menunjukkan adanya perubahan komponen difusi dan perfusi yang dapat bertahan atau muncul selama fase perawatan intensif, sehingga menghambat pemulihan pertukaran gas. Gangguan ini tidak hanya dipengaruhi penyakit dasar, tetapi juga dipengaruhi dinamika edema, inflamasi, dan perubahan perfusi kapiler paru. Dalam konteks ventilasi mekanik, keterbatasan difusi dapat membuat peningkatan FiO_2 tidak selalu sebanding dengan perbaikan oksigenasi bila masalah utamanya berada pada barier difusi dan perfusi. Oleh karena itu, pemahaman difusi alveolo-kapiler penting untuk menjelaskan variasi respons SpO_2 pada pasien ICU meskipun ventilasi tampak adekuat.

c) Rasio Ventilasi - Perfusi (V/Q)

Rasio ventilasi–perfusi (V/Q) menggambarkan kesesuaian antara udara yang mencapai alveoli (ventilasi) dan aliran darah kapiler paru (perfusi) sebagai prasyarat pertukaran gas yang efisien. Ketidaksesuaian V/Q menyebabkan dua pola utama, yaitu *shunt-like* (perfusi tanpa ventilasi memadai) dan *dead space-like* (ventilasi tanpa perfusi memadai) (Hall & Hall, 2025). Secara fisiologis, mismatch V/Q cenderung menurunkan oksigenasi lebih cepat karena darah yang melewati unit paru dengan ventilasi rendah akan tetap membawa O₂ rendah meskipun unit lain terventilasi baik. Pada keadaan kritis seperti ARDS, mismatch V/Q berkaitan dengan kolaps alveoli, overdistensi, dan gangguan vaskular paru yang memperberat ketidakefisienan pertukaran gas. Dengan demikian, perubahan SpO₂ sering kali merupakan manifestasi klinis dari mismatch V/Q pada pasien ICU dengan ventilator.

Pada perawatan ICU, mismatch V/Q juga dapat menjelaskan mengapa pasien dapat mengalami hipoksemia meskipun ventilasi menit meningkat atau dukungan ventilator ditambah. Studi observasional menunjukkan bahwa perbaikan kecocokan V/Q pada intervensi tertentu berasosiasi dengan luaran yang lebih baik pada pasien kritis, yang menguatkan pentingnya konsep ini secara klinis. Selain memengaruhi oksigenasi, mismatch V/Q dapat meningkatkan beban ventilasi efektif karena sebagian ventilasi menjadi tidak produktif, sehingga berpotensi memengaruhi eliminasi CO₂ pada kondisi tertentu. Dalam praktik, penilaian V/Q membantu memahami bahwa gangguan oksigenasi tidak

selalu disebabkan oleh kurangnya oksigen inspirasi, melainkan oleh distribusi ventilasi dan perfusi yang tidak seimbang. Oleh sebab itu, konsep V/Q menjadi landasan untuk menautkan dinamika ventilasi–perfusi dengan perubahan SpO_2 dan, pada situasi tertentu, PCO_2 pada pasien ICU ventilator.

2.1.8 Karbon Dioksida dan Tekanan Parsial CO_2 (PCO_2)

a) Pengertian PCO

Tekanan parsial karbon dioksida (PCO_2) adalah tekanan yang dihasilkan oleh CO_2 terlarut dalam darah dan mencerminkan keseimbangan antara produksi metabolik CO_2 dan eliminasi melalui ventilasi paru. Dalam fisiologi respirasi, PCO_2 digunakan sebagai indikator utama efektivitas ventilasi alveolar karena perubahan kecil pada ventilasi dapat segera memengaruhi kadar CO_2 darah (Hall & Hall, 2025). Nilai PCO_2 yang meningkat menunjukkan adanya hipoventilasi alveolar atau peningkatan beban CO_2 yang tidak tereliminasi secara adekuat. Sebaliknya, penurunan PCO_2 mengindikasikan peningkatan ventilasi alveolar yang melebihi kebutuhan metabolik. Oleh karena itu, PCO_2 menjadi parameter penting dalam menilai status ventilasi pasien, terutama pada kondisi kritis yang memerlukan ventilasi mekanik

Dalam praktik klinis ICU, PCO_2 umumnya diukur melalui analisis gas darah arteri sebagai bagian dari evaluasi keseimbangan asam–basa dan fungsi respirasi. Nilai PCO_2 berperan penting dalam menentukan strategi pengaturan ventilator, termasuk penyesuaian volume tidal dan frekuensi napas (Hall & Hall, 2025). Perubahan PCO_2 sering kali lebih cepat

terdeteksi dibandingkan perubahan oksigenasi, sehingga memberikan gambaran dini tentang gangguan ventilasi. Selain itu, PCO_2 juga berkaitan erat dengan regulasi pH darah melalui sistem buffer bikarbonat. Dengan demikian, pemantauan PCO_2 merupakan komponen esensial dalam penatalaksanaan pasien ICU dengan ventilator mekanik

b) Produksi dan Eliminasi CO_2

Karbon dioksida merupakan hasil akhir metabolisme aerob yang diproduksi oleh sel-sel tubuh selama proses oksidasi nutrien. CO_2 yang dihasilkan akan berdifusi ke dalam darah dan diangkut menuju paru dalam bentuk terlarut, bikarbonat, dan terikat hemoglobin. Proses eliminasi CO_2 terjadi di paru melalui difusi dari darah kapiler ke alveoli, kemudian dikeluarkan saat ekspirasi (Hall & Hall, 2025). Secara fisiologis, keseimbangan antara produksi dan eliminasi CO_2 menentukan stabilitas PCO_2 darah. Ketidakseimbangan pada salah satu proses tersebut dapat menyebabkan perubahan signifikan pada kadar PCO_2 .

Pada pasien ICU, produksi CO_2 dapat meningkat akibat kondisi seperti demam, sepsis, atau peningkatan kerja napas, sementara eliminasi CO_2 dapat terganggu akibat gangguan ventilasi alveolar. Ventilasi mekanik bertujuan untuk membantu eliminasi CO_2 ketika ventilasi spontan tidak mencukupi (Hall & Hall, 2025). Namun, gangguan mekanika paru atau pengaturan ventilator yang tidak optimal dapat menghambat proses pembuangan CO_2 . Kondisi ini menyebabkan akumulasi CO_2 dalam darah dan peningkatan PCO_2 . Oleh karena itu, pemahaman tentang produksi dan

eliminasi CO_2 sangat penting dalam menilai penyebab perubahan PCO_2 pada pasien ventilator (Hall & Hall, 2025; Vincent et al., 2023).

c) Hubungan PCO_2 dengan Ventilasi Alveolar

PCO_2 memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan ventilasi alveolar, di mana penurunan ventilasi alveolar akan menyebabkan peningkatan PCO_2 . Ventilasi alveolar menentukan jumlah CO_2 yang dapat dieliminasi dari tubuh dalam satu menit. Ketika ventilasi alveolar menurun akibat hipoventilasi, CO_2 tertahan di dalam alveoli dan berdifusi kembali ke darah (Hall & Hall, 2025). Kondisi ini menyebabkan peningkatan PCO_2 arteri yang dapat berujung pada asidosis respiratorik. Hubungan ini menjadikan PCO_2 sebagai indikator langsung efektivitas ventilasi alveolar.

Pada pasien ICU dengan ventilator, perubahan kecil dalam ventilasi alveolar dapat memberikan dampak signifikan terhadap PCO_2 . Pengaturan ventilator yang tidak sesuai dengan kebutuhan metabolik pasien dapat menyebabkan hipoventilasi atau hiperventilasi (Hall & Hall, 2025). Selain itu, peningkatan *dead space* akibat gangguan perfusi paru juga dapat menurunkan ventilasi alveolar efektif meskipun ventilasi menit tampak adekuat. Dalam kondisi tersebut, PCO_2 tetap meningkat karena eliminasi CO_2 tidak optimal. Oleh karena itu, evaluasi PCO_2 diperlukan untuk memastikan bahwa ventilasi alveolar yang diberikan benar-benar efektif.

2.1.9 Oksigenasi dan Saturasi Oksigen (SpO_2)

a) Pengertian SpO_2

Saturasi oksigen perifer (SpO_2) adalah persentase hemoglobin dalam darah arteri yang terikat oleh oksigen dan diukur secara noninvasif

menggunakan pulse oximetry. SpO_2 mencerminkan kecukupan oksigen yang tersedia untuk jaringan dan merupakan indikator penting status oksigenasi pasien. Dalam fisiologi respirasi, nilai SpO_2 dipengaruhi oleh tekanan parsial oksigen arteri, kapasitas hemoglobin, serta efisiensi pertukaran gas di paru (Hall & Hall, 2025). Penurunan SpO_2 menunjukkan gangguan oksigenasi yang dapat berdampak pada fungsi organ vital. Oleh karena itu, SpO_2 digunakan secara luas sebagai parameter pemantauan kontinu pada pasien ICU, khususnya yang menggunakan ventilator mekanik

Pada praktik klinis ICU, SpO_2 berfungsi sebagai indikator awal untuk mendeteksi hipoksemia sebelum terjadi perubahan klinis yang lebih berat. Nilai SpO_2 yang rendah dapat mencerminkan gangguan ventilasi, difusi, atau perfusi paru. Namun, SpO_2 tidak menggambarkan secara langsung jumlah oksigen terlarut dalam darah, melainkan proporsi hemoglobin yang tersaturasi oksigen (Hall & Hall, 2025). Oleh sebab itu, interpretasi SpO_2 harus mempertimbangkan kondisi fisiologis dan klinis pasien. Dengan demikian, SpO_2 menjadi parameter penting untuk mengevaluasi efektivitas dukungan oksigen dan ventilasi pada pasien ICU.

b) Hubungan SpO_2 dengan PaO_2

SpO_2 memiliki hubungan erat dengan tekanan parsial oksigen arteri (PaO_2) yang menggambarkan jumlah oksigen terlarut dalam darah. Hubungan ini bersifat tidak linear karena dipengaruhi oleh kurva disosiasi oksigen–hemoglobin. Pada rentang PaO_2 normal, perubahan kecil PaO_2 tidak selalu diikuti perubahan SpO_2 yang signifikan (Wick et al., 2022). Namun, ketika PaO_2 turun di bawah ambang tertentu, SpO_2 dapat menurun

secara tajam. Kondisi ini menjelaskan mengapa SpO_2 sensitif terhadap hipoksemia berat pada pasien kritis (Jahan & Setlur, 2021).

Pada pasien ICU dengan ventilator, PaO_2 dapat dipengaruhi oleh pengaturan FiO_2 , PEEP, dan kondisi paru seperti atelektasis atau gangguan ventilasi-perfusi (Carvalho et al., 2022). Penurunan PaO_2 akibat gangguan pertukaran gas akan tercermin pada penurunan SpO_2 . Sebaliknya, peningkatan FiO_2 tidak selalu menghasilkan peningkatan SpO_2 yang sebanding apabila masalah utama terletak pada difusi atau perfusi paru (Hall & Hall, 2025). Oleh karena itu, hubungan PaO_2 dan SpO_2 perlu dipahami secara fisiologis untuk menginterpretasikan nilai saturasi oksigen secara tepat. Pemahaman ini penting dalam evaluasi oksigenasi jaringan pada pasien ICU dengan ventilator mekanik.

2.2 Konsep Early Respiratory Physiotherapy and Mobilization

1.3.1 Definisi Early Respiratory Physiotherapy

Fisioterapi respirasi merupakan serangkaian intervensi terapeutik yang bertujuan untuk mempertahankan dan meningkatkan fungsi sistem pernapasan melalui optimasi ventilasi, pembersihan jalan napas, dan ekspansi paru. Intervensi ini dirancang untuk membantu pasien dengan gangguan respirasi dalam mempertahankan ventilasi alveolar yang efektif dan pertukaran gas yang adekuat (Moradi-azhgil & Sayadi, 2024). Dalam konteks fisiologi respirasi, fisioterapi respirasi berperan dalam memodifikasi mekanika paru dan aliran udara di saluran pernapasan. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada pemberian oksigen, tetapi juga pada perbaikan fungsi ventilasi dan eliminasi karbon dioksida (Bayat et al.,

2025). Oleh karena itu, fisioterapi respirasi dipandang sebagai bagian integral dari manajemen pasien kritis dengan gangguan pernapasan.

Pada pasien ICU dengan ventilator mekanik, fisioterapi respirasi digunakan sebagai intervensi suportif untuk mencegah komplikasi respirasi akibat imobilisasi dan penurunan refleks protektif (Afxonidis et al., 2021). Kondisi kritis dan penggunaan ventilator sering menyebabkan penurunan ventilasi efektif serta akumulasi sekret jalan napas. Fisioterapi respirasi bertujuan mengatasi kondisi tersebut melalui teknik manual dan mekanis yang terstandar (Menges et al., 2021). Intervensi ini dilakukan secara terencana dan disesuaikan dengan kondisi klinis pasien. Dengan demikian, fisioterapi respirasi menjadi pendekatan terapeutik yang relevan dalam perawatan pasien ICU.

2.3.2 Tujuan Early Respiratory Physiotherapy

Tujuan *Early Respiratory Physiotherapy* pada pasien ICU dengan ventilator mekanik meliputi :

1. Mempertahankan ventilasi alveolar yang efektif, sehingga proses pertukaran gas berlangsung optimal dan eliminasi karbon dioksida dapat berjalan adekuat (Chen et al., 2025).
2. Mengoptimalkan distribusi ventilasi paru, melalui pembukaan alveoli yang kolaps dan pengurangan area paru yang mengalami atelektasis, guna mendukung oksigenasi jaringan (Elysyah & Fridalni, 2024).
3. Menurunkan resistensi jalan napas, dengan meningkatkan pembersihan sekret dan menjaga patensi jalan napas agar aliran udara ke alveoli lebih lancar.

4. Meningkatkan efisiensi eliminasi karbon dioksida, sehingga membantu menurunkan risiko hiperkapnia dan menjaga stabilitas PCO₂ pada pasien ICU (Chen et al., 2025).
5. Mencegah komplikasi respirasi, seperti atelektasis dan infeksi paru, yang sering terjadi akibat imobilisasi dan penggunaan ventilator mekanik jangka panjang (Chen et al., 2025).
6. Mendukung proses weaning ventilator, melalui perbaikan fungsi paru dan peningkatan ventilasi efektif sehingga ketergantungan pada ventilator dapat dikurangi secara bertahap (Chen et al., 2025).
7. Mempertahankan dan meningkatkan fungsi respirasi secara keseluruhan, sehingga tujuan perawatan tidak hanya bersifat kuratif, tetapi juga preventif dan rehabilitatif bagi pasien ICU (Menges et al., 2021).

2.3.3 Bentuk Intervensi Early Respiratory Physiotherapy

a) Teknik Clapping

Clapping merupakan teknik fisioterapi respirasi berupa tepukan ritmis pada dinding dada untuk membantu melonggarkan sekret di saluran pernapasan. Getaran mekanik yang dihasilkan membantu melepaskan sekret dari dinding bronkus sehingga lebih mudah dipindahkan ke jalan napas besar (Xue et al., 2025). Teknik ini umumnya dilakukan selama 3–5 menit pada setiap segmen paru yang ditargetkan. Beberapa studi RCT melaporkan clapping dilakukan 1–2 kali per hari selama 3–5 hari pada pasien ICU dengan ventilator (Nagatomi et al., 2023). Pelaksanaan teknik ini harus disesuaikan dengan toleransi dan stabilitas hemodinamik pasien.

Secara klinis, clapping digunakan sebagai bagian dari paket fisioterapi respirasi untuk meningkatkan efektivitas pembersihan sekret. Teknik ini sering dikombinasikan dengan suctioning untuk mengoptimalkan hasil intervensi. Penerapan clapping terbukti aman bila dilakukan sesuai protokol dan indikasi klinis. Intervensi ini membantu mencegah stagnasi sekret yang dapat memperburuk ventilasi alveolar (Hall & Hall, 2025). Dengan demikian, clapping berkontribusi pada perbaikan ventilasi dan oksigenasi pasien ICU.

b) Teknik Vibration

Vibration adalah teknik pemberian getaran manual pada dinding dada selama fase ekspirasi untuk membantu mobilisasi sekret ke jalan napas proksimal. Getaran ini meningkatkan kecepatan aliran udara ekspirasi sehingga sekret lebih mudah berpindah. Teknik vibration umumnya dilakukan selama 1–2 menit pada setiap area paru setelah clapping. Studi klinis menunjukkan teknik ini dilakukan 1–2 kali per hari selama periode intervensi 3–7 hari (Ahmed, 2024). Penerapan vibration harus mempertimbangkan kondisi paru dan respons pasien terhadap intervensi (Ho et al., 2022).

Secara fisiologis, vibration membantu meningkatkan efisiensi pembersihan sekret dengan memanfaatkan aliran udara ekspirasi (Hall & Hall, 2025). Teknik ini efektif bila dikombinasikan dengan suctioning untuk mengeluarkan sekret yang telah termobilisasi. Penggunaan vibration pada pasien ventilator bertujuan mengurangi resistensi jalan napas dan meningkatkan ventilasi efektif. Dengan berkurangnya hambatan jalan

napas, distribusi ventilasi alveolar menjadi lebih merata. Hal ini mendukung stabilitas PCO_2 dan peningkatan SpO_2 .

c) Teknik Suctioning

Suctioning merupakan tindakan invasif yang bertujuan mengeluarkan sekret dari jalan napas menggunakan tekanan negatif (Alkubati et al., 2022). Teknik ini dilakukan ketika pasien tidak mampu mengeluarkan sekret secara mandiri akibat refleks batuk yang menurun. Suctioning biasanya dilakukan setelah clapping dan vibration untuk mengoptimalkan pembersihan sekret. Durasi suctioning umumnya tidak lebih dari 10–15 detik per tindakan untuk mencegah hipoksemia (Marietta et al., 2025). Frekuensi suctioning disesuaikan dengan kebutuhan klinis pasien dan jumlah sekret yang dihasilkan.

Dalam praktik ICU, suctioning berperan penting dalam menjaga patensi jalan napas dan mencegah obstruksi. Sekret yang tidak tereliminasi dapat meningkatkan resistensi jalan napas dan mengganggu ventilasi alveolar. Suctioning yang tepat membantu menurunkan risiko hiperkapnia dan gangguan oksigenasi (Davies et al., 2021). Namun, tindakan ini harus dilakukan secara hati-hati karena berpotensi menimbulkan desaturasi sementara. Oleh karena itu, suctioning merupakan komponen penting dalam paket early respiratory physiotherapy pada pasien ICU (Potter et al., 2022).

2.3.4 Mekanisme Fisiologis Pengaruh Early Respiratory Physiotherapy

a) Terhadap Ventilasi Alveolar

Fisioterapi respirasi meningkatkan ventilasi alveolar dengan mengurangi hambatan aliran udara melalui pembersihan sekret dan peningkatan ekspansi paru, sehingga distribusi ventilasi ke alveoli menjadi lebih merata. Peningkatan ventilasi alveolar secara fisiologis memperbaiki eliminasi karbon dioksida dari paru dan berdampak langsung pada penurunan kadar PCO_2 darah arteri (Hall & Hall, 2025). Selain itu, perbaikan ventilasi alveolar membantu mengurangi area paru yang underventilasi akibat atelektasis dan mendukung stabilitas ventilasi-perfusi. Distribusi ventilasi yang lebih optimal juga dapat menurunkan beban kerja ventilator dan mendukung proses weaning secara bertahap. Dengan demikian, peningkatan ventilasi alveolar merupakan mekanisme utama fisioterapi respirasi dalam memperbaiki ventilasi efektif pada pasien ICU dengan ventilator (Azimi et al., 2025).

b) Terhadap Clearance Sekret

Fisioterapi respirasi meningkatkan clearance sekret melalui kombinasi teknik manual dan suctioning yang memobilisasi sekret dari saluran napas distal ke proksimal (Misirlioglu & Horoz, 2022). Berkurangnya akumulasi sekret menurunkan resistensi jalan napas dan memungkinkan aliran udara ke alveoli berlangsung lebih efektif. Secara fisiologis, kondisi ini memperbaiki ventilasi alveolar dan menurunkan risiko gangguan pertukaran gas (Hall & Hall, 2025). Clearance sekret yang optimal juga mengurangi risiko atelektasis dan infeksi paru yang dapat memperburuk

fungsi respirasi. Oleh karena itu, peningkatan clearance sekret berperan penting dalam stabilisasi PCO_2 dan peningkatan SpO_2 pada pasien ICU.

c) Terhadap Ekspansi Paru

Fisioterapi respirasi membantu meningkatkan ekspansi paru dengan mendorong rekrutmen alveoli yang kolaps melalui perbaikan ventilasi efektif dan teknik manual. Peningkatan ekspansi paru secara fisiologis memperluas permukaan pertukaran gas dan mendukung distribusi ventilasi yang lebih merata. Kondisi ini berkontribusi pada peningkatan oksigenasi darah dan tercermin pada peningkatan nilai SpO_2 (Hall & Hall, 2025). Selain itu, paru yang terinflasi secara adekuat membantu mempertahankan elastisitas jaringan paru dan mencegah progresi atelektasis. Dengan demikian, peningkatan ekspansi paru menjadi salah satu target utama early respiratory physiotherapy pada pasien ICU dengan ventilator (Chen et al., 2025).

2.4 Konsep Early Mobilization

2.4.1 Definisi Early Mobilization

Early mobilization merupakan intervensi keperawatan dan rehabilitasi yang dilakukan sedini mungkin pada pasien ICU untuk mempertahankan dan meningkatkan fungsi fisiologis, termasuk fungsi respirasi (Rawal & Bakhru, 2024). Mobilisasi dini mencakup perubahan posisi dan aktivitas fisik terkontrol yang disesuaikan dengan kondisi klinis dan stabilitas hemodinamik pasien. Pada pasien ICU, early mobilization bertujuan mencegah dampak negatif imobilisasi terhadap sistem organ, terutama paru dan otot pernapasan. Secara fisiologis, pergerakan tubuh berperan dalam mempertahankan ventilasi efektif dan distribusi udara di

paru. Oleh karena itu, early mobilization dipandang sebagai bagian integral dari perawatan pasien ICU dengan ventilator mekanik (Potter et al., 2022).

2.4.2 Prinsip Early Mobilization di ICU

Prinsip utama mobilisasi dini di ICU adalah keselamatan pasien dengan mempertimbangkan stabilitas hemodinamik, respirasi, dan neurologis sebelum intervensi dilakukan. Mobilisasi dilaksanakan secara bertahap, individual, dan terintegrasi dengan terapi medis serta dukungan ventilator (Matsuoka et al., 2023). Prinsip ini menekankan kolaborasi tim multidisiplin untuk meminimalkan risiko efek samping selama intervensi. Secara fisiologis, mobilisasi dini dirancang untuk mempertahankan fungsi organ tanpa memperburuk kondisi klinis pasien. Dengan prinsip tersebut, mobilisasi dini dapat memberikan manfaat fisiologis tanpa meningkatkan risiko komplikasi pada pasien ICU (Potter et al., 2022).

2.4.3 Tahapan Early Early Mobilization

Tahapan awal mobilisasi pada pasien ICU dengan ventilator meliputi elevasi kepala tempat tidur (*head of bed elevation*) 30–45 derajat dan perubahan posisi miring kanan serta miring kiri. Elevasi kepala tempat tidur dilakukan secara berkelanjutan dengan evaluasi toleransi setiap 2–4 jam, sedangkan perubahan posisi lateral dilakukan setiap 2 jam dengan durasi mempertahankan posisi 15–30 menit per sisi untuk mendukung distribusi ventilasi dan perfusi paru (Schaller et al., 2024). Intervensi ini umumnya diterapkan setiap hari selama fase perawatan ICU, minimal 3–7 hari pertama, atau selama pasien masih membutuhkan ventilasi mekanik dan memenuhi kriteria stabilitas klinis (Hanafi, 2025).

Secara fisiologis, kombinasi posisi semi-Fowler dan lateral membantu meningkatkan ekspansi paru, mengurangi tekanan diafragma akibat posisi supinasi, serta mencegah kolaps alveoli pada area paru dependen (Hall & Hall, 2025). Oleh karena itu, tahapan mobilisasi awal ini dipandang sebagai intervensi yang aman, *feasible*, dan efektif dalam mendukung ventilasi dan oksigenasi pada pasien ICU dengan ventilator mekanik

2.4.4 Manfaat Early Mobilization

a) Terhadap Fungsi Paru

Early mobilization memberikan manfaat terhadap fungsi paru dengan meningkatkan ekspansi paru dan mempertahankan ventilasi alveolar. Perubahan posisi tubuh membantu membuka alveoli yang kolaps dan memperbaiki distribusi udara di paru. Secara fisiologis, peningkatan ekspansi paru meningkatkan luas permukaan pertukaran gas (Hall & Hall, 2025). Kondisi ini mendukung pemeliharaan fungsi respirasi selama perawatan ICU. Dengan demikian, early mobilization berkontribusi dalam menjaga fungsi paru pasien ICU dengan ventilator .

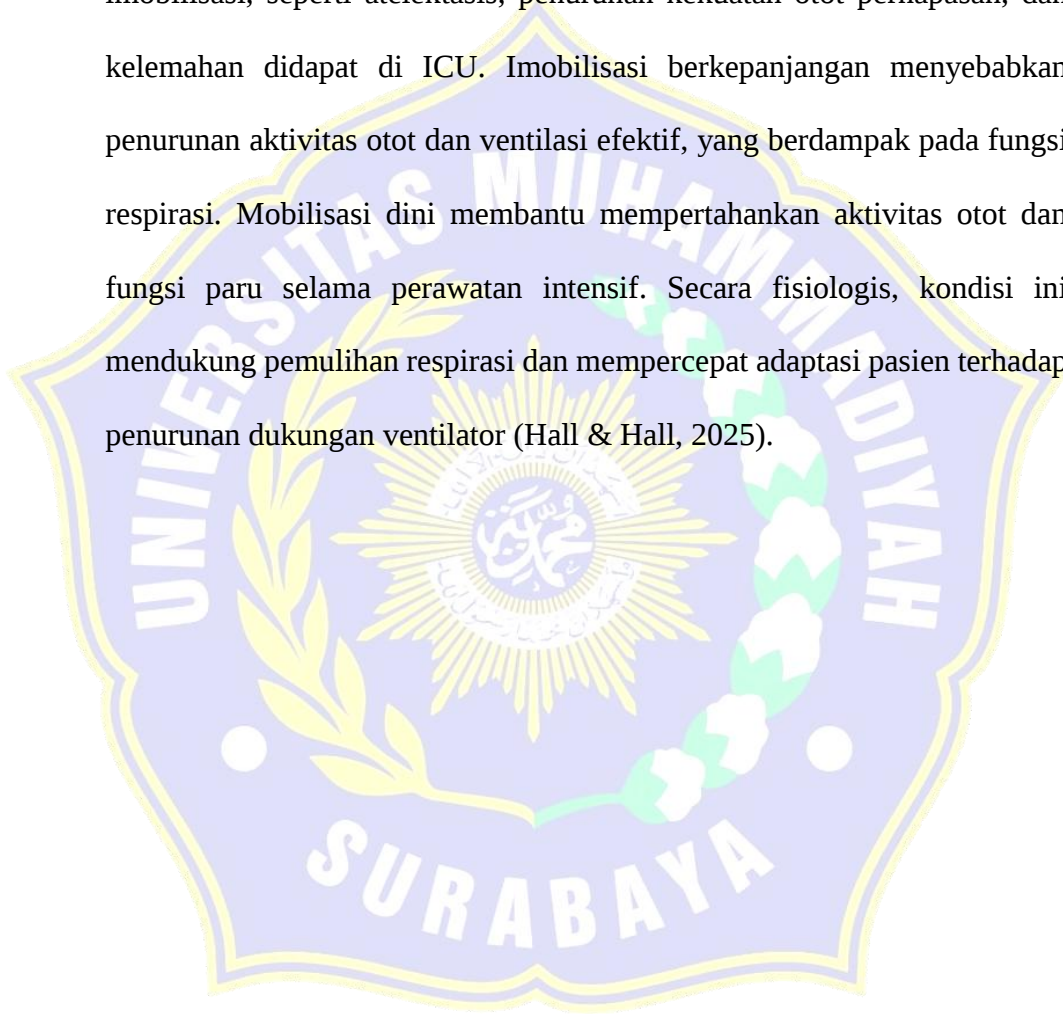
b) Terhadap Ventilasi dan Oksigenasi

Early mobilization berperan dalam memperbaiki ventilasi dan oksigenasi dengan meningkatkan kesesuaian ventilasi–perfusi paru. Posisi semi-Fowler dan lateral memungkinkan ventilasi alveolar berlangsung lebih efektif dan merata. Secara fisiologis, kondisi ini mendukung eliminasi karbon dioksida dan meningkatkan oksigenasi darah (Hall & Hall, 2025). Dampak tersebut tercermin pada penurunan kadar PCO_2 dan

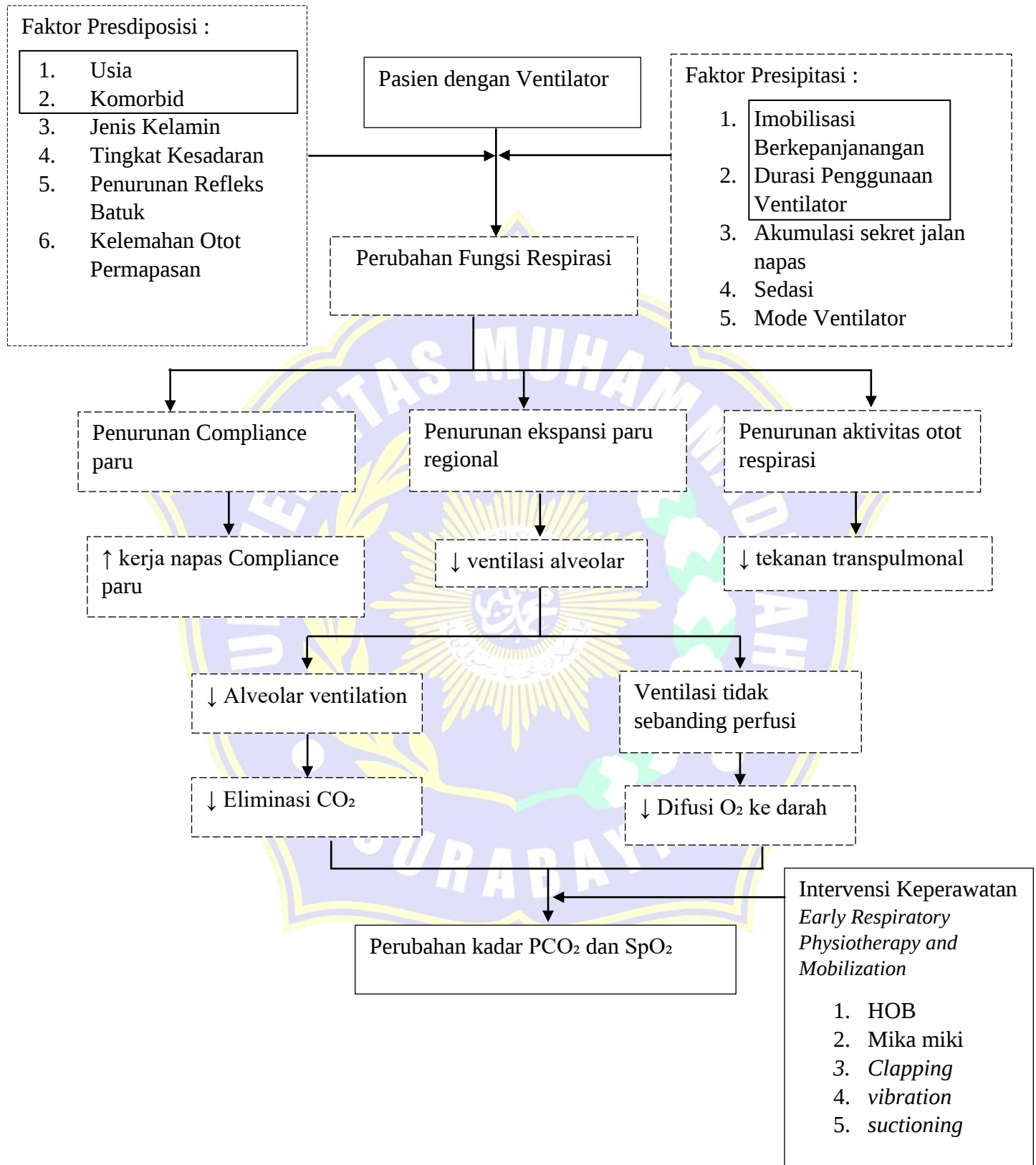
peningkatan SpO₂. Oleh karena itu, mobilisasi dini menjadi intervensi pendukung yang relevan dalam stabilisasi ventilasi dan oksigenasi pasien ICU.

c) Pencegahan Komplikasi Imobilisasi

Early mobilization berperan penting dalam mencegah komplikasi imobilisasi, seperti atelektasis, penurunan kekuatan otot pernapasan, dan kelemahan didapat di ICU. Imobilisasi berkepanjangan menyebabkan penurunan aktivitas otot dan ventilasi efektif, yang berdampak pada fungsi respirasi. Mobilisasi dini membantu mempertahankan aktivitas otot dan fungsi paru selama perawatan intensif. Secara fisiologis, kondisi ini mendukung pemulihan respirasi dan mempercepat adaptasi pasien terhadap penurunan dukungan ventilator (Hall & Hall, 2025).



2.5 Kerangka Konsep Pathway berdasarkan Guyton & Hall



Gambar 2.1 Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan :

☐ : Diteliti

☐ : Tidak Diteliti

Kerangka konseptual ini menggambarkan bahwa perubahan fungsi respirasi pada pasien ICU dengan ventilator merupakan hasil interaksi antara faktor predisposisi dan faktor presipitasi. Faktor predisposisi seperti usia (18 – 60 tahun), jenis kelamin, dan komorbid, sedangkan faktor presipitasi seperti imobilisasi berkepanjangan, durasi penggunaan ventilator, akumulasi sekret jalan napas, dan sedasi bertindak sebagai pencetus langsung gangguan respirasi selama perawatan intensif. Menurut Hall & Hall (2025), sistem pernapasan sangat bergantung pada integritas mekanika paru, aktivitas otot pernapasan, serta keseimbangan ventilasi dan perfusi untuk mempertahankan pertukaran gas yang adekuat. Ketika faktor-faktor tersebut terganggu, kemampuan paru untuk mempertahankan ventilasi alveolar dan oksigenasi akan menurun. Oleh karena itu, pasien dengan ventilator berada pada kondisi rentan terhadap perubahan fisiologis respirasi.

Perubahan fungsi respirasi pada kerangka ini ditunjukkan melalui penurunan compliance paru, penurunan ekspansi paru regional, dan penurunan aktivitas otot pernapasan. Penurunan compliance paru meningkatkan kerja napas dan menurunkan efisiensi ventilasi, sedangkan penurunan ekspansi paru regional menyebabkan berkurangnya ventilasi alveolar pada area tertentu paru. Selain itu, penurunan aktivitas otot pernapasan menurunkan tekanan transpulmonal yang dibutuhkan untuk mempertahankan inflasi alveoli. Secara fisiologis, kondisi tersebut menyebabkan penurunan ventilasi alveolar efektif

dan ketidaksesuaian ventilasi–perfusi, sebagaimana dijelaskan dalam teori pertukaran gas (Hall & Hall, 2025). Akibatnya, eliminasi karbon dioksida menurun dan difusi oksigen ke dalam darah menjadi tidak optimal.

Gangguan ventilasi alveolar dan ketidakseimbangan ventilasi–perfusi tersebut bermuara pada perubahan kadar PCO_2 dan SpO_2 , di mana PCO_2 meningkat sebagai indikator hipoventilasi alveolar, sedangkan SpO_2 menurun sebagai tanda gangguan oksigenasi jaringan. Dalam kerangka ini, Intervensi keperawatan berupa *Early Respiratory Physiotherapy Dan Early Mobilization* diposisikan sebagai upaya untuk memodifikasi faktor presipitasi dan memperbaiki mekanisme fisiologis yang terganggu. Intervensi seperti elevasi kepala tempat tidur, posisi miring kanan–kiri, clapping, vibration, dan suctioning bertujuan meningkatkan ventilasi alveolar, memperbaiki clearance sekret, serta meningkatkan ekspansi paru. Berdasarkan teori (Hall & Hall, 2025), perbaikan mekanika paru dan ventilasi alveolar akan meningkatkan eliminasi CO_2 dan oksigenasi darah, sehingga diharapkan mampu menurunkan PCO_2 dan meningkatkan SpO_2 pada pasien ICU dengan ventilator.

2.6 Hipotesis

Berdasarkan uraian diatas, maka hipotesa yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

H0 : Tidak ada Pengaruh *Early Respiratory Physiotherapy and Mobilizations* terhadap Kadar PCO_2 dan SpO_2 Pada Pasien Ventilator di ICU RSUD Haji Provinsi Jawa Timur.

H1 : Ada Pengaruh *Early Respiratory Physiotherapy and Mobilizations* terhadap Kadar PCO_2 dan SpO_2 Pada Pasien Ventilator di ICU RSUD Haji Provinsi Jawa Timur.

