

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Anestesi Umum

a. Definisi

Anestesi umum merupakan suatu keadaan terkontrol yang ditandai dengan hilangnya kesadaran secara menyeluruh dan bersifat reversibel, disertai penurunan persepsi nyeri, refleks protektif, serta respons terhadap rangsangan pembedahan. Kondisi ini dihasilkan melalui pemberian kombinasi obat anestesi yang bekerja pada sistem saraf pusat, baik melalui jalur inhalasi maupun intravena. Tujuan utama anestesi umum adalah menciptakan kondisi yang memungkinkan tindakan pembedahan berlangsung tanpa rasa nyeri, stres fisiologis, maupun respons motorik yang tidak diinginkan, sekaligus menjaga stabilitas fungsi vital pasien selama prosedur berlangsung (Nagelhout & Elisha, 2022).

b. Komponen Anestesi Umum

Anestesi umum terdiri dari tiga komponen utama, yaitu hipnosis, analgesia, dan relaksasi otot. Hipnosis berfungsi menurunkan tingkat kesadaran pasien sehingga tidak menyadari rangsangan pembedahan. Analgesia bertujuan menghambat transmisi nyeri melalui sistem saraf, sementara relaksasi otot

digunakan untuk menghilangkan tonus otot rangka, memfasilitasi intubasi endotrakeal, serta mendukung kondisi pembedahan yang optimal. Ketiga komponen ini bekerja secara sinergis dan berkontribusi terhadap perubahan fisiologis, khususnya pada sistem respirasi, yang menuntut pengelolaan ventilasi secara terkontrol selama anestesi umum (Barash *et al.*, 2021).

c. Indikasi Anestesi Umum

Anestesi umum diindikasikan pada tindakan pembedahan yang bersifat mayor, prosedur dengan durasi operasi yang relatif panjang, serta pembedahan yang memerlukan relaksasi otot dalam untuk mendukung akses dan teknik operasi. Selain itu, anestesi umum juga digunakan pada kondisi di mana pasien tidak mampu bekerja sama, seperti pada pasien anak, pasien dengan gangguan kesadaran, maupun pasien dengan tingkat kecemasan tinggi yang dapat mengganggu jalannya prosedur pembedahan (Goyal, Singh, & Shukla, 2021).

Anestesi umum menjadi pilihan utama pada tindakan operasi yang membutuhkan kontrol jalan napas secara penuh melalui intubasi endotrakeal. Dengan adanya intubasi, ventilasi pasien dapat dikendalikan sepenuhnya menggunakan ventilator mekanik, sehingga parameter ventilasi yang presisi selama fase intraoperatif. Kondisi ini sangat penting untuk menjaga kestabilan ventilasi dan pertukaran gas, khususnya eliminasi karbon dioksida

selama anestesi umum berlangsung (Nagelhout & Elisha, 2022).

d. Risiko dan Komplikasi Anestesi Umum

Pelaksanaan anestesi umum tidak terlepas dari risiko dan komplikasi yang dapat memengaruhi sistem tubuh pasien, terutama sistem kardiovaskular dan respirasi. Efek depresan obat anestesi terhadap sistem saraf pusat dan sistem kardiovaskular dapat menyebabkan perubahan hemodinamik berupa hipotensi, bradikardi, atau fluktuasi tekanan darah selama pembedahan.

Dari aspek respirasi, anestesi umum berpotensi menimbulkan gangguan ventilasi seperti hipoventilasi, atelektasis, serta penurunan kepatuhan paru. Kondisi ini dapat diperberat oleh penggunaan relaksan otot, posisi operasi tertentu, serta ventilasi mekanik yang tidak diatur secara optimal. Gangguan ventilasi tersebut akan berdampak langsung pada pertukaran gas, khususnya terhadap kadar karbon dioksida, yang tercermin melalui perubahan nilai PaCO_2 dan EtCO_2 . Pemantauan EtCO_2 secara kontinu selama anestesi umum menjadi langkah penting untuk mendeteksi dini terjadinya hiperkapnia maupun hipokapnia intraoperatif (Barash, 2021).

2. *Endotracheal Tube* (ETT)

a. Definisi *Endotracheal Tube* (ETT)

ETT merupakan alat medis berbentuk tabung fleksibel yang dimasukkan ke dalam trakea melalui rute oral atau nasal dengan

tujuan mempertahankan patensi jalan napas. ETT memungkinkan aliran gas pernapasan masuk dan keluar paru-paru secara langsung tanpa hambatan dari jalan napas atas. Penggunaan ETT menjadi standar dalam anestesi umum karena mampu memberikan jalan napas yang aman dan stabil selama pasien dalam kondisi tidak sadar (Hagberg & Artime, 2020).

b. Fungsi dan Indikasi Penggunaan *Endotracheal Tube* (ETT)

Fungsi ETT adalah memastikan jalan napas tetap terbuka dan memungkinkan ventilasi mekanik diberikan secara efektif selama anestesi umum. ETT juga berperan dalam mencegah aspirasi isi lambung ke dalam saluran pernapasan, terutama pada pasien dengan risiko aspirasi tinggi. Penggunaan ETT memungkinkan pemantauan gas ekspirasi, khususnya EtCO₂, dilakukan secara lebih akurat. Gas yang diukur berasal langsung dari udara alveolar sehingga mencerminkan kondisi ventilasi yang sebenarnya. Dengan demikian, ETT tidak hanya berfungsi sebagai alat pengaman jalan napas tetapi juga sebagai sarana pendukung utama dalam evaluasi kecukupan ventilasi intraoperatif (Morgan & Mikhail, 2020).

3. Ventilasi Mekanik Intraoperatif

a. Definisi

Ventilasi mekanik intraoperatif merupakan metode pemberian napas buatan menggunakan mesin ventilator untuk

menggantikan atau mendukung fungsi pernapasan pasien selama anestesi umum. Ventilasi ini diperlukan karena obat anestesi dan relaksan otot menekan pusat pernapasan dan menghilangkan kemampuan bernapas spontan pasien. Tujuan utama ventilasi mekanik intraoperatif adalah mempertahankan pertukaran gas yang adekuat, memastikan oksigenasi jaringan tetap optimal, serta memfasilitasi eliminasi karbon dioksida secara efektif selama prosedur pembedahan berlangsung (Goyal *et al.*, 2021).

b. Parameter Ventilasi Mekanik

Ventilasi mekanik selama anestesi umum melibatkan beberapa parameter utama, seperti volume tidal (VT), frekuensi napas, dan rasio inspirasi–ekspirasi (I:E), yang disesuaikan dengan kondisi fisiologis pasien dan kebutuhan intraoperatif. Parameter tersebut bertujuan untuk mempertahankan pertukaran gas yang adekuat selama anestesi umum dengan bantuan ventilator (Gattinoni, 2020).

Penyesuaian parameter ventilasi dilakukan untuk mencapai keseimbangan antara oksigenasi yang optimal dan eliminasi karbon dioksida yang adekuat, sekaligus meminimalkan risiko terjadinya gangguan ventilasi akibat tekanan intratorakal yang berlebihan. Dalam konteks ventilasi intraoperatif, rasio inspirasi–ekspirasi (I:E) merupakan salah satu parameter yang berperan penting dalam menentukan durasi fase ekspirasi dan

efektivitas pembuangan karbon dioksida, sehingga dapat memengaruhi nilai EtCO₂ yang terukur (Miller, 2020).

4. Rasio Inspirasi–Ekspirasi (I:E)

a. Definisi

Rasio inspirasi - ekspirasi (I:E) merupakan perbandingan durasi antara fase inspirasi dan fase ekspirasi dalam satu siklus ventilasi mekanik. Rasio I:E menggambarkan distribusi waktu pernapasan yang diberikan kepada pasien selama penggunaan ventilator. Rasio I:E yang umum digunakan pada pasien dewasa adalah 1:2 karena mendekati pola respirasi fisiologis normal. Perubahan pengaturan rasio I:E dapat memengaruhi tekanan jalan napas, distribusi volume udara di paru, dan efektivitas ventilasi alveolar sehingga berpengaruh terhadap proses pertukaran gas selama anestesi umum (Gupta, Sharma, dan Singh 2021).

Pengaturan rasio I:E memengaruhi proses eliminasi karbon dioksida selama ventilasi mekanik. Fase ekspirasi memerlukan waktu yang cukup agar udara dan karbon dioksida di alveoli dapat keluar secara optimal. Pemanjangan waktu ekspirasi meningkatkan alveolar *emptying* sehingga pengeluaran karbon dioksida menjadi lebih efektif dan nilai EtCO₂ cenderung menurun. Waktu ekspirasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan retensi karbon dioksida akibat udara ekspirasi tidak keluar secara maksimal (Marini & Gattinoni, 2020).

b. Faktor yang Mempengaruhi Rasio I:E

Penentuan rasio I:E selama anestesi umum dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti resistensi jalan napas, jenis dan posisi pembedahan, serta kebutuhan ventilasi pasien. Pada kondisi tertentu, seperti pembedahan laparoskopi atau pasien dengan perubahan mekanik paru, penyesuaian rasio I:E diperlukan untuk mempertahankan ventilasi yang adekuat (Gupta, Sharma, dan Singh, 2021).

Selain itu, penerapan strategi ventilasi protektif paru juga mempertimbangkan rasio I:E untuk menghindari terjadinya cedera paru akibat ventilasi mekanik. Pemilihan rasio I:E harus disesuaikan dengan kondisi fisiologis pasien selama fase intraoperatif (Gattinoni, 2020).

c. Dampak Perubahan Rasio I:E terhadap Sistem Pernapasan

Memanjangkan waktu inspirasi (misalnya I:E 1:1 atau 2:1) dapat meningkatkan mean *airway pressure* sehingga berpotensi memperbaiki oksigenasi, namun durasi ekspirasi yang pendek meningkatkan risiko *air trapping* dan auto *Positive End-Expiratory Pressure* atau tekanan positif yang tidak disengaja akibat udara yang terjebak karena ekspirasi belum selesai sepenuhnya. Sebaliknya, memperpanjang ekspirasi (I:E 1:2 hingga 1:3) memfasilitasi eliminasi CO₂ lebih optimal, menurunkan risiko penumpukan udara, dan menghasilkan tekanan

jalan napas rata-rata yang lebih rendah (Marini, 2021).

d. Relevansi Rasio I:E dalam Anestesi Umum

Selama anestesi umum, perubahan kecil pada rasio I:E dapat memengaruhi ventilasi dan parameter gas pernapasan seperti EtCO₂. I:E berperan dalam menentukan waktu ekspirasi yang cukup untuk *washout* CO₂, sehingga penting bagi anestesi dalam menjaga stabilitas ventilasi selama pembedahan (Nagelhout, 2022).

5. *End-Tidal CO₂* (EtCO₂)

a. Definisi

EtCO₂ merupakan konsentrasi atau tekanan parsial karbon dioksida pada akhir fase ekspirasi yang diukur menggunakan kapnografi. Nilai EtCO₂ mencerminkan kadar karbon dioksida alveolar yang dikeluarkan melalui paru-paru pada akhir proses ekspirasi. Pemantauan EtCO₂ digunakan sebagai indikator efektivitas ventilasi alveolar, perfusi paru, serta metabolisme tubuh selama anestesi umum (Walsh, 2020).

Pengukuran EtCO₂ dilakukan secara kontinu menggunakan monitor kapnografi yang terhubung dengan sistem ventilasi dan ETT. Pemantauan EtCO₂ menjadi bagian penting dalam anestesi umum karena dapat membantu mendeteksi gangguan ventilasi, obstruksi jalan napas, maupun perubahan sirkulasi pasien selama intraoperatif (Hagberg & Artime, 2020).

b. Nilai EtCO₂

Nilai EtCO₂ normal atau normokapnia berada pada rentang 35–45 mmHg. Rentang tersebut menunjukkan bahwa ventilasi alveolar dan eliminasi karbon dioksida berlangsung secara adekuat selama anestesi umum. Nilai EtCO₂ yang stabil dalam batas normal menandakan pertukaran gas berlangsung baik dan ventilasi pasien berada dalam kondisi optimal (Lee, Kim, & Park, 2022).

Nilai EtCO₂ di bawah 35 mmHg disebut hipokapnia. Kondisi ini umumnya terjadi akibat hiperventilasi yang menyebabkan eliminasi karbon dioksida berlangsung berlebihan. Hipokapnia dapat dipengaruhi oleh peningkatan frekuensi napas, peningkatan volume tidal, maupun ventilasi mekanik yang terlalu tinggi. Secara fisiologis, hipokapnia dapat menyebabkan vasokonstriksi serebral, penurunan aliran darah otak, dan penurunan *cardiac output* (Pandya, 2023).

Nilai EtCO₂ di atas 45 mmHg disebut hiperkapnia. Hiperkapnia terjadi akibat hipoventilasi atau gangguan eliminasi karbon dioksida sehingga terjadi penumpukan CO₂ dalam tubuh. Kondisi ini dapat disebabkan oleh ventilasi yang tidak adekuat, obstruksi jalan napas, gangguan fungsi paru, maupun waktu ekspirasi yang terlalu singkat sehingga karbon dioksida tidak tereliminasi secara optimal. Hiperkapnia dapat menyebabkan

peningkatan tekanan intrakranial, gangguan hemodinamik, serta peningkatan kerja sistem respirasi (Patel, Shah, & Mehta, 2024).

c. Faktor yang Mempengaruhi EtCO₂

Nilai EtCO₂ dipengaruhi oleh beberapa faktor fisiologis dan ventilasi mekanik yang berkaitan dengan produksi, transportasi, dan eliminasi karbon dioksida dalam tubuh. Perubahan pada faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan peningkatan maupun penurunan nilai EtCO₂ selama anestesi umum (Lee, Kim, & Park, 2022).

Faktor utama yang memengaruhi EtCO₂ adalah ventilasi alveolar. Ventilasi yang adekuat membantu eliminasi karbon dioksida berlangsung optimal sehingga nilai EtCO₂ tetap dalam batas normal. Hipovenilasi dapat menyebabkan retensi karbon dioksida dan meningkatkan nilai EtCO₂, sedangkan hiperventilasi menyebabkan pengeluaran karbon dioksida berlebihan sehingga nilai EtCO₂ menurun (Marini & Gattinoni, 2020).

Perfusi paru dan curah jantung juga berpengaruh terhadap nilai EtCO₂ karena karbon dioksida diangkut melalui aliran darah menuju paru-paru untuk dikeluarkan. Penurunan perfusi paru atau *cardiac output* dapat menyebabkan penurunan transportasi karbon dioksida ke alveoli sehingga nilai EtCO₂ menurun. Peningkatan metabolisme tubuh seperti demam, nyeri, atau peningkatan aktivitas simpatik dapat meningkatkan produksi karbon dioksida

dan menyebabkan kenaikan nilai EtCO₂ (Patel, Shah, & Mehta, 2024).

Faktor lain yang dapat memengaruhi EtCO₂ adalah kondisi jalan napas dan sistem ventilasi, seperti obstruksi Endotracheal Tube (ETT), kebocoran sirkuit ventilator, bronkospasme, serta *rebreathing* karbon dioksida. Gangguan tersebut dapat menyebabkan eliminasi karbon dioksida tidak optimal sehingga memengaruhi hasil pengukuran EtCO₂ selama intraoperatif (Hagberg & Artime, 2020).

Peningkatan nilai EtCO₂ atau hiperkapnia perlu segera diantisipasi dengan meningkatkan ventilasi alveolar melalui penyesuaian *respiratory rate* atau tidal volume, mengevaluasi sirkuit ventilasi, serta memantau kondisi hemodinamik pasien secara kontinu. Penurunan nilai EtCO₂ atau hipokapnia dapat diantisipasi dengan menurunkan ventilasi berlebihan, menyesuaikan pengaturan ventilator, dan mempertahankan ventilasi dalam batas fisiologis untuk mencegah gangguan perfusi dan keseimbangan asam-basa selama anestesi umum (Pandya, 2023).

d. Hubungan EtCO₂ dengan Ventilasi Mekanik

EtCO₂ berfungsi sebagai indikator langsung efektivitas ventilasi alveolar. Peningkatan EtCO₂ menunjukkan hipoventilasi, sedangkan penurunan EtCO₂ menandakan hiperventilasi.

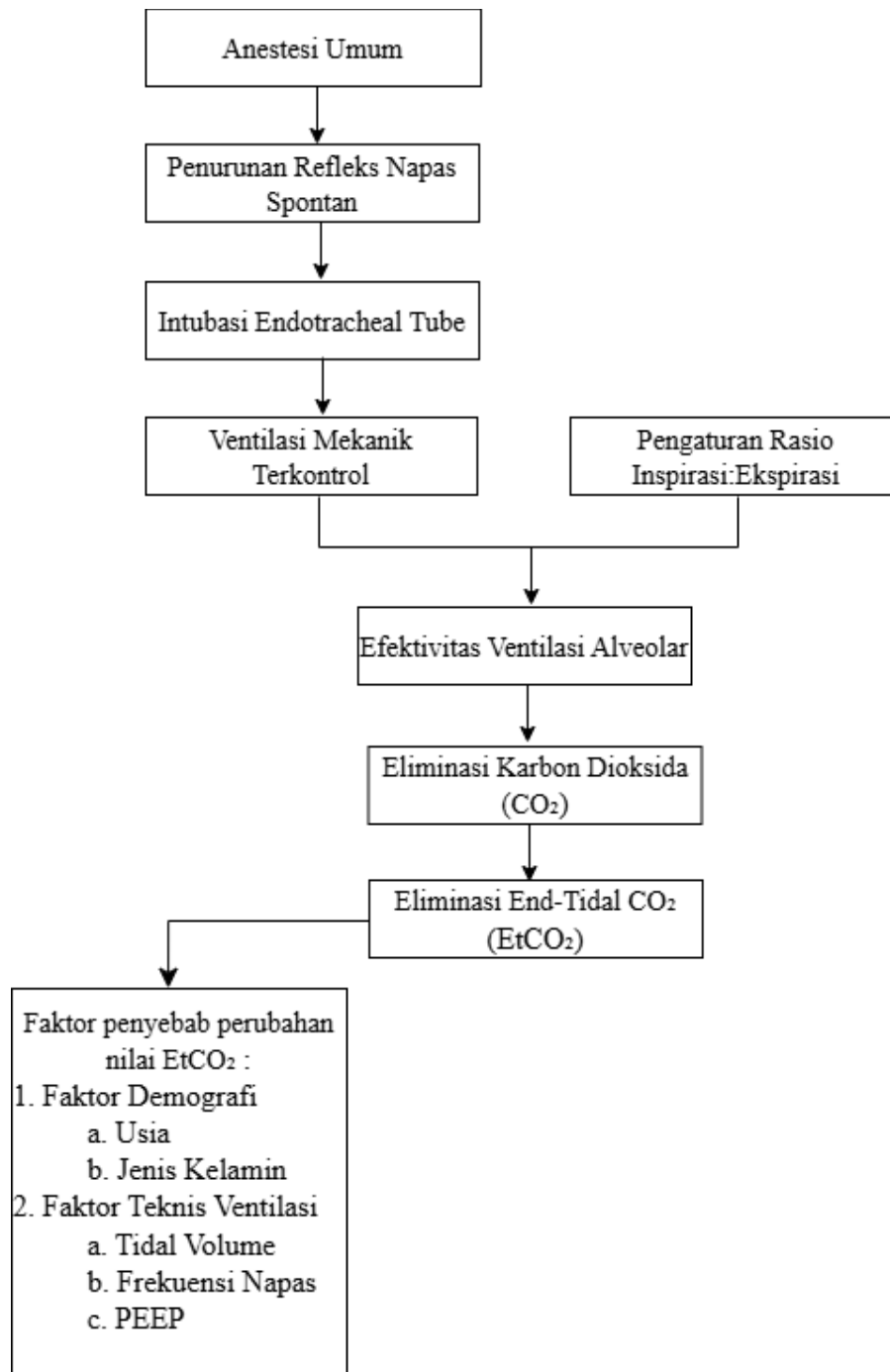
Perubahan rasio I:E turut memengaruhi waktu ekspirasi dan alveolar washout, sehingga berdampak pada nilai EtCO₂ yang terukur (Miller, 2020).

e. Hubungan Rasio Inspirasi–Ekspirasi dengan EtCO₂

Rasio inspirasi–ekspirasi memiliki keterkaitan erat dengan nilai EtCO₂ karena menentukan lamanya fase ekspirasi yang berperan dalam proses eliminasi karbon dioksida. Rasio I:E dengan fase ekspirasi yang lebih panjang memungkinkan pembuangan CO₂ berlangsung lebih efektif, sehingga nilai EtCO₂ cenderung lebih terkontrol.

Rasio dengan durasi inspirasi yang diperpanjang dapat mengurangi waktu ekspirasi, meningkatkan risiko *air trapping*, dan menghambat washout CO₂, yang pada akhirnya dapat menyebabkan peningkatan EtCO₂. Pada pasien anestesi umum yang menggunakan ETT, hubungan ini menjadi lebih nyata karena ventilasi sepenuhnya dikendalikan oleh ventilator, sehingga rasio I:E merupakan salah satu determinan penting dalam menjaga kestabilan ventilasi dan nilai EtCO₂ selama fase intraoperatif (Marini & Gattinoni, 2020).

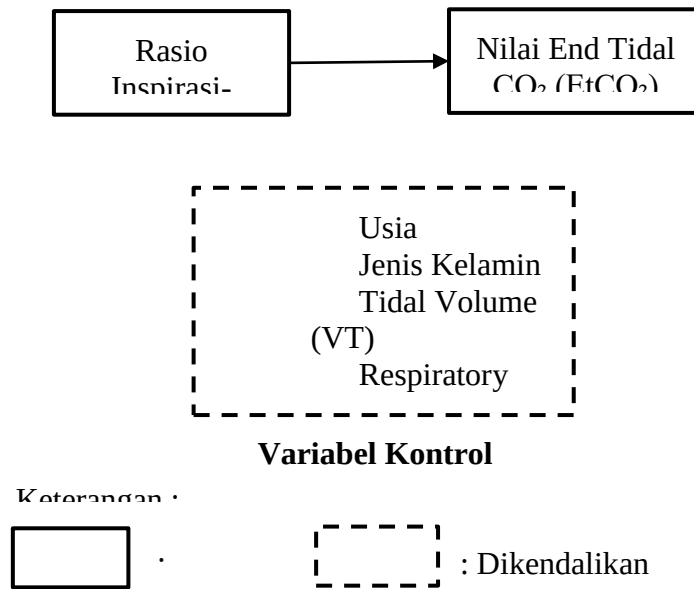
B. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori

Sumber : Marini (2020), Miller (2020), Nagelhout (2022), Hagberg (2020)

C. Kerangka Konsep



Gambar 2. Kerangka Konsep

D. Hipotesis Penelitian

- H_0 : Tidak terdapat hubungan antara rasio inspirasi–ekspirasi dengan nilai *End-Tidal CO₂* (EtCO₂) intraoperatif pada pasien anestesi umum dengan *endotracheal tube* (ETT).
- H_1 : Terdapat hubungan antara rasio inspirasi–ekspirasi (I:E) dengan nilai *End-Tidal CO₂* (EtCO₂) intraoperatif pada pasien anestesi umum dengan *endotracheal tube* (ETT).