

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Hemoglobin

a. Definisi dan Fungsi *Hemoglobin*

Hemoglobin (Hb) merupakan protein kompleks dalam sel darah merah yang memegang peran vital sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru untuk didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh (Gropper, *et al.*, 2024). Konsentrasi *Hb* yang adekuat menjadi syarat mutlak karena secara langsung mendikte kapasitas total angkut oksigen dalam darah (*Oxygen Content*). Dalam konteks pembedahan, kadar *Hb preoperatif* berfungsi sebagai indikator utama dari cadangan *fisiologis* pasien; sebuah "tabungan" oksigen yang menentukan seberapa tangguh pasien menghadapi stres bedah dan lonjakan kebutuhan *metabolisme* selama periode *intraoperatif* (Schmitt, *et al.*, 2022).

Secara *fisiologis*, fluktuasi kadar *hemoglobin* berdampak langsung pada kemampuan tubuh untuk menjaga stabilitas *perfusi* oksigen. Ketika konsentrasi *Hb* menurun, kapasitas angkut oksigen darah pun ikut tergerus, yang secara inheren memaksa sistem sirkulasi untuk melakukan respons kompensasi (Gropper, *et al.*, 2024).

Sebagai mekanisme perlindungan terhadap ancaman defisiensi oksigen ini, sistem *kardiovaskular* secara otomatis meningkatkan curah jantung demi menjamin pasokan oksigen ke organ vital, terutama otak. Manifestasi klinis dari upaya tubuh ini terlihat jelas pada perubahan

aktivitas *hemodinamik* pasien (Yu, *et al.*, 2024). Oleh karena itu, kadar *Hb* yang rendah secara teoretis akan menurunkan ambang batas toleransi pasien terhadap pengaruh anestesi, yang membuat mereka jauh lebih rentan terhadap badai fluktuasi *hemodinamik* saat menghadapi stimulus pembedahan saraf (Giribabu, *et al.*, 2024).

b. Definisi dan Formula Pengiriman Oksigen Total (*Oxygen Delivery*)

Dalam kacamata fisiologi *kardiovaskular* dan *anestesi*, total pengiriman oksigen ke seluruh jaringan tubuh setiap menitnya dikenal sebagai *Oxygen Delivery* (DO_2). Signifikansi (DO_2) terletak pada peran krusial kadar *Hemoglobin* (*Hb*) dan status *hemodinamik* sebagai penentu utama pasokan oksigen ke jaringan, khususnya sel-sel saraf yang memiliki sensitivitas sangat tinggi terhadap kondisi *hipoksia* (Yu, *et al.*, 2024). Rumus (DO_2) :

$$(DO_2) = CO \times CaO_2 \times 10$$

Dimana:

DO_2 = *Oxygen Delivery* (Pengiriman Oksigen) dalam mL O_2 /menit

CO = *Cardiac Output* (Curah Jantung)

CaO_2 = *Oxygen Content in Arterial Blood* (Kandungan Oksigen dalam Darah Arteri)

10 = Faktor konversi dari dL ke L

Efektivitas pengiriman oksigen ke jaringan sangat bergantung pada sinergi dua komponen utama:

1) Status *Hemodinamik* (*Cardiac Output*):

Curah jantung (*CO*) mencerminkan volume darah yang dipompa oleh ventrikel jantung per menit. Dalam konteks penelitian ini, status *hemodinamik* menjadi variabel kunci karena merupakan representasi langsung dari upaya jantung dalam mendistribusikan oksigen. Perubahan pada parameter *hemodinamik* adalah mekanisme kompensasi utama tubuh untuk menjaga stabilitas *DO₂* saat kapasitas angkut oksigen dalam darah menurun (Gropper, *et al.*, 2024).

2) Kandungan Oksigen Arteri (*CaO₂*):

CaO₂ menggambarkan jumlah oksigen total yang dibawa oleh darah *arteri*, baik yang terikat pada *Hb* maupun yang terlarut dalam *plasma*. Komponen ini didominasi secara signifikan oleh kadar *Hemoglobin*, sebagaimana terlihat dalam rumus:

$$CaO_2 = (1.34 \times Hb \times SaO_2) + (0.003 \times PaO_2)$$

Di sini, *Hb* berperan sebagai kontributor utama. Penurunan kadar *Hb* secara otomatis akan menggerus nilai *CaO₂*, yang kemudian memaksa jantung meningkatkan aktivitas *hemodinamiknya* demi menjamin kecukupan oksigenasi otak (Yu, *et al.*, 2024). Jika sistem *hemodinamik* gagal melakukan kompensasi terhadap rendahnya *Hb*, risiko *iskemia* jaringan akan meningkat drastis dan memperburuk luaran klinis pasien bedah saraf (Giribabu, *et al.*, 2024).

c. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kadar *Hemoglobin*

Kadar *hemoglobin* tidak pernah berdiri sendiri, ia adalah hasil akhir dari berbagai proses *patologis* dan *fisiologis* yang terjadi pada pasien. Memahami akar penyebab fluktuasi *Hb* sangatlah vital, karena status *hemoglobin* awal inilah yang akan mendikte seberapa tangguh sistem *kardiovaskular* pasien dalam mengompensasi stres bedah saraf (Schmitt, *et al.*, 2022).

Berikut adalah faktor-faktor utama yang memengaruhi kadar *Hb* dalam konteks bedah saraf:

1) Kehilangan Darah Akut dan Trauma *Serebral*

Pada kasus darurat seperti *Epidural Hematoma (EDH)* atau *Subdural Hematoma (SDH)*, kehilangan darah mendadak langsung menguras massa sel darah merah. Kondisi ini sering kali diperburuk oleh fenomena *hemodilusi* akibat resusitasi cairan agresif di Instalasi Gawat Darurat (IGD), yang secara signifikan dapat melumpuhkan stabilitas *hemodinamik intraoperatif* jika tidak segera dikoreksi (Goutnik, *et al.*, 2024).

2) Defisiensi Nutrisi dan Gangguan Produksi

Kurangnya asupan zat besi, vitamin B12, atau folat menghambat proses *eritropoiesis* di sumsum tulang. Akibatnya, kapasitas angkut oksigen menurun drastis, memaksa jantung bekerja ekstra keras (*takikardia* kompensasi) demi menjaga sirkulasi tetap stabil—sebuah beban tambahan yang berisiko

saat pasien berada di bawah pengaruh *anestesi* (Yu, *et al.*, 2024).

3) Inflamasi dan Penyakit Kronis

Penyakit berat seperti keganasan otak atau gangguan ginjal memicu pelepasan *sitokin inflamasi* yang meningkatkan produksi *hepcidin*. Protein ini menghambat *metabolisme* zat besi, menyebabkan *Anemia of Chronic Disease (ACD)*. Pasien dengan profil ini memiliki ambang batas *hemodinamik* yang sangat rendah, sehingga rentan mengalami kegagalan *perfusi* saat menghadapi stres *operatif* (Buliga-Finis, *et al.*, 2023).

4) Kehilangan Darah Kronis

Perdarahan yang berlangsung lambat namun progresif akan menguras cadangan besi tubuh secara perlahan. Dalam prosedur bedah saraf elektif, pasien yang datang dengan *anemia* kronis seperti ini memiliki risiko tinggi mengalami *instabilitas hemodinamik* yang berkepanjangan hingga fase *pascaoperasi*, yang berujung pada durasi rawat inap yang lebih lama (Giribabu, *et al.*, 2024).

2. Pre Operatif

a. Pengertian

Fase *preoperatif* dalam bedah saraf merupakan periode krusial yang dimulai sejak keputusan *intervensi* bedah diambil hingga pasien dipindahkan ke meja operasi (Gropper, *et al.*, 2024). Tujuan utamanya

adalah melakukan identifikasi dan optimasi menyeluruh terhadap kondisi fisiologis pasien guna memitigasi risiko komplikasi sistemik maupun *neurologis* yang dapat timbul selama prosedur. Mengingat bedah saraf secara inheren memiliki risiko tinggi terhadap *instabilitas hemodinamik*, perencanaan manajemen anestesi yang terperinci sangat diperlukan untuk membangun "cadangan pertahanan" bagi pasien sebelum terpapar stres pembedahan (Zhang, *et al.*, 2024).

Optimalisasi pada fase ini sangat menekankan pada evaluasi kadar *hemoglobin*, karena status *anemia* terbukti berkaitan langsung dengan keterbatasan cadangan fisiologis dalam mempertahankan stabilitas *sirkulasi* (Schmitt, *et al.*, 2022). Ketidacukupan kadar *Hb* tidak hanya mengganggu kapasitas angkut oksigen, tetapi juga membuat sistem *hemodinamik* menjadi sangat reaktif dan rapuh saat menghadapi manipulasi bedah (Giribabu *et al.*, 2024). Dengan memastikan persiapan yang matang pada tahap ini, tim *anestesi* dapat meminimalkan risiko terjadinya cedera otak sekunder akibat gangguan *perfusi*, sehingga integritas jaringan saraf tetap terjaga sepanjang operasi (Naik, *et al.*, 2023).

b. *Anamnesa*

Anamnesa preoperatif bukan sekadar prosedur tanya-jawab rutin, melainkan upaya detektif klinis untuk memetakan profil risiko pasien secara mendalam sebelum mereka terpapar stres pembedahan. Informasi yang digali menjadi landasan utama bagi tim *anestesi* dalam

menentukan strategi perlindungan saraf dan stabilitas sirkulasi (Gropper, *et al.*, 2024). Fokus utama *anamnesa* dalam bedah saraf meliputi:

- 1) Identifikasi Komorbiditas Kronis: Riwayat penyakit seperti *hipertensi*, *diabetes melitus*, penyakit jantung, hingga gangguan ginjal perlu dievaluasi secara ketat. Kondisi-kondisi ini secara langsung memengaruhi ambang toleransi tubuh dan menjadi faktor penentu seberapa stabil *hemodinamik* pasien saat berada di bawah pengaruh agen anestesi.
- 2) Riwayat Pengobatan dan Status *Neurologis*: Penelusuran terhadap penggunaan obat-obatan kronis, terutama *antiplatelet* atau *antikoagulan*, memiliki urgensi tinggi karena risiko perdarahan *intrakranial* yang fatal. Selain itu, memahami status *neurologis* dasar pasien sangat penting untuk membedakan antara defisit saraf yang sudah ada sebelumnya dengan komplikasi baru *pascaoperasi*.
- 3) Sinergi Risiko dengan Kadar *Hemoglobin*: Hal yang paling krusial adalah menyadari bahwa kondisi sistemik yang teridentifikasi, jika berpadu dengan kadar *hemoglobin* yang rendah, akan menciptakan "badai" risiko. Kombinasi ini sering kali memicu fluktuasi *hemodinamik* yang ekstrem, yang pada akhirnya dapat memperburuk luaran klinis pasien (Giribabu, *et al.*, 2024).

Dengan melakukan penilaian yang mendalam melalui *anamnesa*, tim anestesi dapat memprediksi lebih awal apakah seorang pasien akan

membutuhkan dukungan *hemodinamik* yang lebih agresif—seperti penggunaan *vasopressor* atau manajemen cairan yang lebih ketat—selama prosedur pembedahan berlangsung (Naik, *et al.*, 2023).

c. Pemeriksaan Fisik

Pemeriksaan fisik *preoperatif* merupakan langkah krusial untuk menetapkan profil *hemodinamik* awal (*baseline*) pasien sebelum terpapar stres bedah dan efek *farmakologi* obat anestesi. Data dasar ini nantinya akan menjadi standar pembandingan yang sangat menentukan bagi tim anestesi dalam memantau dinamika sirkulasi selama operasi berlangsung, sekaligus menjadi fondasi utama dalam perencanaan manajemen risiko secara individual (Gropper, *et al.*, 2024).

Dalam ranah bedah saraf, pemeriksaan fisik ini memiliki urgensi khusus, terutama dalam mendeteksi tanda-tanda klinis yang berpotensi mengganggu *perfusi serebral*. Penilaian status *hemodinamik* awal memungkinkan tim anestesi untuk mengidentifikasi pasien dengan "cadangan kompensasi" yang tipis—sebuah kondisi yang sering kali diperburuk jika pasien sudah memiliki kadar *hemoglobin* yang rendah sejak awal (Schmitt, *et al.*, 2022).

Pengalaman klinis menunjukkan bahwa pasien yang sulit mempertahankan stabilitas tanda vital saat pemeriksaan fisik *preoperatif* cenderung lebih rentan mengalami badai instabilitas *hemodinamik* di meja operasi, serta memiliki risiko *anemia pascaoperasi* yang lebih tinggi (Giribabu, *et al.*, 2024). Oleh karena itu,

data fisik ini bukan sekadar angka di lembar rekam medis, melainkan parameter krusial yang mendikte strategi proteksi otak dan pemeliharaan *homeostasis* sirkulasi demi keselamatan jaringan saraf pasien (Yu, *et al.*, 2024).

d. Pemeriksaan Laboratorium dan Peran Krusial *Hemoglobin*

Pemeriksaan laboratorium yang komprehensif pada fase *preoperatif* mulai dari *hematologi*, kimia darah, hingga profil *koagulasi* merupakan prosedur wajib untuk memetakan status kesehatan dasar serta mengidentifikasi faktor risiko yang berpotensi membahayakan pasien di meja operasi (Gropper, *et al.*, 2024). Namun, dalam cakrawala *neuroanestesi*, evaluasi kadar *Hemoglobin* menempati posisi yang sangat mendesak karena perannya sebagai "napas" bagi jaringan saraf melalui alasan-alasan berikut:

Urgensi *Hemoglobin* dalam Bedah Saraf

- 1) Kapasitas Angkut Oksigen dan Proteksi *Serebral*: *Hb* adalah jangkar utama yang menentukan kapasitas darah dalam membawa oksigen. Ketika kadar *Hb* rendah, pengiriman oksigen ke jaringan (*oxygen delivery*) secara fundamental akan terganggu. Kondisi ini menempatkan otak pada risiko *iskemia* yang sangat tinggi, mengingat jaringan saraf adalah organ yang paling tidak toleran terhadap *hipoksia*, terutama saat terjadi fluktuasi *hemodinamik intraoperatif* (Gropper, *et al.*, 2024).

- 2) Indikator Risiko Mandiri: Status *Hb* kini diakui sebagai independen yang kuat terhadap angka *morbiditas* dan *mortalitas* bedah saraf. Pasien yang memasuki ruang operasi dengan kondisi *anemia* cenderung menghadapi risiko komplikasi *pascaoperasi* yang lebih berat, ketergantungan pada transfusi darah yang tinggi, hingga masa pemulihan di rumah sakit yang jauh lebih panjang (Giribabu, *et al.*, 2024).
- 3) Penerapan *Patient Blood Management (PBM)*: Evaluasi *Hb* adalah jantung dari program *Patient Blood Management*. Dengan mendeteksi *anemia* lebih awal, tim medis memiliki kesempatan untuk mengoptimalkan status *hematologi* pasien sebelum sayatan pertama dilakukan. Langkah proaktif ini terbukti efektif menekan penggunaan transfusi alogenik yang sering kali berdampak negatif pada luaran *neurologis* (Schmitt, *et al.*, 2022).
- 4) Tolok Ukur Cadangan Fisiologis: Kadar *Hb* memberikan gambaran nyata mengenai seberapa kuat "mesin" *kardiovaskular* pasien. *Hb* yang rendah memaksa jantung bekerja lebih keras demi mempertahankan perfusi. Oleh karena itu, data *Hb* menjadi informasi krusial bagi *anestesiologis* mengenai ambang batas pertahanan pasien saat harus menghadapi stres pembedahan atau kehilangan darah mendadak (Goutnik, *et al.*, 2024).
- 5) Ambang Batas Klinis: Meskipun standar normal secara umum berkisar antara 13,5–17,5 g/dL untuk pria dan 12,0–15,5 g/dL

untuk wanita, dalam praktik bedah saraf, nilai *Hb* di bawah 10 g/dL menjadi "alarm" klinis. Nilai tersebut sering kali berkorelasi langsung dengan lonjakan instabilitas *hemodinamik* yang memerlukan tindakan medis segera (Naik, *et al.*, 2023).

e. Penilaian status ASA

Penentuan status fisik menurut *American Society of Anesthesiologists (ASA)* merupakan langkah vital dalam memetakan profil risiko *perioperatif* pasien (Gropper, *et al.*, 2024). Klasifikasi ini, yang membentang dari skala ASA I hingga ASA V, menjadi instrumen krusial bagi tim anestesi untuk merancang strategi manajemen risiko yang dipersonalisasi sesuai kondisi unik setiap pasien.

Urgensi penilaian ini terletak pada fakta bahwa pasien dengan skor ASA yang lebih tinggi (seperti ASA III atau IV) memiliki "ruang napas" atau cadangan fisiologis yang sangat terbatas. Akibatnya, ambang batas mereka dalam menghadapi guncangan *hemodinamik* selama bedah saraf menjadi jauh lebih rendah (Naik, *et al.*, 2023).

Temuan klinis terbaru bahkan mempertegas bahwa kombinasi antara status ASA yang tinggi dan kadar *hemoglobin* yang rendah merupakan "duet maut" yang secara signifikan meningkatkan risiko *anemia pascaoperasi* serta gangguan stabilitas sirkulasi (Giribabu, *et al.*, 2024). Dengan demikian, skor ASA tidak lagi sekadar indikator kebugaran fisik di atas kertas, melainkan realistik mengenai seberapa

kuat pasien mampu mempertahankan stabilitas *hemodinamik*nya saat terpapar stres bedah yang intens (Schmitt, *et al.*, 2022).

f. Konsultasi bagian lain bila diperlukan

Apabila dalam proses evaluasi *preoperatif* ditemukan adanya *komorbiditas* yang tidak terkontrol seperti gagal jantung kongestif, *hipertensi* berat, maupun gangguan *koagulasi* maka kolaborasi lintas disiplin menjadi langkah yang mutlak. Konsultasi segera dengan dokter spesialis terkait, seperti *kardiolog* atau *hematolog*, dilakukan bukan sekadar formalitas, melainkan upaya strategis untuk memitigasi risiko instabilitas *hemodinamik* yang mungkin timbul selama prosedur bedah saraf berlangsung.

Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk mengoptimalkan cadangan fisiologis pasien hingga mencapai titik maksimal. Langkah ini menjadi sangat krusial karena pasien yang memiliki *komorbiditas* sistemik, ditambah dengan kadar *hemoglobin* yang tidak optimal, berada dalam zona risiko tinggi. Ketidaksiapan *fisiologis* ini dapat memicu instabilitas *hemodinamik intraoperatif* yang berujung pada buruknya luaran klinis serta peningkatan risiko *mortalitas* (Schmitt, *et al.*, 2022).

Melalui optimalisasi multidisiplin ini, tim medis berupaya membangun "bantalan" toleransi yang cukup kuat bagi pasien agar mampu menghadapi stres bedah yang intens serta potensi kehilangan darah yang sering kali sulit diprediksi (Goutnik *et al.*, 2024).

3. Hemodinamik

a. Pengertian

Secara mendasar, *hemodinamik* merupakan studi tentang dinamika aliran darah serta kekuatan fisik yang mengatur mekanisme sirkulasi tubuh (Gropper, *et al.*, 2024). Dalam lingkup bedah saraf, pemantauan *hemodinamik* bukan sekadar rutinitas, melainkan inti dari strategi *neuroproteksi* yang bertujuan menjaga keseimbangan antara tekanan *intrakranial* dan *perfusi serebral* (Pinsky, *et al.*, 2022). Parameter *hemodinamik* ini berfungsi sebagai cermin yang merefleksikan bagaimana sistem *kardiovaskular* merespons stres bedah, terutama ketika kapasitas angkut oksigen dibatasi oleh kadar *hemoglobin* yang tidak optimal (Schmitt, *et al.*, 2022).

b. Stabilitas Hemodinamik dalam Bedah Saraf

Stabilitas *hemodinamik intraoperatif* didefinisikan sebagai ketangguhan sistem sirkulasi dalam mempertahankan perfusi organ yang adekuat di tengah manipulasi bedah atau kehilangan darah. Dalam *neuroanestesi*, stabilitas ini memegang peranan vital sebagai:

1) Indikator Perfusi Serebral:

Tekanan arteri rata-rata yang stabil adalah syarat mutlak untuk menjaga *Cerebral Perfusion Pressure (CPP)*. Fluktuasi *hemodinamik* yang drastis berisiko tinggi memicu *iskemia serebral*, terutama pada pasien yang fungsi *autoregulasi* otaknya sudah terganggu (Hofmann, *et al.*, 2023).

2) Mekanisme Kompensasi Oksigenasi:

Secara *fisiologis*, saat kadar *hemoglobin* rendah, sistem sirkulasi akan bekerja ekstra dengan meningkatkan curah jantung demi menjamin suplai oksigen ke jaringan. Jika sistem *hemodinamik* gagal melakukan kompensasi ini, maka akan muncul instabilitas yang nyata selama prosedur berlangsung (Giribabu, *et al.*, 2024).

3) Luaran Klinis:

Instabilitas yang ekstrem dan berkepanjangan tidak hanya berdampak pada otak, tetapi juga berkorelasi kuat dengan risiko komplikasi sistemik seperti cedera ginjal akut (*AKI*) dan cedera *miokard pascaoperasi* (Zhou, *et al.*, 2025).

c. Faktor yang Memengaruhi *Hemodinamik Intraoperatif*

Berdasarkan temuan klinis terkini, dinamika *hemodinamik* selama prosedur bedah saraf dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berinteraksi:

1) Kadar *Hemoglobin* :

Sebagai penentu utama *viskositas* darah, kadar *Hb* yang rendah cenderung memicu fluktuasi *hemodinamik* yang lebih tajam karena terbatasnya cadangan *fisiologis* pasien (Naik, *et al.*, 2023).

2) Kehilangan Darah (*Blood Loss*):

Perdarahan *intraoperatif*, yang sering kali sulit diprediksi pada kasus *neurovaskular* atau *neurointervensi*, dapat menyebabkan

penurunan stabilitas sirkulasi secara mendadak (Goutnik, *et al.*, 2024).

3) Respons Otonom:

Manipulasi langsung pada struktur saraf selama operasi dapat memicu *refleks otonom* spesifik yang menyebabkan perubahan denyut jantung dan tekanan darah secara fluktuatif (Petka, *et al.*, 2024).

d. Relevansi Klinis dan Luaran Pasien

Keberhasilan menjaga stabilitas *hemodinamik* adalah kunci untuk menekan angka *morbiditas* dan *mortalitas*. Tim anestesi dapat mendeteksi secara dini ketidakstabilan yang dipicu oleh *anemia perioperatif* atau perdarahan. Deteksi dini ini memungkinkan intervensi yang tepat sasaran untuk memitigasi risiko cedera otak sekunder, sehingga keselamatan pasien tetap menjadi prioritas utama (Li, *et al.*, 2024).

4. Manajemen Anestesi pada Bedah Saraf

Manajemen anestesi dalam bedah saraf pada dasarnya adalah sebuah seni menjaga keseimbangan *fisiologis* yang sangat presisi. Peran tim anestesi di sini bukan sekadar memfasilitasi kondisi tidak sadar (*unconsciousness*) atau bebas nyeri (*analgesia*), melainkan menjalankan strategi komprehensif untuk memberikan perlindungan saraf (*neuroprotection*) serta menjaga stabilitas *homeostasis serebral*. Fokus utamanya adalah memastikan suplai oksigen ke otak tetap selaras dengan

kebutuhan metabolisme otak ($CMRO_2$), sebuah langkah krusial untuk mencegah terjadinya cedera otak sekunder yang fatal (Giribabu, *et al.*, 2024).

Karakteristik utama yang membedakan anestesi bedah saraf dari prosedur bedah lainnya adalah tuntutan manipulasi *hemodinamik* yang sangat ketat. Tim anestesi dituntut mampu mengendalikan Tekanan Perfusi Serebral (*Cerebral Perfusion Pressure/CPP*) dengan sangat teliti. Hal ini menjadi tantangan tersendiri karena variasi kadar *hemoglobin preoperatif* dapat secara signifikan mengubah *viskositas* darah dan distribusi aliran darah otak (Yu, *et al.*, 2024).

Dalam dinamika ini, stabilitas *hemodinamik* tidak lagi dipandang sebagai parameter vital biasa, melainkan indikator utama yang menentukan keberhasilan manajemen operatif dan keselamatan jaringan otak pasien. Kegagalan dalam menjaga stabilitas ini, terutama pada pasien yang sudah mengalami *anemia* sebelum operasi, terbukti berkaitan erat dengan peningkatan risiko *mortalitas* serta durasi rawat inap yang lebih panjang (Schmitt, *et al.*, 2022).

a. Fase *Pra-Anestesi (Preoperatif)*

Fase *preoperatif* merupakan periode krusial yang dimulai sejak keputusan tindakan bedah diambil hingga pasien dipindahkan ke atas meja operasi (Gropper, *et al.*, 2024). Periode ini bukan sekadar masa tunggu, melainkan jendela waktu utama bagi tim medis untuk melakukan stratifikasi risiko, perencanaan yang matang, serta

optimalisasi kondisi fisik pasien guna menghadapi tekanan stres selama bedah saraf berlangsung.

- 1) Tujuan Utama dan *Assessment* Sistemik: Fokus utama tahap ini adalah mengidentifikasi dan memitigasi faktor risiko yang berpotensi mengganggu stabilitas *hemodinamik* maupun luaran neurologis. Penilaian menyeluruh terhadap cadangan fisiologis, status *neurologis* dasar, serta fungsi *kardiopulmoner* menjadi sangat krusial. Hal ini dikarenakan pasien bedah saraf dengan *komorbiditas* sistemik cenderung memiliki ambang batas toleransi yang lebih rendah terhadap fluktuasi *hemodinamik* saat berada di bawah pengaruh *anestesi* (Schmitt, *et al.*, 2022).
- 2) Pemeriksaan Laboratorium dan Peran *Hemoglobin (Hb)*: Dalam kesiapan operasi, pemeriksaan laboratorium terutama kadar *Hemoglobin (Hb)* adalah komponen mandatori yang tidak boleh diabaikan. Kadar Hb harus dievaluasi dengan cermat karena anemia merupakan faktor risiko independen yang secara signifikan meningkatkan kerentanan pasien terhadap ketidakstabilan hemodinamik, kebutuhan transfusi darah, hingga angka mortalitas (Schmitt, *et al.*, 2022).
- 3) Strategi Inklusif dan *Patient Blood Management (PBM)*: Relevansi kadar *Hb* ini berlaku lintas usia; pada populasi *pediatrik* misalnya, kadar *Hb* awal yang rendah terbukti menjadi kuat terjadinya *anemia pascaoperasi* yang menghambat

pemulihan (Naik, *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, optimalisasi *Hb* kini dipandang sebagai pilar inti dari strategi *Patient Blood Management (PBM)*. Tujuannya jelas: menjaga *homeostasis* oksigenasi dan memastikan perfusi jaringan tetap terjaga selama prosedur bedah saraf yang kompleks berlangsung (Richards, *et al.*, 2021).

b. Fase *Intra-Anestesi (Intraoperatif)*

Periode ini dimulai tepat saat pasien diposisikan di meja operasi hingga prosedur pembedahan dinyatakan selesai (Gropper, *et al.*, 2024). Dalam konteks bedah saraf, fase ini menuntut kewaspadaan klinis tertinggi; setiap intervensi harus dilakukan secara dinamis karena pasien berada di bawah pengaruh penuh Anestesi Umum (*General Anesthesia*).

- 1) Tanggung Jawab dan Strategi Anestesi: Fokus utama tim anestesi bukan sekadar menidurkan pasien, melainkan menjaga stabilitas *hemodinamik* dan *serebral* serta memastikan kondisi otak tetap relaks (*slack brain*) guna memudahkan akses bagi dokter bedah. Pemilihan agen anestesi, baik melalui teknik *inhalasi* maupun *Total Intravenous Anesthesia (TIVA)*, harus dikalibrasi secara hati-hati untuk meminimalkan gangguan pada *metabolisme serebral* sekaligus mempertahankan Tekanan Perfusi Serebral (*CPP*) yang adekuat (Giribabu, *et al.*, 2024).

- 2) **Monitoring dan Intervensi Presisi:** Parameter vital tidak boleh lepas dari pantauan sedetik pun. Sesuai standar praktik, status *hemodinamik* wajib dicatat secara periodik dan kontinu (Zhang, *et al.*, 2024). Penggunaan pemantauan invasif seperti *arterial line* sering kali menjadi pilihan utama untuk mendapatkan data *hemodinamik* secara *beat-to-beat*. Data akurat ini sangat krusial sebagai kompas bagi tim dalam melakukan titrasi obat *vasoaktif* maupun manajemen cairan secara *real-time* (Goutnik, *et al.*, 2024).
- 3) **Kendali *Hemodinamik* Kunci:** Intervensi cepat terhadap setiap fluktuasi tekanan darah atau denyut jantung sangatlah krusial demi mencegah cedera otak sekunder. Perlu ditekankan bahwa meski intervensi obat *vasoaktif* sangat dominan, kadar *hemoglobin* tetap menjadi faktor fundamental. Kadar *Hb* adalah "fondasi" yang menentukan seberapa tangguh respons *hemodinamik* pasien saat menghadapi stres bedah dan kehilangan darah (Schmitt, *et al.*, 2022). Ketimpangan antara kadar *Hb* dan kebutuhan oksigen jaringan dapat memicu badai instabilitas *hemodinamik* yang jauh lebih kompleks selama operasi berlangsung (Li, *et al.*, 2024).
- 4) ***Estimasi Blood Volume* dan *Estimasi Blood Loss***
Dalam pemantauan status *hemodinamik* pada pasien bedah saraf, penata anestesi harus mampu menghitung tingkat keparahan

perdarahan secara objektif. Penilaian ini dilakukan dengan membandingkan jumlah perdarahan aktual selama operasi terhadap perkiraan total volume darah pasien atau *Estimated Blood Volume (EBV)*. Langkah-langkah penghitungan dilakukan sebagai berikut:

a) Menghitung *Estimated Blood Volume (EBV)*

EBV dihitung berdasarkan berat badan (kg) dikalikan dengan konstanta volume darah sesuai kategori usia dan jenis kelamin (Gropper *et al.*, 2024):

Pria Dewasa: 75 ml/kgBB

Wanita Dewasa: 65 ml/kgBB

Anak-anak (>1 tahun): 70-75 ml/kgBB

Rumus yang digunakan adalah:

$$EBV = \text{Berat Badan (kg)} \times \text{Konstanta (ml/kg)}$$

b) Menghitung *Estimated Blood Loss (EBL)*

Menghitung persentase kehilangan darah dengan membagi jumlah perdarahan intraoperatif (cc) dengan total *EBL* (Goutnik, *et al.*, 2024).

$$EBL \text{ (ml)} = (Hb \text{ awal} - Hb \text{ akhir}) / Hb \text{ awal} \times \text{volume darah (ml)}$$

c) Klasifikasi Derajat Perdarahan

Hasil persentase tersebut diklasifikasikan ke dalam empat tingkatan menurut standar *American College of Surgeons* (2018) untuk memprediksi respons hemodinamik:

- *Stage 1* (<15%): Kompensasi tubuh adekuat, tanda vital cenderung stabil.
- *Stage 2* (15%-30%): Mulai terjadi takikardia (>100 x/menit) dan penyempitan tekanan nadi.
- *Stage 3* (30%-40%): Penurunan tekanan darah sistolik (<100 mmHg) dan takikardia nyata.
- *Stage 4* (>40%): Hipotensi berat dan kondisi kritis yang mengancam nyawa.

Dengan mengintegrasikan nilai kadar *hemoglobin (Hb)* ke dalam klasifikasi ini, Anda dapat menganalisis fenomena klinis di mana pasien dengan *Hb* rendah mungkin menunjukkan respons hemodinamik *Stage 2* atau *3*, meskipun secara volume kehilangan darahnya masih berada di *Stage 1* (Gropper, *et al.*, 2024).

c. Fase *Pasca-Anestesi (Pascaoperatif)*

Fase ini berfokus pada pemulihan segera dari pengaruh agen *anestesi* dan transisi perawatan yang kritis bagi pasien bedah saraf.

- 1) Tujuan dan Kontrol Lanjutan: Tujuan utamanya adalah memastikan pemulihan kesadaran yang aman, menilai status

neurologis pascaoperasi secara akurat skor *GCS*, serta manajemen nyeri yang adekuat. Kontrol *hemodinamik* tetap menjadi perhatian utama, karena *hipertensi pascaoperasi* secara signifikan meningkatkan risiko perdarahan *intrakranial* (*hematoma* bedah), sementara instabilitas *hemodinamik* yang rendah dapat memperburuk *iskemia serebral* sekunder (Schmitt, *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pemantauan *hemodinamik* yang ketat dan kontinu harus tetap dilanjutkan untuk memastikan stabilitas perfusi otak.

- 2) Fokus Komplikasi Sistemik: Selain pemulihan kesadaran, tim medis harus fokus pada mitigasi komplikasi sistemik yang berkaitan dengan cadangan *fisiologis* pasien. Anemia *pascaoperasi* yang berlanjut atau penurunan kadar hemoglobin yang signifikan selama operasi ditemukan berhubungan erat dengan perpanjangan durasi rawat inap dan peningkatan risiko morbiditas (Giribabu, *et al.*, 2024). Kerentanan *fisiologis* ini, jika tidak dikelola melalui pemeliharaan *hemodinamik* dan manajemen kadar *hemoglobin* yang optimal, dapat memicu cedera organ atau kegagalan pemulihan yang optimal pada pasien bedah saraf (Li, *et al.*, 2024).

5. Korelasi *Hb* dengan Stabilitas Hemodinamik (Tinjauan Kesenjangan)

a. Tinjauan Kesenjangan Penelitian

Kesenjangan penelitian bukan sekadar membandingkan teori dengan kenyataan, melainkan upaya kritis untuk melihat di mana batas pengetahuan kita saat ini berhenti dan di mana masalah klinis di lapangan dimulai. Melalui identifikasi ini, kita dapat menemukan celah informasi yang memerlukan pembuktian ilmiah lebih lanjut (Xu, *et al.*, 2022). Dalam studi ini, terdapat tiga poin utama yang menjadi alasan kuat mengapa penelitian ini perlu dilakukan:

- 1) Celah pada Parameter Fokus: Jika kita menelaah literatur terbaru, mayoritas peneliti bedah saraf lebih tertarik membahas "ujung" dari sebuah prosedur, seperti angka kematian, berapa banyak kantong darah yang ditransfusikan, atau seberapa lama pasien dirawat (Giribabu, *et al.*, 2024). Namun, masih sangat sedikit data yang mau menelusuri apa yang terjadi "di tengah" yaitu dinamika perubahan *hemodinamik* secara *real-time* saat operasi sedang berlangsung, yang sebenarnya sangat dipengaruhi oleh kadar *hemoglobin* awal pasien.
- 2) Mekanisme Fisiologis yang Terabaikan: Kita semua sepakat bahwa *Hb* memengaruhi aliran darah ke otak (Yu, *et al.*, 2024). Namun, ada perdebatan klinis yang belum tuntas mengenai bagaimana tubuh pasien berjuang melakukan kompensasi sistemik demi mempertahankan perfusi otak tersebut, terutama

ketika refleks alami tubuh ditekan oleh obat-obatan anestesi. Celah inilah yang ingin kita petakan.

- 3) Karakteristik Unik Bedah Saraf: Banyak literatur saat ini mencampuradukkan berbagai jenis bedah mayor dalam satu kategori. Padahal, bedah saraf memiliki profil risiko yang sangat khas; perdarahan sering kali sulit diprediksi secara visual dan kebutuhan akan kestabilan tekanan perfusi sangatlah mutlak (Goutnik, *et al.*, 2024). Menggeneralisasi temuan dari bedah umum ke bedah saraf tentu tidaklah akurat.

b. Dasar Teori *Fisiologis*

Dasar Teori *Fisiologis* menegaskan adanya korelasi terbalik antara kadar *Hemoglobin (Hb)* dan perubahan *hemodinamik* (Buliga-Finis, *et al.*, 2023). Kadar *Hb* yang rendah (yang berarti kapasitas angkut oksigen rendah) secara otomatis memicu kompensasi *kardiovaskular*. Kompensasi ini dilakukan terutama dengan peningkatan Curah Jantung melalui peningkatan *Heart Rate (HR)* demi memastikan pengiriman oksigen ke jaringan vital tetap terjaga (Gropper, *et al.*, 2024). Secara teoretis, pasien dengan *Hb* rendah akan menunjukkan fluktuasi *Hemodinamik* yang lebih signifikan sebagai upaya kompensasi terhadap stres bedah.

c. Temuan Klinis Kontemporer

Temuan klinis terbaru sepanjang 2021–2024 secara konsisten memposisikan kadar *hemoglobin* sebagai independen yang tidak bisa

diabaikan dalam keberhasilan bedah saraf. Realitas di lapangan menunjukkan bahwa kondisi *anemia* sebelum operasi sering kali menjadi pintu masuk bagi komplikasi yang lebih serius, seperti lonjakan kebutuhan transfusi, masa pemulihan yang lambat, hingga risiko gangguan aliran darah otak (*Cerebral Blood Flow*) yang mengancam nyawa. Oleh karena itu, memastikan kadar *Hb* berada dalam rentang optimal bukan lagi sekadar rutinitas administratif laboratorium, melainkan pilar utama strategi *neuroproteksi*. Langkah ini sangat vital untuk menjaga stabilitas *hemodinamik* dan meminimalkan risiko cedera saraf sekunder selama pasien menjalani fase *perioperatif* bedah saraf yang penuh risiko.

d. Faktor Dominan Penentu Stabilitas *Hemodinamik*

Menjaga stabilitas *hemodinamik* selama bedah saraf ibarat menyeimbangkan timbangan di tengah dinamika prosedur yang sangat sensitif. Keberhasilan menjaga tekanan darah dan laju jantung tidak berdiri sendiri, melainkan hasil interaksi kompleks antara kondisi awal pasien dan manajemen di meja operasi. Berikut adalah faktor-faktor dominan yang saling berkelindan dalam menentukan stabilitas tersebut:

1. Kadar *Hemoglobin* dan Kapasitas Angkut Oksigen

Hemoglobin adalah kunci utama viskositas darah dan pengiriman oksigen ke jaringan (*Oxygen Delivery-DO2*). Secara

fisiologis, kapasitas oksigen dalam darah (CaO_2) sangat ditentukan oleh konsentrasi Hb:

$$CaO_2 = (Hb \times 1.34 \times SaO_2) + (PaO_2 \times 0.003)$$

Kadar Hb yang rendah (*anemia*) memaksa jantung bekerja lebih keras melalui peningkatan denyut jantung (*takikardia*) sebagai kompensasi demi menjaga suplai oksigen ke otak. Kondisi ini membuat sistem sirkulasi menjadi sangat reaktif dan rapuh terhadap stres bedah (Yu, *et al.*, 2024).

2. Status Volume Intravaskular dan Kehilangan Darah

Keseimbangan cairan dan perdarahan *intraoperatif* adalah penentu langsung nilai *Mean Arterial Pressure (MAP)*. Dalam bedah saraf, kehilangan darah yang tampak sedikit pun bisa berakibat fatal jika terjadi pada area kritis, memicu fluktuasi *hemodinamik* cepat yang dapat mengganggu tekanan perfusi serebral (Goutnik, *et al.*, 2024).

3. Kedalaman Anestesi dan Agen Farmakologi

Obat anestesi dan opioid bekerja memodulasi sistem *saraf otonom*. Anestesi yang terlalu dangkal berisiko memicu lonjakan *simpatis (hipertensi dan takikardia)* saat manipulasi bedah dilakukan. Sebaliknya, anestesi yang terlalu dalam dapat menekan refleks kompensasi jantung—risiko ini jauh lebih besar pada pasien yang sudah mengalami anemia preoperatif (Giribabu, *et al.*, 2024).

4. Status Fisik Pasien (*ASA Physical Status*)

Skor ASA mencerminkan "cadangan fisiologis" pasien. Pasien dengan status ASA tinggi yang disertai kadar *Hb* rendah memiliki kemampuan kompensasi yang sangat terbatas. Mereka jauh lebih rentan mengalami instabilitas sirkulasi dibandingkan pasien dengan kondisi sistemik yang lebih prima (Naik, *et al.*, 2023).

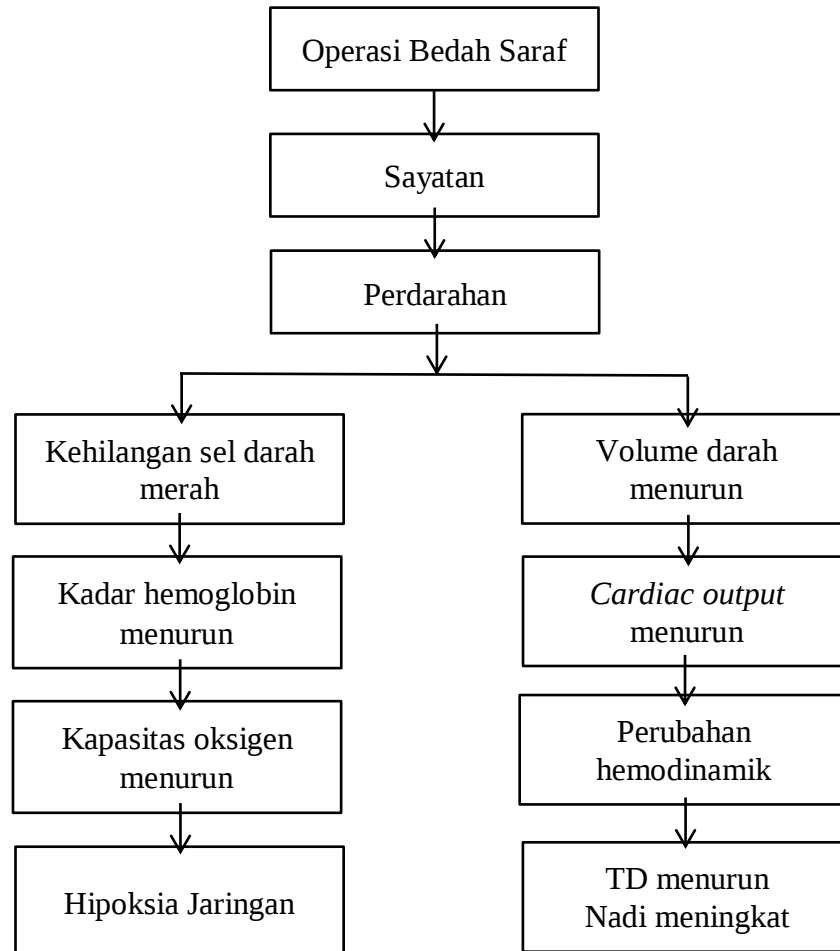
5. Refleks Serebral dan Manipulasi Bedah

Ini adalah aspek unik dalam bedah saraf. Manipulasi langsung pada batang otak atau perubahan mendadak tekanan *intrakranial* dapat memicu respons otonom yang drastis, seperti *Refleks Cushing* (*hipertensi* disertai *bradikardia*) atau *Refleks Trigeminkardiak*. Perubahan ini sering kali terjadi secara tiba-tiba tanpa dipengaruhi oleh status volume atau faktor sistemik lainnya.

6. Penelitian ini secara fundamental bertujuan menguji dan memvalidasi kesenjangan ini dalam konteks lokal RSUD Banten, untuk memahami faktor mana yang lebih dominan dalam memengaruhi stabilitas hemodinamik selama bedah saraf.

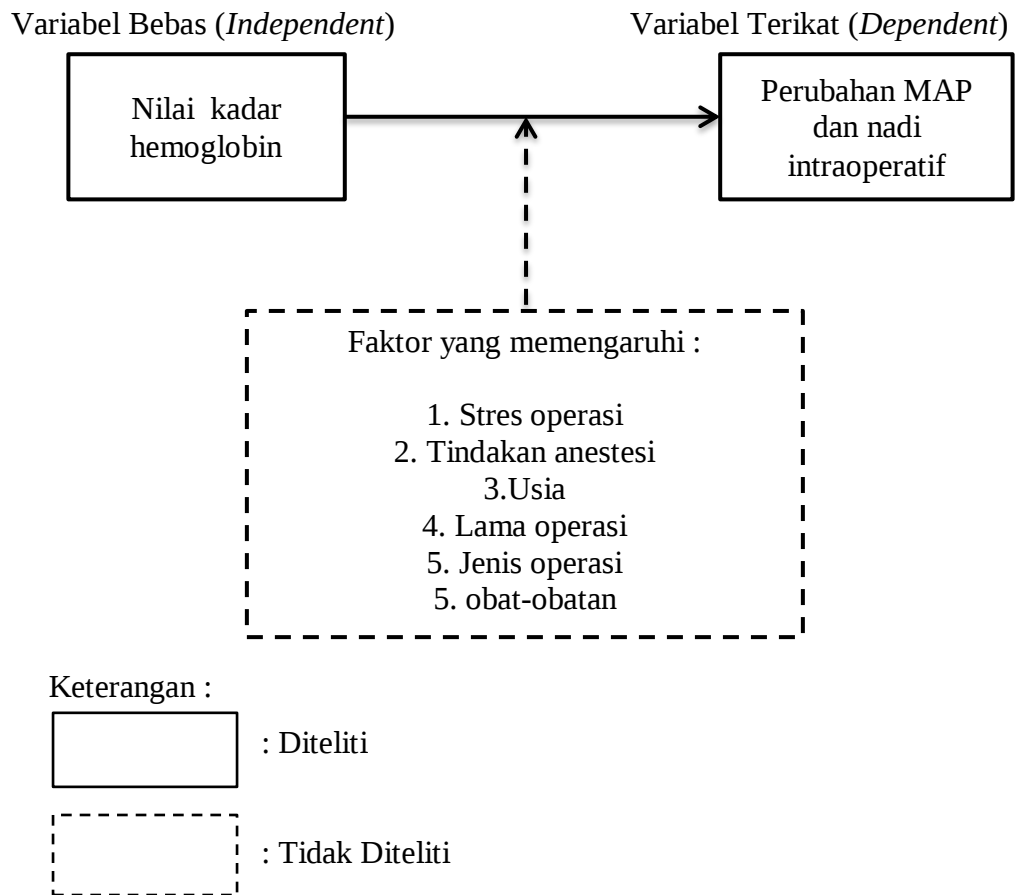
B. Landasan Teori

1. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori

2. Kerangka Konsep



Gambar 2. Kerangka Konsep

C. Hipotesis

Hipotesis alternatif : Ada korelasi nilai kadar hemoglobin dengan perubahan MAP dan nadi intraoperatif pada pasien bedah saraf di RSUD Banten