

BAB II

TINJAUAN TEORI

A. Telaah Pustaka

1. Bedah Saraf

a. Jenis-Jenis Tindakan Bedah Saraf

Bedah saraf merupakan cabang spesialisasi medis yang sangat kompleks, yang berfokus pada diagnosis dan pengobatan gangguan sistem saraf pusat serta perifer melalui prosedur operatif. Secara umum, jenis-jenis tindakan ini diklasifikasikan berdasarkan organ target dan tujuan klinisnya, mulai dari penanganan patologi intrakranial dengan presisi tinggi hingga stabilitas struktural pada kelainan tulang belakang (Långsjö, *et al.*, 2024; Liang, *et al.*, 2025; Pralea, *et al.*, 2023). Tindakan bedah saraf dibagi berdasarkan lokasinya, antara lain:

1) Kraniotomi

Lokasi dari tindakan kraniotomi berada pada area kranial atau otak pasien. Prosedur ini merupakan tindakan pembukaan sebagian tulang tengkorak (*bone flap*) yang nantinya akan dikembalikan ke posisi semula setelah operasi selesai. Tindakan ini umumnya dilakukan oleh tim bedah saraf untuk mengakses tumor, aneurisma, ataupun mengevakuasi hematoma. Melalui prosedur ini, dokter dapat menangani patologi intrakranial dengan presisi tinggi di bawah mikroskop bedah (Pralea, *et al.*, 2023).

2) Kraniektomi Dekompresi

Lokasi dari tindakan kraniektomi dekompresi yaitu pada kranial (otak) untuk mengatasi kondisi darurat medis. Tindakan ini merupakan prosedur pembukaan dan pengangkatan sebagian tulang tengkorak untuk mengurangi tekanan intrakranial (*ICP*) secara signifikan pada kasus edema otak hebat. Berbeda dengan kraniotomi biasa, bagian tulang tersebut tidak dikembalikan segera guna memberikan ruang bagi jaringan otak yang membengkak. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya herniasi otak yang dapat mengancam nyawa pasien (Li, *et al.*, 2024).

3) Laminektomi

Lokasi dari tindakan laminektomi berfokus pada area spinal atau tulang belakang manusia. Prosedur ini merupakan tindakan pengangkatan lamina vertebra yang bertujuan untuk melakukan dekompresi pada sumsum tulang belakang atau akar saraf. Biasanya, tindakan ini menjadi pilihan utama bagi pasien yang menderita stenosis spinalis atau *Herniated Nucleus Pulposus (HNP)*. Dengan mengangkat bagian tulang tersebut, tekanan pada saraf dapat berkurang sehingga gejala nyeri atau kelemahan motorik dapat diperbaiki (Nolte, *et al.*, 2021).

4) Fusi Spinal

Tindakan fusi spinal berlokasi pada bagian spinal (tulang belakang) untuk meningkatkan stabilitas struktural. Fusi spinal merupakan prosedur pembedahan untuk menstabilkan segmen tulang belakang dengan cara menggabungkan dua atau lebih vertebra menjadi satu kesatuan. Prosedur ini biasanya menggunakan bantuan instrumentasi seperti sekrup, plat, atau *bone graft* untuk memicu pertumbuhan tulang baru antar segmen. Tindakan ini sangat efektif untuk menangani kasus ketidakstabilan tulang belakang akibat trauma, degenerasi, atau deformitas berat (Pralea, *et al.*, 2023).

b. Indikasi dan Kontra Indikasi Prosedur Bedah Saraf

1) Indikasi utama bedah saraf

Indikasi untuk bedah saraf sangat bervariasi, namun secara umum meliputi kondisi yang mengancam nyawa, fungsi neurologis, atau yang tidak responsif terhadap terapi non-bedah. Keputusan untuk melakukan intervensi bedah harus didasarkan pada diagnosis klinis yang akurat serta hasil pemeriksaan penunjang seperti pencitraan saraf. Adapun beberapa kondisi spesifik yang menjadi indikasi utama dalam tindakan bedah saraf antara lain:

- a) Trauma, seperti intervensi pada Cedera Otak Traumatis (*TBI*) seperti evakuasi hematoma (*Epidural, Subdural*) dan kraniektomi dekompresi (Nevalainen, *et al.*, 2022). Serta penanganan trauma

tulang belakang untuk stabilisasi dan dekompresi sumsum tulang belakang (Långsjö, *et al.*, 2024).

- b) Vaskular, seperti penanganan aneurisma serebral, *malformasi arteriovenosa (AVM)*, dan kasus stroke iskemik atau hemoragik tertentu (Liang, *et al.*, 2025).
- c) Onkologi, seperti pengangkatan tumor primer (glioma, meningioma) dan tumor metastatik pada otak dan sumsum tulang belakang (Guo, *et al.*, 2023).
- d) Degeneratif/Dekompresi, seperti prosedur laminektomi atau fusi untuk Stenosis Spinal Lumbal atau servikal dan *Hernia Nukleus Pulposus (HNP)* yang menimbulkan defisit neurologis atau nyeri yang persisten (Nolte, *et al.*, 2021).

2) Kontra indikasi relatif bedah saraf

Kontraindikasi dalam tindakan bedah saraf umumnya bersifat relatif, dimana keputusan medis sangat bergantung pada pertimbangan antara risiko dan manfaat bagi pasien. Faktor kondisi sistemik pasien dan juga tingkat keparahan penyakit menjadi variabel penentu utama sebelum prosedur dilakukan. Adapun beberapa kondisi yang sering menjadi hambatan atau kontraindikasi dalam prosedur bedah saraf antara lain:

- a) Kondisi medis yang tidak terkontrol, misalnya terjadi ketidakstabilan hemodinamik yang parah, koagulopati yang tidak

dapat dikoreksi, atau infeksi sistemik yang tidak tertangani (Guo, *et al.*, 2023).

b) Prognosis buruk, contohnya pada kasus cedera otak yang sangat parah dengan prognosis neurologis yang hampir pasti buruk (misalnya, *Glasgow Coma Scale (GCS)* yang sangat rendah tanpa potensi pemulihan) (Liang, *et al.*, 2025).

c) Kondisi pasien, contohnya usia yang sangat lanjut dan komorbiditas signifikan yang meningkatkan risiko anestesi dan mortalitas pasca-bedah, meskipun hal ini terus dievaluasi seiring kemajuan teknik (Nevalainen, *et al.*, 2022).

c. Komplikasi Umum Bedah Saraf

Setiap tindakan pembedahan pada sistem saraf memiliki beberapa risiko yang harus dipertimbangkan secara matang oleh tim medis dan pasien. Komplikasi pada prosedur bedah saraf bervariasi antara prosedur kranial dan spinal, namun beberapa risiko umum tetap dapat terjadi pada kedua kategori tersebut. Faktor-faktor seperti durasi operasi, kompleksitas anatomi, dan kondisi komorbiditas pasien turut memengaruhi munculnya dampak pascaoperasi. Adapun beberapa risiko umum yang sering dijumpai meliputi:

- 1) Infeksi Lokasi Bedah (*Surgical Site Infection-SSI*):
Kraniotomi/Kraniektomi memiliki tingkat *SSI* yang lebih tinggi (sekitar 2.1%) dibandingkan laminektomi (sekitar 1.1%), seringkali

melibatkan bakteri seperti *Staphylococcus aureus* (Pralea, *et al.*, 2023).

- 2) Komplikasi Neurologis: Meliputi defisit neurologis baru, kejang, edema serebral pasca-operasi, dan peningkatan tekanan intrakranial (Liang, *et al.*, 2025).
- 3) Komplikasi Sistemik: Sepsis dan syok septik merupakan komplikasi serius setelah kraniotomi, yang dihubungkan dengan luaran pasien yang buruk dan ketidakstabilan hemodinamik (Guo, *et al.*, 2023).
- 4) Komplikasi Spinal: Pada bedah spinal, risiko meliputi kebocoran cairan serebrospinal (CSF), cedera akar saraf, dan kegagalan fiksasi instrumen (Nolte, *et al.*, 2021).

d. Manajemen Anestesi pada Pasien Bedah Saraf

Manajemen anestesi dalam prosedur bedah saraf memerlukan pendekatan yang sangat spesifik untuk melindungi jaringan saraf yang sensitif selama operasi berlangsung. Tujuan utama dari intervensi ini adalah menjaga perfusi organ vital, meminimalkan potensi kerusakan permanen pada otak maupun sumsum tulang belakang, serta memfasilitasi kondisi bedah yang optimal bagi operator. Melalui pemantauan hemodinamik yang ketat dan kontrol tekanan intrakranial, ahli anestesi berupaya menciptakan stabilitas fisiologis guna mencapai luaran klinis pasien yang maksimal (Liang, *et al.*, 2025).

Prinsip utama anestesi pada bedah saraf menitik beratkan pada stabilitas hemodinamik melalui kontrol ketat terhadap *Mean Arterial*

Pressure (MAP). Pengaturan *MAP* yang presisi sangat krusial, baik pada kasus kranial untuk mengelola *Cerebral Perfusion Pressure (CPP)* maupun pada kasus spinal untuk mengelola *Spinal Cord Perfusion Pressure (SCPP)*, guna menghindari risiko iskemia serta perdarahan. Selain itu, pada prosedur kraniotomi, pemilihan agen anestesi harus didasarkan pada dampaknya terhadap *Cerebral Blood Flow (CBF)* dan volume otak agar dapat mempertahankan *Intracranial Pressure (ICP)* yang rendah namun tetap menjaga *CPP* yang adekuat (Långsjö, *et al.*, 2024; Liang, *et al.*, 2025).

2. Kraniotomi

a. Pengertian

Kraniotomi merupakan salah satu prosedur bedah *neurosurgery* yang melibatkan pembuatan sayatan pada kulit kepala dan pembukaan sebagian tulang tengkorak (*bone flap*) untuk mengakses struktur di dalam rongga intrakranial (Liang, *et al.*, 2025). Berbeda dengan kraniektomi dekompresi, fragmen tulang yang dibuka pada kraniotomi akan dikembalikan dan difiksasi pada tempatnya setelah prosedur bedah selesai, menjadikannya prosedur yang bertujuan untuk intervensi namun tetap mempertahankan integritas kerangka tulang tengkorak (Li, *et al.*, 2024).

b. Indikasi dan Kontra Indikasi

Indikasi kraniotomi mencakup berbagai kondisi patologis yang memerlukan akses langsung ke otak untuk pengobatan. Kraniotomi akut sering diindikasikan untuk mengevakuasi hematoma intrakranial (Epidural atau Subdural) yang diakibatkan oleh Cedera Otak Traumatis/ *Traumatic Brain Injury (TBI)*, suatu kondisi yang insidensinya cukup signifikan secara global (Nevalainen, *et al.*, 2022). Selain itu, kraniotomi elektif digunakan untuk reseksi tumor otak primer atau metastasis, serta untuk tindakan vaskuler seperti kliping aneurisma serebral yang pecah atau berisiko tinggi pecah (Liang, *et al.*, 2025).

Sedangkan kontraindikasi untuk kraniotomi umumnya bersifat relatif dan didasarkan pada penilaian risiko operatif vs manfaat klinis yang akan didapat pasien. Kontraindikasi yang paling signifikan meliputi adanya instabilitas medis berat seperti koagulopati yang tidak terkoreksi atau syok septik yang tidak teratasi, yang secara drastis meningkatkan mortalitas perioperatif (Guo, *et al.*, 2023). Selain itu, pada kasus cedera otak yang sangat parah dengan prognosis neurologis yang hampir pasti buruk dan kerusakan batang otak yang *irreversibel*, kraniotomi mungkin dianggap sebagai kontraindikasi karena tidak memberikan harapan luaran klinis yang berarti (Liang, *et al.*, 2025).

c. Komplikasi

Komplikasi kraniotomi sangat serius dan memerlukan manajemen pasca-operasi yang intensif. Komplikasi neurologis meliputi edema serebral pasca-operasi, perdarahan intrakranial ulang, kejang, dan

munculnya defisit neurologis baru (Liang, *et al.*, 2025). Sementara itu, komplikasi infeksi seperti Infeksi Lokasi Bedah (*Surgical Site Infection-SSI*), dilaporkan memiliki tingkat kejadian yang lebih tinggi pada prosedur kranial (sekitar 2.1%) dibandingkan bedah spinal, dengan risiko infeksi yang mengarah pada sepsis dan syok septik (Guo, *et al.*, 2023; Pralea, *et al.*, 2023).

d. Fokus Anestesi dan Manajemen Anestesi

Hal-hal krusial yang harus diperhatikan selama anestesi kraniotomi berpusat pada pemeliharaan Tekanan Perfusi Serebral (*CPP*). Anestesiolog wajib menjaga *CPP* tetap optimal, di mana $CPP = MAP - ICP$, karena penurunan *CPP* secara cepat dapat menyebabkan iskemia serebral akut dan luaran neurologis yang buruk (Liang, *et al.*, 2025). Hal lain yang penting adalah pemantauan fungsi neurologis *intraoperative* (*neuromonitoring*), seperti *Somatosensory Evoked Potentials (SSEP)*, yang memerlukan kerjasama erat dengan ahli anestesi untuk menghindari penggunaan agen anestesi yang dapat menekan sinyal saraf secara berlebihan (Guo, *et al.*, 2023).

Manajemen anestesi pada pasien yang akan menjalani operasi kraniotomi menekankan pada induksi yang halus dan pemeliharaan *MAP* yang stabil. Penggunaan agen anestesi harus dipilih dengan cermat, misalnya agen inhalasi dosis tinggi yang menyebabkan vasodilatasi serebral harus dihindari karena dapat meningkatkan *ICP* (Liang, *et al.*, 2025). Penggunaan diuretik osmotik (Manitol) atau salin hipertonik

seringkali diperlukan untuk mengurangi volume cairan otak dan *ICP* sebelum pembukaan dura, dan *MAP* harus dikelola secara agresif menggunakan *vasopressor* atau cairan untuk mempertahankan *CPP* yang ditargetkan (Liang, *et al.*, 2025).

e. Hubungan Antara *MAP* (*Mean Arterial Pressure*) dengan Kraniotomi

Pada pasien yang menjalani *decompressive craniectomy* akibat infark serebral, menjaga kestabilan *MAP* sangat krusial untuk menjamin tekanan perfusi serebral (*CPP*) yang memadai. Penurunan nilai *CPP* di bawah ambang batas 80 mmHg diketahui berhubungan erat dengan transisi dari hasil klinis yang baik menuju hasil yang buruk. *MAP* juga digunakan bersama dengan tekanan intrakranial untuk menghitung indeks reaktivitas tekanan guna menilai fungsi autoregulasi serebral pasien setelah operasi. Pemantauan fisiologi otak secara invasif pasca-kraniotomi dapat memberikan informasi prognostik yang berharga bagi pemulihan jangka panjang pasien (Alhamdan, *et al.*, 2025).

Hipertensi *intraoperatif*, yang didefinisikan sebagai *Mean Arterial Pressure (MAP)* di atas 105 mmHg, merupakan kejadian yang sering ditemui pada pasien tumor otak yang menjalani prosedur kraniotomi. Peneliti mengidentifikasi bahwa tekanan darah yang tinggi selama operasi merupakan faktor risiko signifikan bagi munculnya stroke iskemik pasca operasi pada pasien bedah saraf. Risiko stroke ini meningkat secara tajam apabila nilai puncak *MAP* melebihi 123 mmHg atau jika durasi hipertensi berlangsung lebih dari 5 menit. Oleh karena

itu, pemantauan dan pengelolaan tekanan darah yang ketat sangat penting untuk meminimalkan komplikasi neurologis yang parah (Feng, *et al.*, 2025).

3. Laminektomi

a. Pengertian

Laminektomi merupakan salah satu prosedur bedah saraf, dimana dilakukan dekompresi spinal yang melibatkan pengangkatan *lamina* (bagian posterior dari vertebra) dan ligamen flavum untuk melebarkan kanalis spinalis dan mengurangi tekanan pada sumsum tulang belakang atau akar saraf (Nolte, *et al.*, 2021). Prosedur ini merupakan intervensi standar untuk mengatasi masalah kompresi saraf akibat penyakit degeneratif tulang belakang atau trauma, dan dapat dilakukan pada tingkat servikal, torakal, dan lumbal (Långsjö, *et al.*, 2024).

b. Indikasi dan Kontra Indikasi

Indikasi utama dari laminektomi adalah untuk kondisi yang menyebabkan penyempitan atau kompresi pada kanalis spinalis. Indikasi yang paling umum adalah Stenosis Spinal Lumbal yang menyebabkan klaudikasio neurogenik atau defisit neurologis yang membatasi, dimana laminektomi dekompresi telah terbukti memberikan hasil klinis yang sebanding bahkan untuk kasus bertingkat (Nolte, *et al.*, 2021). Indikasi lain mencakup penanganan *Hernia Nucleus Pulposus (HNP)* yang parah dan trauma spinal yang memerlukan dekompresi untuk mencegah cedera sumsum tulang belakang sekunder (Sari, 2025).

Kontraindikasi untuk Laminektomi murni (tanpa fusi) adalah adanya instabilitas tulang belakang yang signifikan, di mana dekompresi saja justru dapat memperburuk ketidakstabilan tersebut dan memerlukan prosedur stabilisasi tambahan (fusi spinal) (Nolte, *et al.*, 2021). Kontraindikasi relatif lainnya adalah kondisi pasien yang tidak dapat mentoleransi posisi *prone* (tengkurap) dalam waktu lama, yang merupakan posisi standar untuk operasi ini (Sari, 2025).

c. Komplikasi

Komplikasi laminektomi sebagian besar terkait dengan lokasi bedah dan implikasi dari posisi pembedahan. Resiko kebocoran Cairan Serebrospinal (CSF) akibat robekan dura merupakan komplikasi yang sering terjadi dan memerlukan penanganan segera (Nolte, *et al.*, 2021). Komplikasi hemodinamik seperti hipotensi adalah risiko tinggi yang disebabkan oleh posisi *prone*, yang menekan vena kava dan mengurangi *venous return* ke jantung (Sari, 2025). Sementara itu, risiko Infeksi Lokasi Bedah (SSI) pada laminektomi dilaporkan lebih rendah (sekitar 1.1%) dibandingkan kraniotomi, namun tetap memerlukan profilaksis antibiotik yang memadai (Pralea, *et al.*, 2023).

d. Fokus Anestesi dan Manajemen Anestesi

Hal paling krusial yang harus diperhatikan oleh dokter anestesi maupun penata anestesi selama prosedur laminektomi adalah manajemen posisi *prone* untuk menghindari kompresi vena kava inferior. Posisi yang salah akan meningkatkan tekanan intra-abdomen, yang meningkatkan

perdarahan vena epidural dan memperburuk hipotensi, sehingga penting untuk menggunakan bantal khusus (*Jackson table*) yang menggantung perut (Sari, 2025). Perhatian kedua adalah memastikan Perfusi Sumsum Tulang Belakang (*SCPP*) adekuat, di mana target *MAP* harus dijaga pada nilai yang lebih tinggi (e.g., 85–90 mmHg) pada kasus cedera sumsum tulang belakang servikal untuk memaksimalkan luaran neurologis (Långsjö, *et al.*, 2024).

Manajemen anestesi pada prosedur laminektomi sangat fokus pada transisi dan stabilitas hemodinamik selama *positioning*. Induksi anestesi dilakukan dalam posisi *supine*, diikuti dengan transisi yang cermat ke posisi *prone* sambil memantau *MAP* secara kontinu, dan agen vasoaktif harus tersedia untuk mengatasi hipotensi yang cepat (Sari, 2025). Selain itu, karena laminektomi sering melibatkan pemantauan neurologis (*SSEP* dan *Motor Evoked Potentials/MEP*), ahli anestesi harus menggunakan teknik anestesi total intravena (*Total Intravenous Anesthesia/TIVA*) untuk meminimalkan gangguan sinyal saraf yang dapat disebabkan oleh agen anestesi inhalasi (Långsjö, *et al.*, 2024).

e. Hubungan *MAP* (*Mean Arterial Pressure*) dengan Laminektomi

Pemeliharaan Mean Arterial Pressure (*MAP*) di atas 85 mmHg merupakan standar yang sangat penting bagi pasien dengan cedera medula spinalis akut yang menjalani operasi laminektomi. Kondisi hipotensi sistemik selama prosedur bedah dapat meningkatkan risiko cedera sekunder karena berkurangnya aliran darah ke area saraf yang

rentan. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa seluruh pasien dalam studi mengalami setidaknya satu episode hipotensi di bawah target yang ditentukan selama berada di ruang operasi. Tingginya insidensi hipotensi intraoperatif ini menekankan perlunya peningkatan protokol pemantauan tekanan darah untuk mencegah penurunan fungsi neurologis lebih lanjut (Gaudin, *et al.*, 2020).

Penggunaan analisis *machine learning* menunjukkan bahwa menjaga rata-rata *MAP intraoperatif* pada rentang 80 hingga 96 mmHg berkaitan dengan perbaikan skor neurologis pasien saat keluar dari rumah sakit. Sebaliknya, rata-rata *MAP* yang melebihi 96,3 mmHg justru tidak menunjukkan adanya perbaikan pada skala pemulihan fungsi motorik maupun sensorik pasien. Durasi fluktuasi tekanan darah di luar rentang optimal juga menjadi penentu hasil akhir, dimana paparan kondisi ekstrim selama lebih dari 93 menit menurunkan peluang pemulihan secara signifikan. Strategi manajemen hemodinamik yang dipandu oleh ambang batas klinis ini sangat dianjurkan untuk mengoptimalkan hasil pembedahan pada kasus cedera saraf tulang belakang (Agarwal, *et al.*, 2022).

4. *Mean Arterial Pressure (MAP)*

a. Pengertian *MAP (Mean Arterial Pressure)*

Mean Arterial Pressure (MAP) adalah tekanan arteri rata-rata yang mendorong darah melalui sistem sirkulasi ke jaringan tubuh selama satu siklus jantung penuh (*sistole dan diastole*) (Ignatavicius & Workman, 2015; Meng, *et al.*, 2024). *MAP* merupakan indikator hemodinamik paling penting untuk menilai perfusi organ vital (Gurensky, *et al.*, 2023).

Menurut Butterworth *et al* (2025) dan Miller *et al* (2014) *Mean Arterial Pressure (MAP)* didefinisikan sebagai tekanan rata-rata dalam satu siklus jantung lengkap yang mewakili tekanan perfusi ke organ vital. *MAP* merupakan determinan utama perfusi organ, dimana nilai *MAP* yang adekuat diperlukan untuk mencegah cedera organ akibat *hipoperfusi* (iskemia), terutama pada ginjal dan miokardium.

b. Fisiologi Dasar *MAP* (*Mean Arterial Pressure*)

Secara fisiologis, *Mean Arterial Pressure (MAP)* ditentukan oleh dua komponen utama, yaitu curah jantung (*cardiac output*) dan resistensi vaskular sistemik (*systemic vascular resistance*). Curah jantung mencerminkan volume darah yang dipompa oleh jantung ke dalam sirkulasi setiap menitnya, yang merupakan hasil perkalian antara denyut jantung dan volume sekuncup. Di sisi lain, resistensi vaskular sistemik menggambarkan tingkat hambatan yang dialami aliran darah saat melewati pembuluh darah perifer di seluruh tubuh. Interaksi dinamis antara kedua faktor ini memastikan bahwa tekanan darah tetap berada dalam rentang yang cukup untuk mem perfusi organ-organ vital secara adekuat. Oleh karena itu, gangguan pada fungsi pompa jantung maupun

perubahan drastis pada diameter pembuluh darah akan langsung berdampak pada kestabilan nilai *MAP* (Butterworth *et al.*, 2025).

$$MAP = \text{Cardiac Output (CO)} \times \text{Systemic Vascular Resistance (SVR)}$$

Variasi pada salah satu komponen (misalnya, penurunan *SVR* akibat Desflurane) akan secara langsung mempengaruhi nilai *MAP*. Tubuh memiliki mekanisme protektif (*Barorefleks*) yang berfungsi melalui sistem saraf otonom untuk menjaga *MAP* dalam rentang yang ideal guna memastikan perfusi yang memadai (Ignatavicius & Workman, 2015).

c. Perhitungan *MAP* (Mean Arterial Pressure)

Perhitungan *MAP* dilakukan secara matematis dengan mengkombinasikan nilai tekanan darah sistolik dan diastolik yang diperoleh dari hasil pengukuran. Rumus umum yang digunakan adalah tekanan sistolik ditambah dengan dua kali tekanan diastolik, lalu hasilnya dibagi dengan angka tiga. Penggunaan angka dua pada tekanan diastolik didasarkan pada fakta fisiologis bahwa jantung menghabiskan waktu dua kali lebih lama dalam fase diastole atau relaksasi dibandingkan fase sistole. Sebagai contoh, pada seseorang dengan tekanan darah normal 120/80 mmHg, nilai *MAP* yang dihasilkan adalah sekitar 93,3 mmHg. Keakuratan dalam menghitung nilai ini sangat krusial bagi tenaga medis dalam memantau status hemodinamik pasien secara *real-time* (Butterworth *et al.*, 2025).

Secara matematis, *MAP* diprioritaskan dihitung dengan rumus:

$$MAP = \text{Tekanan diastolik} + 1 \times (\text{Tekanan Sistolik} - \text{Tekanan Diastolik})$$

d. Rentang Klinis dan Target *Perfusion*

Pemeliharaan *MAP* dalam batas normal merupakan langkah yang krusial dalam manajemen anestesi untuk mengurangi risiko komplikasi pasca-operasi (Gurensky, et al., 2023).

1) Rentang Normal: Rentang *MAP* yang dianggap normal pada populasi dewasa adalah 70 hingga 100 mmHg (Gurensky, et al., 2023).

2) Target Minimum

Secara umum, *MAP* minimal 60 mmHg harus dipertahankan agar dapat menjamin perfusi adekuat ke organ-organ vital seperti otak, ginjal, dan jantung. Jika *MAP* turun dibawah batas ini dalam waktu yang lama, dapat terjadi manifestasi kegagalan organ akhir seperti iskemia dan infark (Meng, et al., 2024).

Sedangkan pada pasien dengan Cedera Otak Traumatis Berat (*TBI*) atau peningkatan *ICP* yang signifikan, *MAP* seringkali harus dipertahankan pada tingkat yang relatif tinggi (misalnya, di atas 80–90 mmHg) untuk menjamin *CPP* yang adekuat, suatu keputusan yang didukung oleh pemantauan *ICP* invasif dan intervensi *vasopressor* segera (Liang, et al., 2025).

Dan pada pasien yang menjalani prosedur laminektomi, terutama yang diindikasikan karena Trauma Sumsum Tulang Belakang (*SCI*), target *MAP* yang lebih tinggi mungkin diperlukan (seringkali 85–90 mmHg) untuk mengoptimalkan *SCPP*, sebagai

strategi penting untuk membatasi cedera sumsum tulang belakang sekunder dan mendukung pemulihan neurologis (Långsjö, *et al.*, 2024).

- 3) Target Perioperatif: Konsensus global merekomendasikan target *MAP* minimal 65 mmHg untuk sebagian besar pasien intraoperatif dan kritis (Sessler, 2016). Namun, pada pasien yang memiliki riwayat hipertensi kronis, target *MAP* yang lebih tinggi (misalnya 80–85 mmHg) mungkin diperlukan untuk mencegah komplikasi seperti *Acute Kidney Injury (AKI)*, karena batas autoregulasi mereka telah bergeser ke atas (Meng, *et al.*, 2024).

e. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi *MAP* Selama Intra Anestesi

Stabilitas hemodinamik selama anestesi dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor fisiologis pasien, efek farmakologis obat anestesi, dan dampak dari prosedur pembedahan itu sendiri.

- 1) Faktor Fisiologis Kardiovaskuler

Tekanan darah arteri rata-rata (*MAP*) secara langsung dipengaruhi oleh tiga komponen fisiologis utama yaitu *preload* (beban awal), kontraktilitas miokard, dan *afterload* (beban akhir/tahanan vaskular).

- a) *Preload*: Menggambarkan volume darah yang mengisi ventrikel pada akhir diastole. Penurunan *venous return* (misalnya akibat puasa pra-bedah atau perdarahan) akan menurunkan volume

sekuncup (*stroke volume*), yang secara langsung menurunkan curah jantung dan *MAP* (Barash, *et al.*, 2013).

- b) Kontraktilitas merupakan kemampuan pompa jantung untuk mengedarkan darah. Depresi kontraktilitas miokard sering terjadi akibat efek inotropik negatif dari obat anestesi volatil maupun intravena (Butterworth, *et al.*, 2025).
- c) *Afterload (SVR)*: Tonus pembuluh darah arteri. Vasodilatasi sistemik adalah penyebab umum hipotensi intraoperatif, dimana penurunan tonus otot polos vaskuler menyebabkan turunnya resistensi perifer total (Saugel, *et al.*, 2022).

2) Faktor Farmakologis (Obat Anestesi)

Obat-obatan anestesi memiliki dampak signifikan terhadap penurunan *MAP* melalui berbagai mekanisme, yaitu:

a) Agen Induksi Intravena (*Propofol*)

Propofol merupakan salah satu agen induksi yang paling umum menyebabkan hipotensi. Mekanisme utamanya adalah melalui vasodilatasi arteri sistemik yang menurunkan *SVR* secara drastis, serta penghambatan tonus simpatik. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa efek penurunan *SVR* oleh *propofol* lebih dominan dibandingkan efek depresi kontraktilitas miokardnya dalam menyebabkan hipotensi pasca-induksi (Miller, *et al.*, 2014; Saugel, *et al.*, 2022). Agen induksi ini sering digunakan pada

prosedur operasi bedah saraf, termasuk operasi kraniotomi dan laminektomi.

b) Anestesi Inhalasi (Sevoflurane/Desflurane)

Agen volatil dapat menyebabkan penurunan *MAP* yang bergantung pada dosis (*dose-dependent*). Sevoflurane menurunkan *MAP* terutama melalui penurunan resistensi vaskular sistemik (*vasodilatasi*) dan penurunan kontraktilitas miokard pada konsentrasi tinggi. Selain itu, agen ini juga menumpulkan refleksi baroreseptor, sehingga takikardia kompensasi sering kali tidak terjadi saat tekanan darah turun (Barash, *et al.*, 2013; Li, *et al.*, 2024). Sevoflurane merupakan agen anestesi inhalasi yang sering digunakan pada pasien operasi kraniotomi dan laminektomi.

c) Obat Anestesi Regional

Pada prosedur bedah saraf seperti kraniotomi, obat anestesi regional biasanya diberikan dalam bentuk *scalp block* sebagai tambahan dari anestesi umum untuk membantu menstabilkan hemodinamik dan mengurangi nyeri. Sementara itu, pada operasi tulang belakang atau laminektomi, anestesi regional seperti anestesi spinal dapat digunakan namun memiliki risiko penurunan *MAP* yang signifikan akibat blokade saraf simpatis. Penggunaan obat-obatan ini harus dipantau dengan sangat ketat karena dampaknya terhadap tekanan darah sistemik dapat langsung mempengaruhi tekanan perfusi ke otak maupun medula spinalis.

Oleh karena itu, pemilihan teknik regional harus selalu mempertimbangkan target stabilitas *MAP* pasien guna mencegah risiko iskemik selama dan setelah operasi (Butterworth, *et al.*, 2025).

3) Faktor Pasien

Kondisi preoperatif pasien sangat menentukan toleransi terhadap perubahan hemodinamik intraoperatif, kondisi ini antara lain:

a) Usia (Geriatri)

Pasien lanjut usia sangat rentan mengalami risiko instabilitas *MAP* dikarenakan penurunan elastisitas pembuluh darah (*arteriosklerosis*), penurunan sensitivitas reseptor adrenergik, dan cadangan kardiovaskular yang terbatas. Sebuah studi kohort retrospektif mengkonfirmasi bahwa *frailty* (kerentaan) pada pasien tua adalah prediktor independen terjadinya hipotensi pasca-induksi (Lee, *et al.*, 2025; Tektiridis, *et al.*, 2022).

b) Status Fisik ASA & Komorbid

Pasien dengan status fisik ASA III-IV, hipertensi kronis, atau diabetes melitus lebih rentan terhadap fluktuasi *MAP* yang ekstrem. Pasien hipertensi seringkali memiliki volume intravaskular yang relatif lebih rendah (*contracted blood volume*) dan kurva autoregulasi yang bergeser ke kanan, sehingga mereka lebih

sensitif terhadap efek vasodilatasi obat anestesi (Barash, *et al.*, 2013; Kouz, *et al.*, 2022).

4) Faktor Pembedahan

Prosedur pembedahan berkontribusi terhadap perubahan *MAP* melalui beberapa mekanisme, antara lain:

a) Perdarahan

Kehilangan darah akut pada saat intra operasi dapat menurunkan volume intravaskular, mengurangi *venous return*, dan menurunkan *MAP* secara langsung (Butterworth, *et al.*, 2025). Dalam hal perbandingan volume perdarahan, prosedur bedah tulang belakang seperti laminektomi seringkali memiliki risiko kehilangan darah yang lebih besar dibandingkan dengan kraniotomi elektif. Hal ini disebabkan oleh luasnya diseksi otot yang diperlukan untuk mencapai struktur tulang serta keberadaan pleksus vena epidural yang sangat vaskular di sekitar medula spinalis. Meskipun kraniotomi dapat menyebabkan perdarahan masif pada kasus tumor yang sangat vaskular atau trauma kepala, laminektomi yang melibatkan banyak level atau disertai instrumentasi secara statistik lebih sering dikaitkan dengan kebutuhan transfusi darah intraoperatif. Kehilangan darah yang signifikan pada kedua prosedur ini merupakan faktor utama yang memicu penurunan volume intravaskular dan berujung pada penurunan *MAP* secara drastis. Oleh karena itu, kesiapan

manajemen cairan dan pemantauan hemodinamik yang ketat menjadi kunci untuk mencegah komplikasi iskemik pada jaringan saraf (Butterworth, *et al.*, 2025).

b) Stimulasi Bedah

Insisi kulit, intubasi, atau manipulasi organ viseral dapat memicu respon stres simpatik yang menyebabkan pelepasan katekolamin secara sistemik. Pelepasan hormon ini sering kali mengakibatkan peningkatan *Mean Arterial Pressure (MAP)* dan denyut jantung secara tiba-tiba atau yang dikenal sebagai hipertensi intraoperatif. Jika tidak dikelola dengan tepat, fluktuasi hemodinamik yang drastis ini dapat meningkatkan risiko komplikasi vaskular serta perdarahan di area bedah. Oleh karena itu, pemantauan ketat dan manajemen analgesia yang adekuat sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas tekanan darah selama prosedur berlangsung (Miller, *et al.*, 2014).

Pada prosedur kraniotomi untuk reseksi tumor otak, stimulasi bedah yang intens seringkali memicu hipertensi intraoperatif yang didefinisikan sebagai nilai *MAP* di atas 105 mmHg. Peningkatan tekanan darah yang tiba-tiba ini diidentifikasi sebagai faktor risiko utama munculnya stroke iskemik pasca operasi pada pasien bedah saraf. Studi terbaru menunjukkan bahwa risiko komplikasi neurologis akan meningkat secara drastis jika nilai puncak *MAP* melebihi 123 mmHg selama tindakan berlangsung. Oleh karena itu,

kontrol hemodinamik yang sangat ketat selama fase stimulasi bedah sangat diperlukan untuk melindungi jaringan otak dari risiko kerusakan vaskular yang fatal (Feng, *et al.*, 2025).

Dalam operasi laminektomi, terutama pada kasus cedera medula spinalis akut, manajemen *MAP* selama stimulasi bedah sangat krusial untuk menentukan hasil pemulihan fungsional motorik dan sensorik pasien. Fluktuasi tekanan darah akibat tindakan bedah harus dikelola dengan hati-hati agar tetap berada dalam rentang optimal, yakni antara 80 hingga 96 mmHg. Penelitian menunjukkan bahwa tekanan darah yang melampaui ambang batas 96,3 mmHg akibat respon stres bedah tidak memberikan manfaat tambahan bagi perbaikan neurologis. Pengaturan *MAP* yang presisi selama prosedur laminektomi sangat disarankan guna mencegah gangguan perfusi pada jaringan saraf yang sudah rentan (Agarwal, *et al.*, 2022).

c) Posisi Pasien

Perubahan posisi seperti *Trendelenburg* terbalik atau posisi duduk dapat menyebabkan penumpukan darah di ekstremitas bawah akibat efek gravitasi. Kondisi ini secara langsung mengurangi aliran balik vena ke jantung dan berpotensi memperburuk kejadian hipotensi pada pasien. Fenomena tersebut menjadi sangat berisiko terutama bagi pasien yang sudah berada dalam pengaruh obat anestesi karena hilangnya kompensasi saraf

simpatis. Oleh karena itu, penyesuaian posisi harus dilakukan secara bertahap untuk menjaga stabilitas hemodinamik selama operasi berlangsung (Barash, *et al.*, 2013).

Pada prosedur kraniotomi untuk tumor otak, penggunaan posisi kepala yang lebih tinggi (*head-up*) bertujuan untuk meningkatkan drainase vena dan menurunkan tekanan intrakranial. Namun, posisi ini dapat memicu penurunan *Mean Arterial Pressure (MAP)* secara signifikan yang jika dikombinasikan dengan hipertensi intraoperatif di atas 105 mmHg akan meningkatkan risiko stroke iskemik pascaoperasi. Studi menunjukkan bahwa menjaga stabilitas *MAP* sangat krusial saat posisi pasien diubah guna memastikan tekanan perfusi serebral tetap berada dalam batas aman. Pengaturan hemodinamik yang presisi diperlukan untuk menyeimbangkan antara optimalisasi akses bedah dan perlindungan jaringan otak (Feng, *et al.*, 2025).

Dalam operasi laminektomi, pasien sering ditempatkan pada posisi telungkup (*prone*) yang memberikan tekanan mekanis pada area abdomen dan vena kava inferior. Tekanan ini dapat menghambat aliran balik vena dan memicu episode hipotensi intraoperatif yang sering ditemui pada kasus cedera medula spinalis akut. Data menunjukkan bahwa menjaga rata-rata *MAP* tetap pada rentang 80 hingga 96 mmHg selama prosedur dalam posisi ini sangat menentukan keberhasilan pemulihan neurologis

pasien. Fluktuasi *MAP* yang ekstrim akibat posisi dan stimulasi bedah harus diminimalisir agar aliran darah ke saraf tulang belakang tidak terganggu (Agarwal, *et al.*, 2022).

B. Kerangka Teori/Landasan Teori

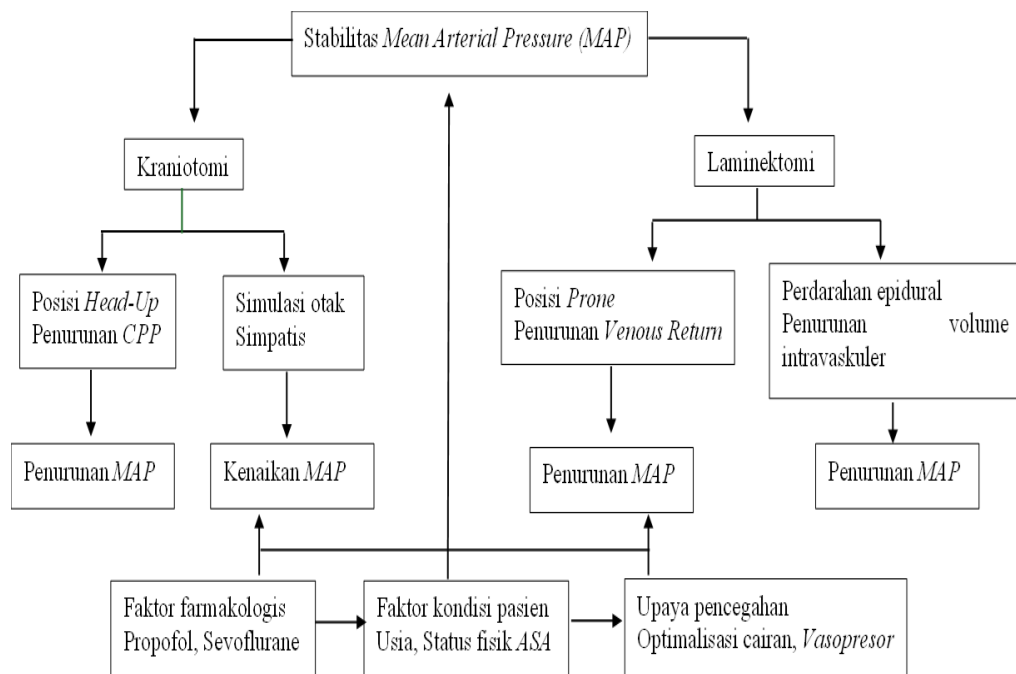
Bedah saraf merupakan prosedur medis kompleks yang mencakup penanganan gangguan sistem saraf pusat melalui tindakan operatif. Dalam konteks anestesi, stabilitas *Mean Arterial Pressure (MAP)* menjadi parameter krusial karena menentukan kecukupan perfusi organ vital. Terdapat perbedaan mekanisme fisiologis yang signifikan antara prosedur kraniotomi dan laminektomi dalam memengaruhi nilai *MAP intra operatif* (Liang, *et al.*, 2025; Pralea, *et al.*, 2023).

Pada Kraniotomi, fokus utama adalah menjaga *Cerebral Perfusion Pressure (CPP)*. Penggunaan posisi kepala yang lebih tinggi (*head-up*) untuk membantu drainase vena dan menurunkan tekanan intrakranial sering kali berdampak pada penurunan nilai *MAP*. Di sisi lain, stimulasi bedah yang kuat pada jaringan otak dapat memicu respon simpatik yang menyebabkan kenaikan *MAP* atau hipertensi intraoperatif (Feng, *et al.*, 2025; Pralea, *et al.*, 2023).

Sebaliknya, pada Laminektomi, perbedaan dampak terletak pada penggunaan posisi tengkurap (*prone*). Posisi ini memberikan tekanan mekanis pada vena kava inferior, yang secara langsung mengurangi *venous return* (aliran balik vena) ke jantung dan menurunkan curah jantung, sehingga memicu penurunan *MAP* yang lebih sering dibandingkan kraniotomi. Selain itu, risiko perdarahan pada laminektomi cenderung lebih besar karena

manipulasi pada pleksus vena epidural, yang semakin memperbesar potensi penurunan volume intravaskular dan *MAP* (Nolte, *et al.*, 2021; Sari, 2025).

Secara keseluruhan, fluktuasi *MAP* pada kedua jenis operasi ini dimediasi oleh faktor farmakologis seperti penggunaan agen induksi *propofol* dan inhalasi *sevoflurane* yang memiliki efek vasodilatasi, serta faktor kondisi pasien seperti usia dan status fisik *ASA* (Lee, *et al.*, 2025; Saugel, *et al.*, 2022). Kerangka teori penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

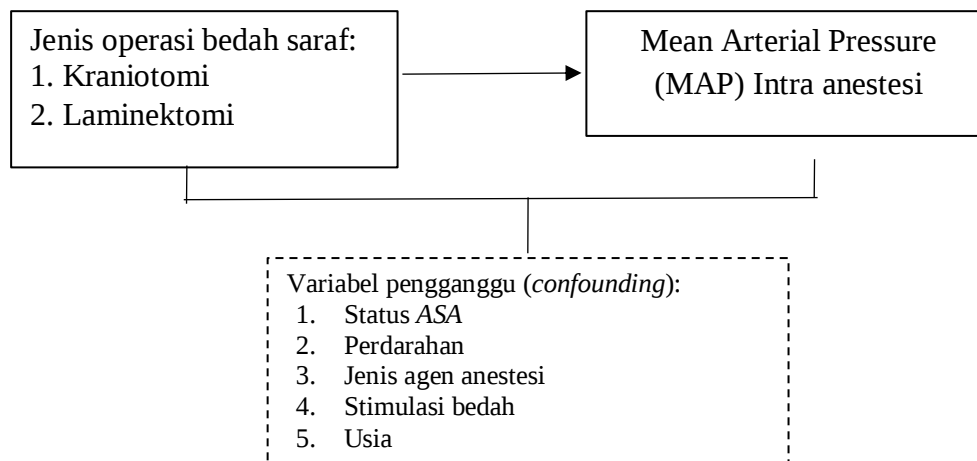


Gambar 1. Kerangka Teori Penelitian

Sumber: (Butterworth, *et al.*, 2025; Feng, *et al.*, 2025; Pralea, *et al.*, 2023; Saugel, *et al.*, 2022)

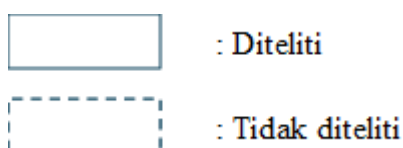
C. Kerangka Konsep

Kerangka konsep penelitian ini disusun untuk membandingkan luaran hemodinamik pada dua jenis prosedur bedah saraf yang berbeda. Fokus utama penelitian adalah melihat perbedaan antara kelompok pasien yang menjalani laminektomi dengan kelompok pasien kraniotomi terhadap nilai *Mean Arterial Pressure (MAP)* selama periode intra anestesi. Perbedaan ini didasari oleh karakteristik unik masing-masing prosedur, seperti posisi *prone* dan risiko perdarahan pada laminektomi dibandingkan posisi *head-up* serta target perfusi serebral pada kraniotomi. Desain ini didalamnya ada variabel lain seperti jenis agen anestesi dan status fisik ASA dikendalikan agar hasil perbandingan nilai *MAP* murni mencerminkan dampak dari perbedaan jenis operasi yang dilakukan. Secara spesifik, pengaturan hemodinamik ini dipengaruhi oleh dinamika posisi pasien dan stimulasi bedah yang berbeda pada kedua prosedur tersebut (Feng, *et al.*, 2025; Liang, *et al.*, 2025; Sari, 2025). Kerangka konsep penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan:



D. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah terdapat perbedaan nilai *Mean Arterial Pressure (MAP)* intra anestesi yang signifikan antara pasien yang menjalani operasi Bedah Saraf jenis Laminektomi dan pasien yang menjalani operasi Bedah Saraf jenis Kraniotomi di RSUP dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten.

