BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Teori

1. *General anesthesia* Pada Bedah Saraf.

General anesthesia dalam bedah saraf didasarkan pada teori depresan sistem saraf pusat, di mana agen anestesi bekerja dengan menurunkan aktivitas neuronal pada tingkat kortikal dan subkortikal untuk menghasilkan kondisi tidak sadar, analgesia, amnesia, serta imobilisasi yang adekuat. Mekanisme ini melibatkan modulasi berbagai neurotransmiter inhibitori dan eksitatori, terutama melalui reseptor GABA dan glutamat, yang berperan penting dalam pengaturan kesadaran dan respons nyeri. Kedalaman anestesi harus dicapai secara seimbang agar tidak menimbulkan depresi berlebihan terhadap fungsi kardiovaskular maupun respirasi. Anestesi pada bedah saraf memiliki tujuan ganda, yaitu memungkinkan tindakan pembedahan berjalan optimal sekaligus menjaga homeostasis fisiologis otak. Homeostasis tersebut terutama berkaitan dengan tekanan perfusi serebral, aliran darah otak, dan metabolisme oksigen otak yang sangat sensitif terhadap perubahan sistemik. *General anesthesia* pada bedah saraf tidak hanya dipandang sebagai proses induksi tidak sadar, tetapi sebagai intervensi fisiologis yang kompleks dan terintegrasi (Gropper *et all*., 2024).

2. MAP dan perfusi serebral

Mean Arterial Pressure (MAP) merupakan tekanan rata-rata dalam arteri selama satu siklus jantung yang mencerminkan tekanan perfusi

Poltekkes Kemenkes Yogyakarta

sistemik ke berbagai organ tubuh. Berbeda dengan tekanan darah sistolik *(Systolic Blood Pressure)* dan tekanan darah diastolik *(Diastolic Blood Pressure)* yang hanya menggambarkan tekanan pada fase tertentu dari siklus jantung, MAP memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai tekanan yang diterima oleh jaringan selama proses perfusi. MAP menjadi salah satu parameter hemodinamik yang paling sering digunakan untuk menilai kecukupan sirkulasi, terutama pada pasien yang menjalani anestesi. Penurunan MAP yang berlangsung dalam waktu lama dapat menyebabkan gangguan perfusi organ vital, sedangkan peningkatan MAP yang berlebihan dapat meningkatkan beban kerja jantung serta risiko komplikasi vaskular (Butterworth *et all*., 2022; Miller *et all*., 2020).

Secara klinis, nilai MAP dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$MAP = DBP + 1/3\ (SBP - DBP)$$

atau

$$MAP = (SBP + 2DBP)/3$$

Rumus tersebut didasarkan pada asumsi bahwa fase diastol berlangsung sekitar dua kali lebih lama dibandingkan fase sistol pada frekuensi denyut jantung normal. Tekanan diastolik memiliki kontribusi yang lebih besar terhadap nilai rata-rata tekanan arteri dibandingkan tekanan sistolik. Pada kondisi takikardia berat, proporsi durasi sistol dan diastol berubah sehingga rumus tersebut menjadi kurang akurat. Pengukuran MAP secara

langsung menggunakan kateter arteri *(invasive arterial blood pressure monitoring)* lebih direkomendasikan karena memberikan hasil yang lebih presisi dan bersifat kontinu (Miller *et all*., 2020; Butterworth *et all*., 2022).

MAP memiliki peranan yang sangat dengan perfusi organ, khususnya perfusi serebral. Tekanan perfusi serebral *(Cerebral Perfusion Pressure/CPP)* dipengaruhi oleh selisih antara MAP dan tekanan intrakranial *(Intracranial Pressure/ICP)*, sebagaimana dirumuskan dalam persamaan CPP = MAP − ICP. Penurunan MAP dapat menyebabkan penurunan CPP sehingga aliran darah ke jaringan otak menjadi tidak adekuat. Peningkatan MAP yang tidak terkontrol juga dapat memperburuk edema serebri maupun perdarahan intrakranial pada pasien dengan gangguan neurologis tertentu. Pengendalian MAP selama periode perioperatif menjadi salah satu tujuan utama dalam mempertahankan perfusi otak yang optimal dan mencegah cedera neurologis sekunder (Cottrell & Patel, 2023).

MAP minimal sekitar 65 mmHg sering digunakan sebagai target untuk mempertahankan perfusi organ pada sebagian besar pasien dewasa, terutama pada kondisi kritis maupun selama anestesi umum. Target tersebut tidak bersifat mutlak karena kebutuhan perfusi setiap individu dapat berbeda sesuai kondisi klinis. Pasien dengan hipertensi kronis, misalnya, memiliki kurva autoregulasi serebral yang bergeser ke kanan sehingga memerlukan MAP yang lebih tinggi untuk mempertahankan

aliran darah otak yang adekuat. Pada pasien tanpa riwayat hipertensi, MAP yang lebih rendah masih dapat ditoleransi selama perfusi organ tetap terjaga. Interpretasi nilai MAP tidak hanya didasarkan pada angka absolut, tetapi juga harus mempertimbangkan nilai tekanan darah dasar *(baseline blood pressure)*, status hemodinamik, respons terhadap terapi, serta kondisi neurologis pasien secara menyeluruh (Sessler *et all*., 2019; Cottrell & Patel, 2023).

MAP sering digunakan sebagai indikator utama kecukupan perfusi organ, termasuk perfusi serebral, ginjal, dan miokard. Pemantauan MAP secara kontinu memungkinkan tenaga anestesi mendeteksi lebih dini terjadinya hipotensi intraoperatif yang berpotensi menyebabkan komplikasi pascaoperasi, seperti cedera ginjal akut, cedera miokard, maupun gangguan neurologis. Pemeliharaan MAP dalam rentang yang sesuai dengan kondisi fisiologis pasien menjadi salah satu sasaran utama selama tindakan anestesi. Interpretasi MAP harus selalu dikaitkan dengan kondisi klinis secara keseluruhan, terutama nilai tekanan darah awal *(baseline)* serta status neurologis pasien, sehingga keputusan terapi dapat diberikan secara tepat dan individual (Butterworth *et all*., 2022; Wesselink *et all*., 2018).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai MAP pada pasien bedah saraf pasca-induksi anestesi dipengaruhi oleh berbagai faktor fisiologis dan farmakologis, antara lain:

1) Curah Jantung *(Cardiac Output)*

Penurunan kontraktilitas miokard akibat agen anestesi dapat menurunkan curah jantung, sehingga MAP menurun.

2) Resistensi Vaskular Sistemik (SVR)

Agen anestesi seperti propofol menyebabkan vasodilatasi perifer yang signifikan, menurunkan SVR dan MAP.

3) Status Volume Intravaskular

Hipovolemia akibat puasa preoperatif atau perdarahan memperburuk penurunan MAP saat induksi.

4) Obat Induksi dan Dosis

Dosis tinggi agen anestesi intravena meningkatkan risiko hipotensi melalui efek depresan kardiovaskular.

5) Usia dan Komorbiditas

Pasien usia lanjut atau dengan penyakit kardiovaskular memiliki respons hemodinamik yang lebih labil.

6) Tekanan Intrakranial (ICP)

Peningkatan ICP secara tidak langsung memengaruhi kebutuhan MAP yang lebih tinggi untuk mempertahankan CPP.

3. *Bispectral Index* (BIS)

BIS merupakan parameter yang diperoleh dari analisis sinyal elektroensefalografi (EEG) melalui algoritma bispektral yang dirancang untuk menilai tingkat kesadaran dan kedalaman anestesi. Analisis bispektral memungkinkan evaluasi hubungan fase dan frekuensi antar

gelombang EEG, sehingga memberikan informasi yang lebih kompleks dibandingkan analisis frekuensi konvensional. BIS dikembangkan berdasarkan teori bahwa perubahan aktivitas kortikal merupakan refleksi langsung dari tingkat depresi sistem saraf pusat akibat pemberian agen anestesi. Penurunan aktivitas neuron kortikal terjadi seiring meningkatnya efek hipnotik obat anestesi. BIS digunakan sebagai indikator kontinu yang menggambarkan transisi dari kondisi sadar menuju tidak sadar. BIS membantu memantau dan menyesuaikan kedalaman anestesi. (Dahaba *et all*., 2020).

Nilai BIS dinyatakan dalam skala numerik antara 0 hingga 100, yang mencerminkan spektrum aktivitas listrik otak dari kondisi sadar penuh hingga supresi aktivitas kortikal. Nilai BIS mendekati 100 menunjukkan aktivitas EEG yang menyerupai kondisi sadar. Nilai BIS yang semakin rendah mengindikasikan tingkat depresi aktivitas otak yang semakin dalam. Rentang nilai BIS 40–60 secara umum dianggap merepresentasikan kedalaman anestesi yang adekuat untuk pembedahan, karena pada rentang ini risiko kesadaran intraoperatif minimal. Nilai di bawah rentang tersebut sering dikaitkan dengan anestesi yang terlalu dalam dan berpotensi menimbulkan efek samping hemodinamik. Pemahaman terhadap rentang nilai BIS menjadi dasar penting dalam praktik anestesi modern (Gropper *et all*., 2024).

a. Dimensi dan Indikator Nilai BIS

1) Aktivitas EEG

Nilai BIS secara klinis diinterpretasikan dalam rentang:

a) BIS 100 pasien sadar penuh

b) BIS 70 sampai 90: sedasi ringan hingga dalam

c) BIS 60 sampai 40: *general anesthesia* adekuat

d) BIS <40: anestesi sangat dalam atau supresi EEG

Nilai BIS <40 dikaitkan dengan peningkatan risiko depresi kardiovaskular, hipotensi, dan luaran klinis yang lebih buruk terutama jika berlangsung dalam durasi yang panjang (Yoon *et all*., 2020). Interpretasi tersebut sejalan dengan konsep bahwa kedalaman anestesi tidak hanya berkaitan dengan risiko kesadaran intraoperatif, tetapi juga dengan stabilitas hemodinamik perioperatif. Nilai BIS merepresentasikan tingkat sinkronisasi, amplitudo, dan pola frekuensi sinyal elektroensefalografi kortikal yang dihasilkan oleh aktivitas neuron otak. Analisis bispektral memungkinkan identifikasi perubahan hubungan fase antar gelombang EEG yang tidak dapat ditangkap melalui analisis konvensional. Aktivitas EEG yang semakin tertekan ditandai dengan dominasi gelombang frekuensi rendah dan penurunan kompleksitas sinyal. Kondisi ini mencerminkan meningkatnya efek depresan agen anestesi terhadap korteks serebri. Semakin dalam anestesi yang diberikan,

semakin rendah aktivitas kortikal yang terdeteksi. BIS menjadi indikator sensitif terhadap perubahan aktivitas EEG selama anestesi (Dahaba *et all*., 2020).

2) Tingkat Kedalaman anestesi

BIS digunakan sebagai indikator objektif untuk menilai kedalaman anestesi secara kontinu sepanjang prosedur pembedahan. Penggunaan BIS membantu mencegah terjadinya anestesi yang terlalu dangkal, yang berisiko menimbulkan kesadaran intraoperatif dan respons stres. Sebaliknya, BIS juga berperan dalam mencegah anestesi yang terlalu dalam yang dapat menyebabkan depresi kardiovaskular. Nilai BIS memberikan panduan numerik yang mudah diinterpretasikan dalam pengambilan keputusan klinis. Dengan pemantauan yang tepat, keseimbangan antara keamanan dan efektivitas anestesi dapat dicapai. BIS menjadi alat penting dalam optimalisasi kedalaman anestesi (Rüsch *et all*., 2020).

3) Respons terhadap Dosis anestesi

Nilai BIS menunjukkan korelasi yang erat dengan dosis agen anestesi yang diberikan, terutama agen hipnotik seperti propofol dan anestesi inhalasi. Peningkatan dosis anestetik umumnya diikuti oleh penurunan nilai BIS secara proporsional. Ini memungkinkan anestesiolog menyesuaikan dosis obat secara individual berdasarkan respons otak pasien. Variabilitas respons

antar individu menjadikan pendekatan berbasis BIS lebih unggul dibandingkan dosis standar semata. Penyesuaian dosis yang lebih presisi berpotensi mengurangi efek samping sistemik. BIS berfungsi sebagai alat bantu penting dalam personalisasi anestesi (Xiang *et all*., 2025).

4) Stabilitas Selama Induksi anestesi

Perubahan cepat nilai BIS selama fase induksi mencerminkan dinamika kedalaman anestesi yang berlangsung dalam waktu singkat. Fase ini merupakan periode transisi kritis dari kondisi sadar menuju anestesi penuh. Fluktuasi nilai BIS yang tajam dapat mengindikasikan perubahan mendadak dalam aktivitas kortikal. Kondisi tersebut sering kali berkaitan dengan pemberian dosis anestesi yang cepat atau berlebihan. Perubahan kedalaman anestesi yang abrupt berpotensi memengaruhi stabilitas hemodinamik pasien. Pemantauan dinamika BIS selama induksi menjadi penting dalam upaya pencegahan hipotensi pasca-induksi (Raj *et all*., 2025).

b. Faktor yang mempengaruhi nilai MAP dan BIS

1) Usia

Usia pasien merupakan salah satu faktor pengganggu yang dapat memengaruhi hubungan antara MAP dan BIS selama anestesi umum. Proses penuaan menyebabkan penurunan elastisitas pembuluh darah, perubahan sensitivitas reseptor

barorefleks, serta penurunan cadangan fisiologis sistem kardiovaskular. Lansia memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap obat anestesi sehingga membutuhkan dosis yang lebih rendah untuk mencapai kedalaman anestesi yang sama. Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya hipotensi pasca-induksi sekaligus penurunan nilai BIS yang lebih cepat dibandingkan usia muda. Perubahan fisiologis akibat penuaan ini berpotensi menjadi faktor perancu dalam analisis hubungan antara MAP dan BIS. (Gropper *et all*., 2019).

2) Jenis kelamin

Jenis kelamin merupakan salah satu faktor demografis yang dapat memengaruhi respons fisiologis. Perbedaan hormonal, komposisi tubuh, distribusi lemak, serta karakteristik sistem kardiovaskular antara laki-laki dan perempuan dapat memengaruhi farmakokinetik dan farmakodinamik obat anestesi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perempuan cenderung memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap agen anestesi intravena seperti propofol, sehingga dapat mengalami penurunan nilai BIS lebih cepat dibandingkan laki-laki pada dosis yang sama. Respons hemodinamik terhadap induksi anestesi juga dapat berbeda berdasarkan jenis kelamin akibat variasi aktivitas sistem saraf otonom dan regulasi vaskular. Perbedaan karakteristik tersebut berpotensi memengaruhi perubahan MAP maupun BIS secara bersamaan. (Gropper *et all*., 2019; Akavipat *et all*., 2023).

3) Jenis dan dosis obat

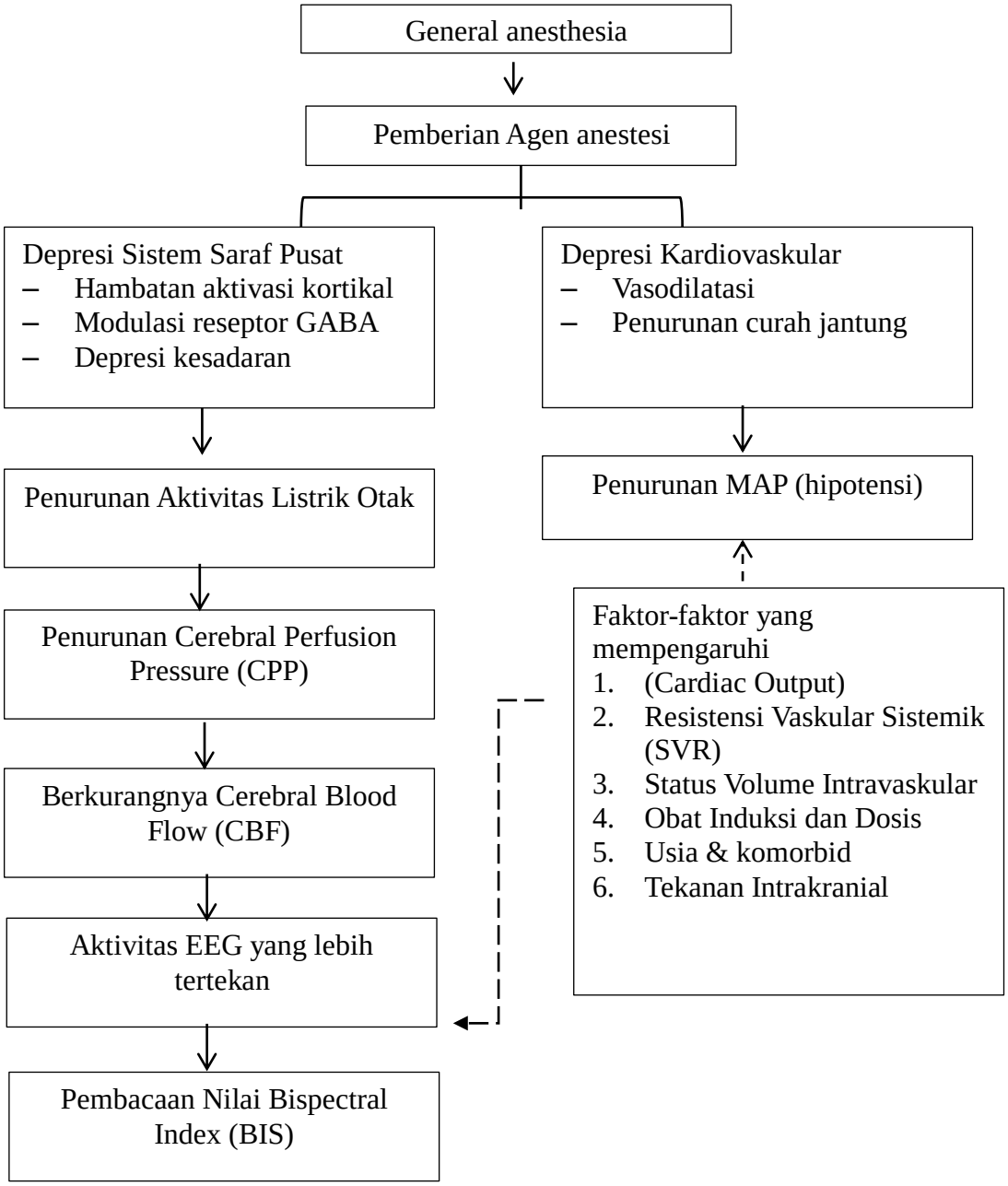
Agen anestesi intravena seperti propofol, remimazolam, dan etomidate memiliki karakteristik farmakodinamik yang berbeda terhadap sistem kardiovaskular dan sistem saraf pusat. Propofol diketahui memiliki efek vasodilatasi dan depresan miokard yang lebih kuat dibandingkan etomidate sehingga lebih sering menimbulkan hipotensi pasca-induksi. Seluruh agen tersebut tetap mampu menurunkan aktivitas kortikal sehingga menyebabkan penurunan nilai BIS sesuai dosis yang diberikan. Variasi jenis maupun dosis obat induksi dapat menghasilkan respons hemodinamik dan kedalaman anestesi yang berbeda pada setiap pasien. (Lee *et all*., 2024).

4) Nilai PaCO2

Nilai tekanan parsial karbon dioksida arteri (PaCO2) merupakan faktor fisiologis yang memiliki pengaruh besar terhadap aliran darah otak. Hiperkapnia menyebabkan vasodilatasi serebral sehingga meningkatkan aliran darah otak, sedangkan hipokapnia akibat hiperventilasi menyebabkan vasokonstriksi serebral dan penurunan perfusi otak. Perubahan perfusi tersebut dapat memengaruhi aktivitas listrik kortikal meskipun tekanan darah sistemik tetap stabil. Variasi PaCO2 dapat menyebabkan perubahan nilai BIS yang tidak berkaitan langsung dengan kedalaman anestesi. Pengaturan ventilasi

mekanik yang tidak seragam dapat menjadi sumber bias dalam penelitian mengenai hubungan MAP dan BIS. (Cottrell & Patel, 2024).

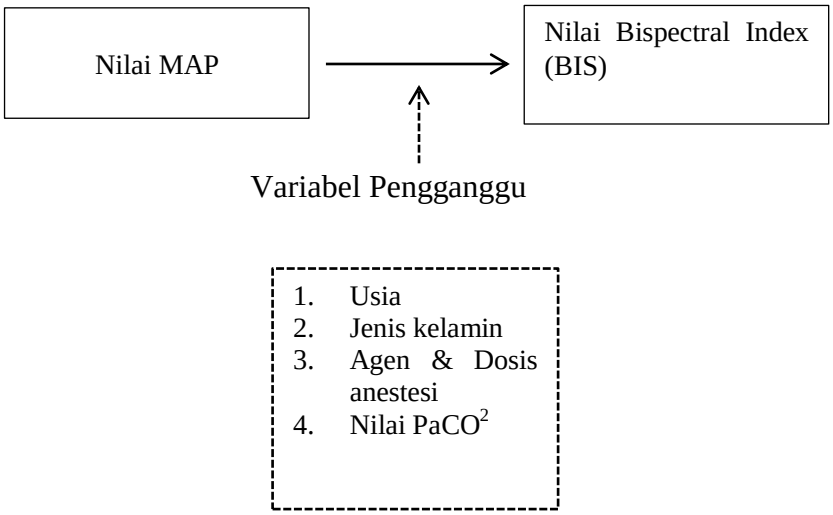
B. Kerangka Teori



Gambar 1 Kerangka Teori
Sumber: (Raj *et all*., 2025; Rüsch *et all*., 2020; Dahaba *et all*., 2020).

C. Kerangka Konsep

Variabel Independen Variabel Dependen



Gambar 2 Kerangka Konsep

Sumber: Dahaba *et all*., 2020; Gropper *et all*., 2024; Cottrell & Patel, 2023; Rüsch *et all*., 2020; Yildirim *et all*., 2023; Raj *et all*., 2025

Keterangan:

: Variabel yang diteliti

: Variabel tidak diteliti

D. Hipotesis

Ha: Terdapat hubungan MAP dan Nilai Bispectral Index pasca-induksi *General anesthesia* pada pasien bedah saraf.

Ho: Tidak terdapat hubungan MAP dan Nilai Bispectral Index pasca-induksi *General anesthesia* pada pasien bedah saraf.