

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Anestesi Umum

a. Definisi anestesi umum

Anestesi umum (*general anesthesia*) merupakan suatu kondisi tindakan farmakologis yang bertujuan untuk menghilangkan kesadaran diri, analgesia yang dapat diprediksi, dan menimbulkan amnesia yang bersifat reversibel serta relaksasi otot yang memungkinkan untuk dilakukannya tindakan pembedahan tanpa rasa sakit dan respon motorik yang bermakna dari pasien terhadap rangsangan bedah. Tindakan anestesi umum dilakukan dengan pemberian induksi obat anestesi yang disuntikkan secara intravena dan dipelihara melalui gas anestesi. Tujuan dari anestesi umum adalah untuk menciptakan kondisi yang aman dan stabil bagi pasien selama proses pembedahan dengan tetap melakukan kontrol fisiologis terhadap respirasi dan hemodinamik pasien (Millizia et al., 2023)

b. Fase anestesi

General anesthesia atau anestesi umum secara klinis dibagi menjadi beberapa fase utama, yaitu fase induksi, fase pemeliharaan (*maintenance*), fase kebangkitan (*emergence*), dan fase pemulihan (*recovery*). Setiap fase memiliki karakteristik fisiologis serta risiko

komplikasi yang berbeda, terutama dalam sistem yang berkaitan dengan respirasi dan jalan nafas, sehingga pembagian fase ini penting dalam anestesi (Millizia et al., 2023).

Fase induksi dan pemeliharaan umumnya masih berada dalam kondisi jalan nafas yang relatif terkontrol, baik dengan bantuan jalan nafas *endotracheal tube* maupun alat bantu jalan nafas lainnya, sehingga gangguan seperti kejadian obstruksi jalan nafas dapat diminimalkan dan diintervensikan langsung dengan ventilasi mekanik. Sebaliknya, pada fase emergens dan pemulihan terjadi periode transisi kritis, dimana kontrol jalan nafas secara bertahap dikembalikan dari ventilasi mekanik ke mekanisme secara fisiologis pasien.

Pada fase emergens, khususnya pada saat ekstubasi, ditandai dengan penurunan kedalaman anestesi yang terkadang tidak selalu sejalan dengan pemulihan refleks protektif jalan nafas. Kondisi ini menyebabkan pasien rentan mengalami respons refleks abnormal, seperti gangguan obstruksi jalan nafas dan spasme laring, terutama jika terjadi rangsangan pada laring saat alat bantu jalan nafas dilepas. Oleh karena itu, fase ekstubasi dianggap sebagai salah satu periode dengan risiko komplikasi respirasi dalam anestesi umum.

c. Kedalaman Anestesi (Stadium Anestesi)

Kedalaman anestesi merupakan tingkat depresi sistem saraf pusat akibat pemberian anestesi umum yang mempengaruhi kesadaran, respirasi, tonus otot, dan refleks protektif jalan napas. Kedalaman anestesi yang tidak adekuat pada fase ekstubasi dapat meningkatkan risiko komplikasi jalan napas, termasuk spasme laring (Butterworth et al., 2018). Menurut klasifikasi Guedel, stadium anestesi dibagi menjadi empat tahap, tanda-tanda dalam klasifikasi Gyedel ini mencakup pengamatan terhadap refleks bulu mata, pernapasan, gerakan bola mata, ukuran pupil serta gerakan otot (Samedi, B.P., 2021), tahapan tersebut yaitu:

1) Stadium I (Analgesia)

Stadium I dimulai sejak pemberian anestesi hingga hilangnya kesadaran. Pada tahap ini pasien masih sadar, refleks protektif jalan napas masih utuh, dan respirasi relatif normal (Latief et al., 2019).

2) Stadium II (Eksitasi/Delirium)

Stadium II terjadi setelah pasien kehilangan kesadaran hingga tercapainya respirasi yang lebih teratur. Pada tahap ini refleks jalan napas masih aktif atau hiperaktif, respirasi menjadi tidak teratur, dan stimulasi jalan napas dapat memicu batuk, *breath holding*, bronkospasme, maupun laringospasme. Stadium ini merupakan fase dengan risiko tertinggi

terjadinya spasme laring saat ekstubasi (Latief et al., 2019).

3) Stadium III

Stadium III merupakan fase anestesi bedah dan terbagi menjadi beberapa *plane* anestesi, yaitu:

- a) Plana 1: respirasi mulai teratur dan refleks menelan mulai menurun.
- b) Plana 2: refleks laring mulai menghilang sehingga manipulasi jalan napas relatif lebih aman dilakukan.
- c) Plana 3: terjadi depresi respirasi progresif akibat anestesi yang semakin dalam.
- d) Plana 4: terjadi paralisis otot interkostal dan pasien mendekati kondisi apnea.

Pada fase ekstubasi, pasien umumnya berada pada transisi dari stadium III menuju pemulihan kesadaran. Ekstubasi pada anestesi yang terlalu ringan dapat memicu refleks laring secara berlebihan, sedangkan anestesi yang terlalu dalam dapat menyebabkan hipoventilasi dan obstruksi jalan napas pascaoperatif (Joffe & Aziz, 2021).

4) Stadium IV

Stadium IV merupakan kondisi anestesi yang terlalu dalam dan ditandai dengan depresi berat pusat respirasi serta sirkulasi yang dapat mengancam jiwa. Stadium ini harus dihindari dalam praktik anestesi (Butterworth et al., 2018).

Secara klinis, ekstubasi dapat dilakukan dalam kondisi *awake extubation* maupun *deep extubation*. *Awake extubation* dilakukan ketika pasien telah sadar dan refleks protektif jalan napas kembali adekuat, sedangkan *deep extubation* dilakukan saat pasien masih berada pada *plane* anestesi bedah yang cukup dalam sebelum refleks laring kembali aktif. Fase transisi anestesi ringan perlu diwaspadai karena merupakan periode dengan risiko lebih tinggi terhadap kejadian spasme laring akibat stimulasi jalan napas (Joffe & Aziz, 2021).

d. Fase ekstubasi dan risikonya

Ekstubasi trakeal merupakan suatu proses pelepasan alat jalan nafas setelah pasien dinilai mampu mempertahankan ventilasi spontan sebagai refleks jalan nafas secara mandiri. Fase ekstubasi diketahui sebagai periode transisi dari ventilasi terkontrol menuju kontrol fisiologis mandiri pasien, sehingga meskipun dipersepsikan sebagai tahap akhir dalam anestesi, fase ekstubasi justru dikenal sebagai salah satu paling berisiko dalam prosedur anestesi (Sibert et al., 2020).

Berbagai komplikasi dapat terjadi selama fase ini, antara lain obstruksi jalan napas, hipoventilasi, hipoksia, aspirasi, dan spasme laring. Risiko tersebut meningkat karena pada masa transisi terjadi pemulihan refleks protektif jalan napas yang dapat memicu respons berlebihan terhadap rangsangan mekanis maupun sekret yang masih berada di sekitar laring. Selain gangguan respirasi, ekstubasi juga dapat memicu respons simpatis akibat rangsangan jalan napas yang ditandai dengan peningkatan tekanan darah dan denyut jantung. Kombinasi perubahan ventilasi dan respons fisiologis tersebut menjadikan fase ekstubasi sebagai periode yang relevan untuk penerapan sistem deteksi dini untuk menilai risiko kejadian spasme laring.

2. Fisiologi Jalan Nafas

a. Refleks laring

Laring memiliki fungsi utama sebagai pengatur aliran udara dan pelindung saluran nafas bawah, yang merupakan struktur kunci dalam sistem jalan nafas. Salah satu mekanisme utama perlindungan jalan nafas adalah refleks laring, yaitu respons refleks terhadap rangsangan mekanis, kimia, atau termal pada mukosa laring. Rangsangan tersebut akan mengaktifasi reseptor sensorik yang dipersarafi oleh nervus laringeus superior, yang kemudian memicu respons motorik melalui nervus laringeus inferior berupa kontraksi otot-otot intrinsik laring. Respons ini kemudian bertujuan

mencegah aspirasi dan masuknya benda asing ke dalam trakea dan paru-paru.

Dalam kondisi fisiologis normal, refleks laring berperan sebagai mekanisme protektif yang adaptif. Namun, pada kondisi tertentu seperti perubahan kedalaman anestesi dapat menjadi respons berlebihan dan patologis akibat refleks tersebut. Studi neurofisiologi menunjukkan bahwa refleks laring sangat sensitif terhadap perubahan tingkat kesadaran, dimana refleks dapat tetap aktif meskipun pasien belum sepenuhnya sadar. Kondisi ini kemudian menjelaskan alasan spasme laring sering terjadi pada fase transisi anestesi, khususnya saat ekstubasi, masa ketika kontrol kortikal terhadap refleks belum pulih sepenuhnya.

b. Mekanisme protektif laring

Laring memiliki beberapa mekanisme protektif yang bekerja secara terintegrasi untuk menjaga patensi jalan nafas dan mencegah aspirasi. Mekanisme ini meliputi penutupan pita suara, elevasio laring, refleks batuk, dan pengaturan tonus otot laring.

Pada fase emergens dan ekstubasi, pemulihan refleks protektif tidak selalu terjadi secara sejalan dengan pemulihan kesadaran. Beberapa refleks, termasuk refleks laring, dapat pulih lebih cepat dibandingkan kontrol motorik dan ventilasi yang adekuat. Ketidaksinkronan ini menciptakan kondisi rawan terjadinya respons protektif yang berlebihan, seperti spasme laring.

Spasme laring dapat diartikan sebagai kegagalan mekanisme protektif laring untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan jalan nafas. Kontraksi laring persisten yang diharapkan memberikan perlindungan sementara, justru menimbulkan obstruksi jalan nafas akut.

3. Spasme Laring

a. Definisi spasme laring

Spasme laring (*laryngospasm*) adalah kondisi obstruksi jalan nafas akut yang disebabkan oleh kontraksi refleks dan tidak terkontrol dari otot-otot instrinsik laring, terutama otot adduktor pita suara, sehingga menyebabkan terjadinya penutupan glotis secara parsial maupun total. Spasme laring umumnya terjadi sebagai respons tubuh terhadap rangsangan laring pada keadaan sadar atau dalam kedalaman anestesi yang tidak adekuat, fenomena ini sering ditemukan saat masa transisi anestesi, khususnya fase ekstubasi. Fenomena terjadinya spasme laring selama fase ekstubasi ini terjadi ketika otot-otot laring yang berkontraksi secara involunter, sehingga menyebabkan penyempitan saluran pernapasan atas.

b. Patofisiologi spasme laring

Pada fase ekstubasi, respons refleks yang dihasilkan spasme laring yang ditandai oleh kontraksi involunter otot-otot laring, yang kemudian menyebabkan penutupan glotis secara parsial maupun

total. Kondisi ini dipicu oleh ketidaksinkronan antara pemulihan refleks protektif jalan napas dengan pemulihan kontrol ventilasi dan tingkat kesadaran pasien. Refleks laring, khususnya refleks aduksi pita suara, dapat kembali lebih cepat dibandingkan kontrol motorik respirasi dan kesadaran kortikal, sehingga rangsangan ringan seperti pelepasan tabung endotrakeal, akumulasi sekret, atau iritasi mukosa laring dapat memicu terjadinya spasme.

Selama fase ekstubasi, ketidaksinkronan antara pemulihan refleks protektif laring dengan kontrol ventilasi menjadi faktor kunci terjadinya spasme laring. Refleks laring dapat pulih lebih cepat dibandingkan dengan kontrol motorik respirasi dan kesadaran, sehingga stimulasi ringan seperti pelepasan tabung endotrakeal atau adanya sekret dapat memicu kejadian spasme. Obstruksi jalan nafas yang terjadi akan segera menyebabkan penurunan ventilasi alveolar, peningkatan tekanan intratorakal negatif, dan gangguan pertukaran gas.

c. Manifestasi klinis

Spasme laring merupakan suatu kondisi refleks glotis yang menyebabkan penutupan sebagian atau total jalan nafas akibat dari kontraksi kuat otot-otot laring. Secara klinis, spasme laring bervariasi dalam bentuk dan derajat obstruksi jalan nafas. Manifestasi awal sering berupa inspirasional stridor tinggi, yang menunjukkan adanya sebagian hambatan aliran udara melalui

glotis, sementara inspirasi masih terjadi namun dengan suara nafas abnormal. Jika spasme berkembang menjadi obstruksi total, suara nafas dapat menghilang secara keseluruhan meskipun pasien menunjukkan usaha bernafas kuat (*silent chest*) yang diikuti oleh pola nafas paradoks sebagai tanda ventilasi yang tidak efektif, yaitu dinding dada dan abdomen bergerak tidak sinkron.

Selain itu, tanda-tanda klinis lain yang sering dijumpai antara lain peningkatan usaha respirasi, retraksi dinding dada, takikardi atau bradikardi tergantung pada derajat hipoksia, serta desaturasi oksigen yang progresif jika obstruksi terus berlanjut. Manifestasi ini dapat berkembang cepat sehingga keterlambatan dalam identifikasi awal sering terjadi bila hanya mengandalkan pemeriksaan fisik atau oksimetri nadi, terutama pada pasien dengan tersedasi ringan pasca ekstubasi.

4. Faktor risiko spasme laring

Beberapa faktor telah diidentifikasi sebagai determinan utama terjadinya spasme laring selama anestesi umum. Faktor yang paling sering dilaporkan meliputi adanya infeksi saluran napas atas, usia pediatrik yang lebih muda, serta stimulasi jalan napas atas pada kondisi kedalaman anestesi yang tidak adekuat. Stimulasi tersebut dapat berasal dari keberadaan sekret, darah, aspirasi isi faring, maupun tindakan ekstubasi itu sendiri. Selain faktor pasien dan prosedur, tingkat pengalaman tenaga anestesi juga berperan, di mana kurangnya

pengalaman dikaitkan dengan peningkatan risiko terjadinya spasme laring (Talbi, 2015 dalam Nabhani et al., 2022). Berdasarkan penjelasan tersebut, faktor risiko spasme laring dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok berikut:

a. Faktor pasien

Faktor pasien menjadi determinan penting yang mempengaruhi sensitivitas refleks laring. Pada pasien dengan infeksi saluran nafas atas aktif atau residual diketahui memiliki hiperreaktivitas jalan nafas akibat inflamasi mukosa sehingga lebih rentan mengalami spasme laring. Selain itu, usia pediatrik, khususnya anak usia lebih muda, memiliki refleks laring yang lebih sensitive dan lumen jalan nafas yang lebih sempit, sehingga risiko obstruksi akibat spasme laring menjadi lebih tinggi dibandingkan pasien dewasa.

1) Usia

Salah satu faktor risiko yang kuat berperan dalam kejadian spasme laring adalah faktor usia karena adanya perubahan fisiologis dan anatomi jalan nafas yang terjadi pada kelompok usia tertentu. Pada pasien pediatrik dan dewasa muda, refleks protektif laring jauh lebih sensitif dibandingkan usia dewasa. Secara anatomis, laring pada bayi dan anak memiliki diameter yang lebih kecil, sehingga kondisi dengan sedikit edema atau rangsangan dapat menyebabkan

penyempitan signifikan pada jalan nafas. Hal ini meningkatkan kecenderungan terjadinya obstruksi laring baik parsial maupun total. Pada penelitian oleh (Varricchio et al., 2020) menunjukkan bahwa kelompok usia ini memiliki risiko spasme laring yang lebih tinggi meskipun rangsangan yang diberikan sangat minimal.

Pada pasien usia muda, selain dari aspek anatomis, faktor neurologis juga memegang peran penting seperti koordinasi antara refleks protektif laring dan mekanisme pengendalian pernapasan yang belum matang sepenuhnya. Ketidaksinkronan yang dihasilkan oleh refleks glottis yang Kembali aktif lebih cepat dibandingkan refleks ventilasi selama fase ekstubasi ini menyebabkan glottis lebih mudah menutup sebagai respons terhadap rangsangan kecil seperti sekresi pergerakan tabung endotrakeal, atau perubahan tekanan udara pada tabung. (Birlie Chekol & Yaregal Melesse, 2020) menegaskan bahwa hiperreaktivitas ini memicu spasme laring pada saat transisi dari ventilasi terkontrol ke ventilasi spontan. Sebaliknya, pada pasien dewasa dan lansia, sensitivitas refleks jalan napas cenderung menurun karena tonus otot dan respons saraf yang berkurang sehingga risiko spasme lebih rendah.

2) Infeksi Saluran Nafas Atas (ISPA)

Riwayat infeksi saluran nafas atas menyebabkan inflamasi mukosa saluran nafas yang memicu edema, peningkatan sekret, dan gangguan fungsi mukosiliar. Proses ini membuat reseptor jalan nafas menjadi lebih sensitif sehingga meningkatkan sensibilitas dan hiperreaktivitas jalan nafas terhadap rangsangan. Berdasarkan kondisi tersebut, peningkatan risiko refleks protektif yang berlebihan seperti spasme laring terutama saat manipulasi saluran nafas seperti pada fase ekstubasi (Varricchio et al., 2020).

Selain itu, inflamasi saluran nafas atas akibat ISPA juga meningkatkan risiko terjadinya komplikasi respirasi karena refleks protektif jalan nafas menjadi lebih mudah teraktivasi (Varricchio et al., 2020). Pada penelitian klinis, ISPA terbukti sebagai risiko signifikan terhadap spasme laring, dengan pasien yang memiliki riwayat ISPA menunjukkan risiko hampir tiga lipat mengalami spasme laring dibandingkan pasien tanpa riwayat ISPA (Birlie Chekol & Yaregal Melesse, 2020).

3) Kondisi Jalan Nafas (Kriteria LEMON)

Kondisi jalan nafas merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan manajemen jalan nafas selama anestesi umum. Jalan nafas yang sulit dapat meningkatkan risiko komplikasi perioperatif, termasuk hipoventilasi, trauma jalan nafas, hingga spasme laring akibat

stimulasi berlebihan pada struktur laring saat manipulasi jalan napas (Apfelbaum et al., 2022).

Salah satu metode penilaian jalan napas yang umum digunakan adalah kriteria LEMON. Metode ini digunakan untuk memprediksi kemungkinan kesulitan ventilasi maupun intubasi dengan menilai kondisi anatomi dan mobilitas jalan napas pasien (Walls & Murphy, 2008 dalam Mouri et al., 2023). Kriteria LEMON terdiri dari lima komponen penilaian, yaitu:

1) Look Extrenally (L)

Penilaian dilakukan dengan melihat kondisi fisik pasien yang dapat mempersulit manajemen jalan napas, seperti obesitas, bentuk wajah abnormal, gigi menonjol, janggut tebal, atau kelainan mandibula.

2) Evaluate 3-3-2 Rule (E)

Komponen ini menilai proporsi anatomi jalan napas menggunakan aturan 3-3-2, yaitu:

- a) bukaan mulut minimal tiga jari,
- b) jarak mandibula ke os hyoid minimal tiga jari,
- c) jarak os hyoid ke kartilago tiroid minimal dua jari.

Hasil yang tidak sesuai dapat menunjukkan adanya keterbatasan ruang untuk manipulasi jalan napas.

3) Mallampati Score (M)

Penilaian Mallampati dilakukan dengan meminta pasien membuka mulut dan menujulkan lidah untuk melihat struktur orofaring. Semakin tinggi klasifikasi Mallampati, maka semakin besar kemungkinan terjadinya kesulitan jalan napas.

4) Obstruction or Obesity (O)

Penilaian dilakukan terhadap adanya kondisi yang dapat menyebabkan obstruksi jalan napas maupun meningkatkan risiko kesulitan ventilasi, seperti edema, massa, sekret berlebih, riwayat infeksi saluran napas atas (ISPA), serta obesitas.

Obesitas dapat menyebabkan penyempitan jalan napas akibat penumpukan jaringan lemak pada area leher dan orofaring, sehingga meningkatkan risiko terjadinya obstruksi jalan napas dan kesulitan saat manipulasi jalan napas. Kondisi obstruksi maupun obesitas juga dapat meningkatkan stimulasi refleks laring selama tindakan anestesi dan fase ekstubasi

5) Neck Mobility (N)

Mobilitas leher dinilai untuk mengetahui kemampuan pasien dalam melakukan ekstensi dan fleksi leher. Keterbatasan mobilitas leher dapat menyulitkan visualisasi jalan napas saat tindakan intubasi maupun ekstubasi.

Penggunaan kriteria LEMON dapat digunakan untuk mengidentifikasi pasien dengan risiko jalan napas sulit sebelum tindakan dilakukan. Pasien dengan kondisi jalan napas sulit memiliki risiko lebih tinggi mengalami stimulasi refleks laring selama manipulasi jalan napas, sehingga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya spasme laring pada fase ekstubasi (Apfelbaum et al., 2022).

b. Faktor anestesi

Spasme laring sering terjadi pada kondisi kedalaman anestesi yang tidak memadai, terutama saat fase transisi antara anestesi dalam dan kesadaran. Pada kondisi ini, refleks protektif jalan nafas mulai kembali, namun kontrol ventilasi belum sepenuhnya stabil. Stimulasi pada fase ini dapat memicu kontraksi refleks otot laring yang berlebihan.

c. Faktor prosedural

Stimulasi mekanik atau kimia pada jalan nafas atas merupakan pencetus langsung spasme laring. Adanya sekret, darah,

atau sisa cairan irigasi di daerah faring dan laring dapat merangsang langsung refleks laring secara tiba-tiba, terutama bila dilakukan tanpa kontrol kedalaman ventilasi dan kedalaman anestesi yang adekuat.

5. Monitoring Respirasi Menggunakan *End-Tidal CO₂*

a. Prinsip kapnografi

Kapnografi merupakan metode pemantauan non-invasif yang bekerja dengan cara mengukur konsentrasi karbon dioksida pada udara ekshalasi secara kontinyu, yang ditampilkan dalam bentuk nilai numerik *end-tidal CO₂* dan kurva gelombang kapnogram. Nilai EtCO₂ menunjukkan tekanan parsial CO₂ pada akhir ekspirasi dan mencerminkan interaksi antara ventilasi alveolar, perfusi paru, serta metabolisme jaringan (Vijitpavan et al., 2025).

Dalam prosedur anestesi umum, kapnografi digunakan sebagai standar pemantauan ventilasi untuk memastikan patensi jalan nafas, kecukupan ventilasi, dan keberhasilan manajemen jalan nafas. Berbeda dengan oksimetri nadi yang menggambarkan oksigenasi secara tidak langsung dan sering kali terlambat, kapnografi memberikan informasi langsung secara *real-time* mengenai ventilasi dan perubahan fungsi jalan nafas.

Pada fase ekstubasi, transisi jalan nafas pasien dari ventilasi terkontrol ke ventilasi spontan memerlukan pemantauan, sehingga

perubahan nilai dan pola EtCO_2 menjadi indikator terhadap gangguan ventilasi dan obstruksi jalan nafas yang mungkin terjadi sebelum munculnya tanda hipoksemia klinis.

b. Pola EtCO_2 normal

End-tidal CO_2 merupakan nilai tekanan parsial karbon dioksida pada akhir fase ekspirasi yang mencerminkan keseimbangan antara produksi CCO_2 metabolik, perfusi pulmonal, dan ventilasi alveolar. Dalam kondisi fisiologis normal, nilai EtCO_2 berkisar antara 35-45 mmHg, dengan asumsi fungsi paru dan sirkulasi adekuat serta tidak terdapat gangguan ventilasi atau perfusi paru yang signifikan. Nilai ini umumnya mendekati tekanan parsial CCO_2 arteri PaCCO_2 , dengan selisih dari nilai normal sekitar 2-5 mmHg akibat dari adanya ruang mati fisiologis.

Secara grafis, pola EtCO_2 normal ditampilkan dalam bentuk kurva kapnografi berbentuk persegi (*rectangular waveform*) yang terdiri dari empat fase utama:

- 1) Fase I, merepresentasikan awal ekspirasi yang berasal dari ruang mati anatomis dan ditandai dengan kadar EtCO_2 mendekati nol
- 2) Fase II, menunjukkan peningkatan tajam kadar EtCO_2 akibat pencampuran udara ruang mati dengan gas alveolar

- 3) Fase III, yang dikenal sebagai alveolar plateau, mencerminkan ekshalasi gas alveolar secara stabil dan homogen. Titik tertinggi pada akhir fase III merupakan nilai EtCO₂ yang digunakan sebagai indikator kuantitatif ventilasi
- 4) Fase 0 atau fase inspirasi ditandai dengan penurunan cepat kurva menuju nol akibat masuknya udara segar ke saluran nafas

Pola kurva yang teratur, plateau yang relatif datar, serta nilai EtCO₂ yang stabil menunjukkan ventilasi alveolar yang efektif dan patensi jalan nafas yang baik. Pada fase ekstubasi, keberadaan pola EtCO₂ normal memiliki peran penting sebagai indikator awal bahwa pasien mampu mempertahankan ventilasi spontan yang adekuat. Sebaliknya, perubahan bentuk kurva atau penurunan mendadak nilai EtCO₂ dapat menjadi petunjuk awal adanya gangguan ventilasi atau obstruksi jalan nafas bahkan sebelum terjadinya penurunan saturasi oksigen.

c. Perubahan EtCO₂ pada obstruksi jalan nafas

Obstruksi jalan nafas parsial maupun total dapat menyebabkan perubahan khas pada nilai dan gelombang EtCO₂. Pada kondisi obstruksi parsial, seperti akibat penurunan tonus otot faring atau peningkatan resistensi jalan nafas atas, kapnogram menunjukkan peningkatan fase ekspirasi dengan kemiringan yang

memanjang (*shark-fin appearance*), disertai dengan peningkatan atau fluktuasi nilai EtCO₂.

Sebaliknya, pada obstruksi total, aliran udara ekshalasi terhenti sehingga gelombang EtCO₂ menghilang secara tiba-tiba. Kondisi ini sering terjadi lebih awal dibandingkan penurunan saturasi oksigen, karena cadangan oksigen dalam tubuh masih mampu mempertahankan SpO₂ selama beberapa puluh detik hingga menit

Beberapa studi observasional menunjukkan bahwa pemantauan kapnografi non-invasif telah menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi gangguan pernapasan secara dini dibandingkan pemantauan konvensional seperti *pulse oximetry*. Kapnografi mampu mengidentifikasi episode apnea dan hipoventilasi sebelum terjadi desaturasi oksigen, sehingga meningkatkan keselamatan pasien melalui deteksi dini gangguan ventilasi (Català Altarriba et al., 2025).

d. EtCO₂ pada spasme laring

Spasme laring merupakan bentuk obstruksi jalan nafas akut yang ditandai oleh penutupan glotis secara refleks, sehingga menghambat atau menghentikan aliran udara ke paru. Pada kejadian spasme laring total, kapnografi menunjukkan hilangnya gelombang EtCO₂ secara mendadak akibat tidak adanya udara ekshalasi, meskipun upaya nafas masih berlangsung

Pada spasme laring parsial, gelombang EtCO₂ dapat tampak tidak teratur dengan amplitudo menurun dan nilai EtCO₂ fluktuatif, yang mencerminkan ventilasi alveolar yang tidak efektif. Perubahan ini sering muncul sebelum tanda klinis seperti retraksi dinding dada atau desaturasi oksigen, sehingga EtCO₂ berpotensi menjadi indikator awal mendeteksi kejadian spasme laring pada fase ekstubasi

6. Pengembangan Instrumen

a. *Content Validity Index (CVI)*

Content validity atau validitas isi merupakan derajat sejauh mana item dalam suatu instrumen mampu merepresentasikan konsep yang akan diukur sesuai dengan tujuan pengembangan instrumen (Suryadi et al., 2023). Pada penelitian pengembangan instrumen, validitas isi menjadi tahap awal yang penting untuk memastikan bahwa setiap item yang disusun telah sesuai dengan konstruk teoritis dan relevan dengan fenomena yang diteliti.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk menilai validitas isi adalah *Content Validity Index (CVI)*. Metode ini digunakan untuk mengukur tingkat kesepakatan para ahli terhadap relevansi setiap item instrumen berdasarkan tujuan pengukuran. Penilaian dilakukan menggunakan skala relevansi, kemudian dihitung proporsi ahli yang menyatakan bahwa suatu item relevan (Lynn, 1986).

Penilaian validitas isi dapat dilakukan pada tingkat item menggunakan *Item Content Validity Index* (I-CVI) dan pada tingkat skala menggunakan *Scale Content Validity Index* (S-CVI/Ave). I-CVI menggambarkan proporsi kesepakatan ahli terhadap relevansi suatu item, sedangkan S-CVI/Ave menunjukkan tingkat validitas isi instrumen secara keseluruhan yang diperoleh dari rata-rata nilai I-CVI seluruh item.

Menurut Lynn (1986), pada instrumen yang dinilai oleh tiga orang ahli, suatu item dinyatakan memiliki validitas isi yang baik apabila memperoleh nilai $I-CVI \geq 0,78$. Sementara itu, nilai $S-CVI/Ave \geq 0,90$ menunjukkan bahwa instrumen memiliki validitas isi yang sangat baik dan layak untuk dilanjutkan ke tahap pengujian berikutnya. Berdasarkan hal tersebut, metode CVI digunakan dalam penelitian pengembangan instrumen kesehatan karena mampu memberikan gambaran objektif mengenai kesesuaian item berdasarkan penilaian para ahli.

b. Uji Kelayakan Instrumen (*Pilot Study*)

Uji kelayakan instrumen (*pilot study*) merupakan tahap awal yang dilakukan sebelum instrumen digunakan pada populasi penelitian yang lebih luas. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi keterpakaian instrumen, kejelasan item, kemudahan penggunaan,

serta mengidentifikasi kendala yang mungkin muncul selama proses pengumpulan data (DeVellis, 2017).

Pelaksanaan *pilot study* memungkinkan peneliti memperoleh gambaran mengenai kesesuaian instrumen dengan kondisi lapangan, termasuk kemudahan pengisian, kejelasan petunjuk penggunaan, dan kemampuan instrumen dalam mengidentifikasi fenomena yang diamati. Selain itu, tahap ini juga dapat digunakan untuk menilai konsistensi awal instrumen serta menentukan apakah diperlukan revisi sebelum instrumen diterapkan pada penelitian yang lebih luas.

Dalam pengembangan instrumen klinis, *pilot study* berperan untuk memastikan bahwa instrumen tidak hanya valid secara teoritis, tetapi juga dapat digunakan secara praktis dalam situasi klinis yang sebenarnya. Hasil dari uji kelayakan digunakan sebagai dasar penyempurnaan instrumen sebelum tahap implementasi lebih lanjut.

7. Pengembangan Instrumen Deteksi Dini Spasme Laring

Penentuan komponen dalam instrumen *Detection Score Laryngospasm* (DSL) didasarkan pada teori dan hasil penelitian sebelumnya mengenai faktor risiko spasme laring. Beberapa faktor yang secara konsisten dilaporkan berhubungan dengan peningkatan risiko spasme laring, yaitu usia, riwayat infeksi saluran napas atas

(ISPA), kondisi jalan napas berdasarkan asesmen LEMON, stadium anestesi saat ekstubasi, serta perubahan nilai EtCO₂. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut digunakan sebagai komponen penyusun instrumen DSL dan dikembangkan dalam bentuk sistem skoring untuk membantu proses skrining awal spasme laring pada fase ekstubasi

a. Usia

Pengolompokkan usia pada instrumen ini mencerminkan perbedaan sensitivitas refleks laring yang berdasarkan patofisiologis. Dalam konteks risiko spasme laring yang tidak meningkat secara linear, tapi berdasarkan fase fisiologis jalan nafas (Cook et al., 2023; Olsson & Hallen, 1984).

- 1) Pada usia kurang dari 20 tahun, dasar patofisiologisnya menunjukkan refleks laring lebih sensitif, diameter jalan nafas lebih sempit, ambang refleks protektif lebih rendah sehingga risiko spasme laring lebih tinggi
- 2) Usia 20-50 tahun, fungsi jalan nafas relative stabil, refleks protektif lebih matang, menunjukkan risiko sedang
- 3) Usia lebih dari 50 tahun, refleks laring cenderung menurun, respons refleks protektif berkurang, sehingga risiko relatif lebih rendah untuk spasme refleks

b. Kriteria LEMON

Penggunaan kriteria LEMON pada instrumen ini didasarkan pada hubungan antara kondisi jalan napas sulit dengan

peningkatan risiko spasme laring selama manipulasi jalan napas dan fase ekstubasi. Penilaian LEMON digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kesulitan jalan napas melalui evaluasi anatomi eksternal, proporsi jalan napas, klasifikasi Mallampati, adanya obstruksi atau obesitas, serta mobilitas leher (Walls & Murphy, 2008 dalam Mouri et al., 2023).

Pada pasien dengan hasil asesmen LEMON yang lebih tinggi, kondisi jalan napas cenderung lebih sulit sehingga manipulasi jalan napas dapat menyebabkan stimulasi refleks laring yang lebih besar. Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya spasme laring akibat iritasi pada area glotis dan laring selama proses anestesi maupun ekstubasi (Apfelbaum et al., 2022).

Pengelompokan skor pada instrumen ini disusun berdasarkan tingkat risiko kesulitan jalan napas sebagai berikut:

1. Hasil asesmen LEMON > 3 dikategorikan sebagai risiko tinggi terhadap kesulitan jalan napas
2. Hasil asesmen LEMON 1–2 menunjukkan adanya beberapa faktor risiko jalan napas
3. Hasil asesmen LEMON 0 menunjukkan kondisi jalan napas relatif baik dan risiko kesulitan jalan napas lebih rendah

c. Infeksi saluran nafas atas (ISPA)

Infeksi saluran napas atas dapat menyebabkan inflamasi mukosa dan peningkatan sekret, yang berkontribusi terhadap peningkatan kepekaan refleks laring. Namun, pada praktik klinis sehari-hari, riwayat ISPA tidak selalu dapat ditentukan secara tegas karena gejala yang ringan atau informasi anamnesis yang terbatas, kondisi inflamasi saluran napas, baik aktif maupun residual, meningkatkan kejadian komplikasi respirasi perioperatif, khususnya pada fase pemulihan anestesi (Habre et al., 2022). Oleh karena itu, kategori “ragu” dimasukkan untuk menggambarkan kondisi tersebut dan menjaga keterpakaian instrumen dalam situasi klinis.

d. Stadium Anestesi

Komponen stadium anestesi pada instrumen ini dikembangkan berdasarkan hubungan kedalaman anestesi dengan aktivitas refleks protektif jalan napas selama fase ekstubasi. Perubahan kedalaman anestesi mempengaruhi sensitivitas refleks laring, pola respirasi, dan respons pasien terhadap stimulasi jalan napas (Latief et al., 2019).

Pada stadium anestesi yang terlalu ringan, refleks protektif laring mulai kembali aktif sehingga stimulasi jalan napas saat ekstubasi dapat memicu batuk, breath holding, maupun spasme laring. Sebaliknya, pada anestesi yang lebih dalam refleks laring

lebih tertekan sehingga risiko spasme laring relatif lebih rendah, meskipun anestesi yang terlalu dalam tetap berisiko menyebabkan depresi respirasi (Joffe & Aziz, 2021).

Pengelompokan skor stadium anestesi pada instrumen ini disusun berdasarkan tingkat aktivasi refleks jalan napas sebagai berikut:

1. Stadium I, karena pasien berada pada fase analgesia awal dengan stimulasi jalan napas yang relatif minimal.
2. Stadium III, karena refleks laring mulai menurun dan manipulasi jalan napas relatif lebih terkontrol.
3. Stadium II, refleks jalan napas berada pada kondisi paling aktif atau hiperreaktif, sehingga memiliki risiko tertinggi terhadap terjadinya spasme laring pada fase ekstubasi

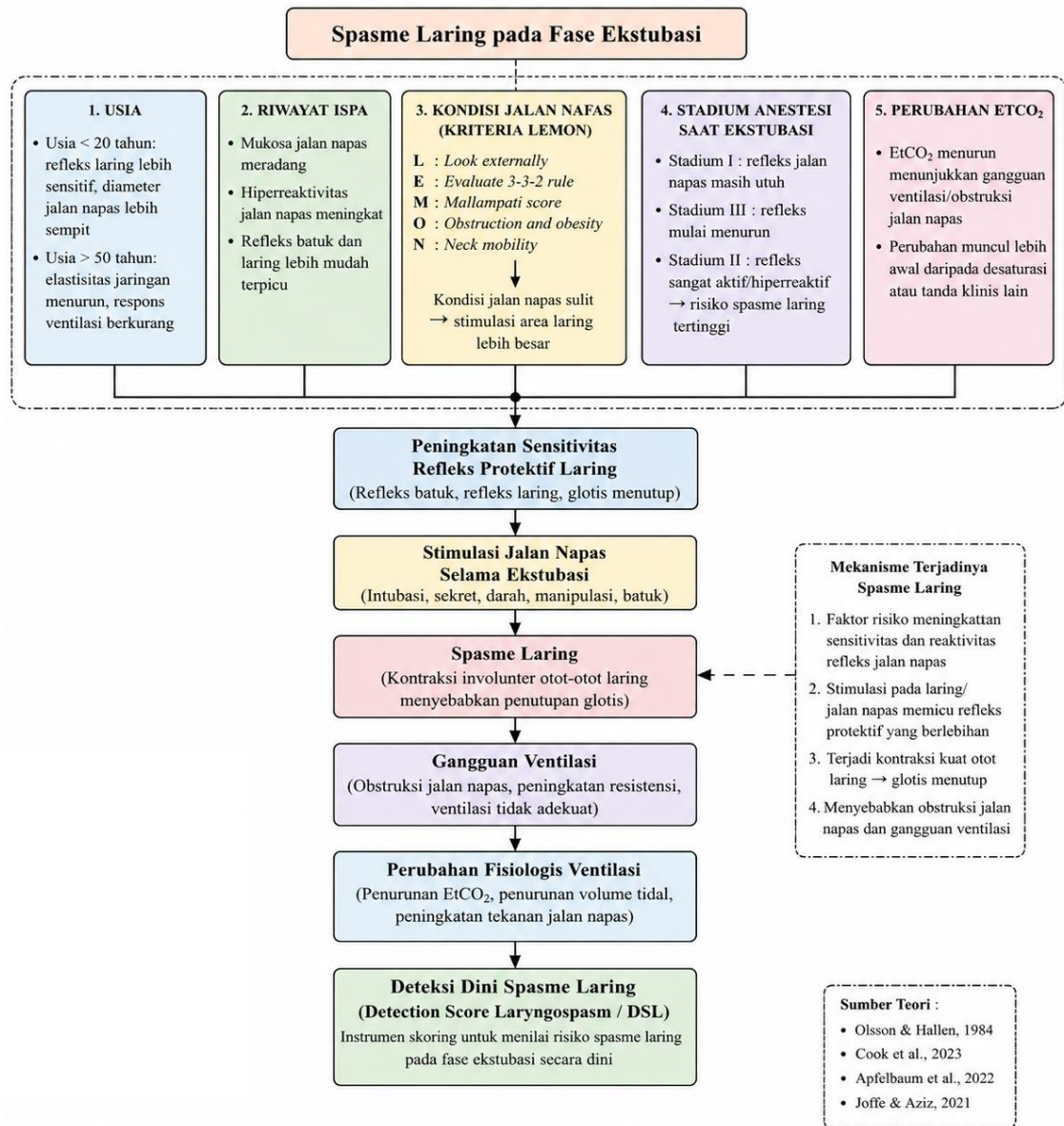
e. ΔEtCO_2

Perubahan nilai EtCO_2 dinilai berdasarkan selisih antara nilai sebelum dan sesudah ekstubasi, bukan berdasarkan angka absolut, karena nilai dasar EtCO_2 dapat bervariasi antar individu. Dalam kondisi gangguan jalan napas akut seperti spasme laring, perubahan EtCO_2 yang terjadi secara mendadak dinilai lebih bermakna secara klinis dibandingkan satu nilai tunggal. Komponen perubahan nilai EtCO_2 dalam instrumen DSL

dikategorikan menjadi penurunan <5 mmHg, 5–9 mmHg, dan ≥ 10 mmHg. Pengelompokan tersebut disusun berdasarkan kajian teoritis mengenai sensitivitas EtCO₂ terhadap gangguan ventilasi akibat obstruksi jalan napas dan digunakan untuk mempermudah proses skrining selama fase ekstubasi.

Hambatan ventilasi akibat spasme laring menyebabkan penurunan ventilasi alveolar dan aliran udara ekshalasi, sehingga nilai EtCO₂ dapat menurun secara cepat, bahkan sebelum terjadinya penurunan saturasi oksigen. Penurunan EtCO₂ yang lebih besar mencerminkan derajat hambatan jalan napas yang lebih berat, sedangkan penurunan yang lebih ringan dapat menggambarkan obstruksi parsial atau fase awal gangguan ventilasi (Kodali, 2013; Saunders et al., 2022).

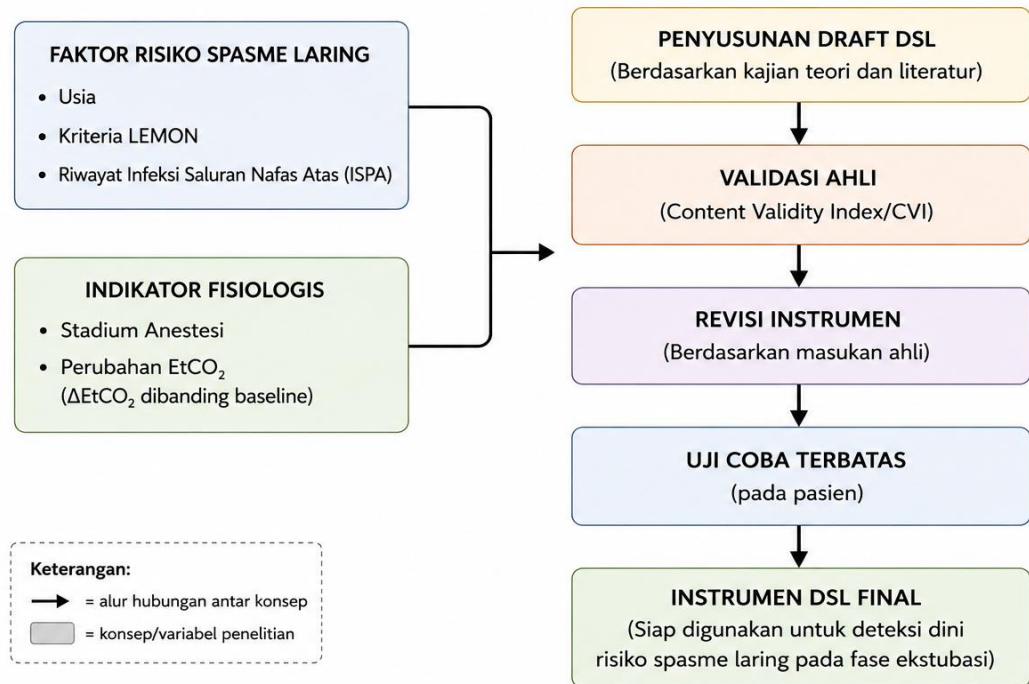
B. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori

Sumber: Olsson & Hallen, 1984; Cook et al, 2023; Apfelbaum et al., 2022; Joffe & Aziz, 2021

C. Kerangka Konsep



Gambar 2. Kerangka Konsep

D. Hipotesis

Protokol skrining awal spasme laring yang dikembangkan memiliki kemampuan dan layak untuk mendeteksi risiko kejadian spasme laring pada fase ekstubasi pasien anestesi umum.