

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Pembedahan Tulang Belakang

1. Definisi

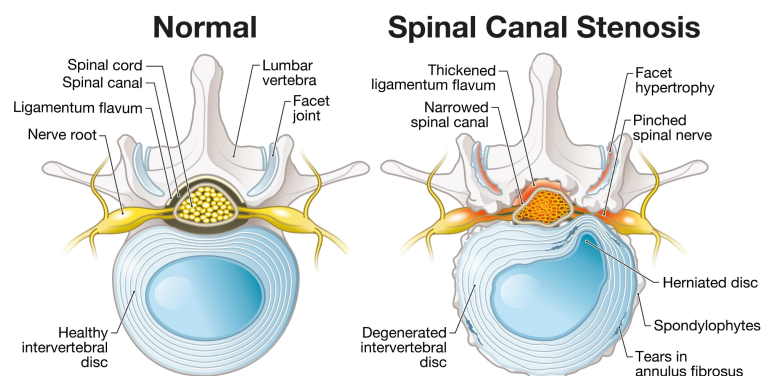
Pembedahan tulang belakang merupakan prosedur bedah pada vertebra, diskus intervertebralis, sumsum tulang belakang, atau saraf tulang belakang untuk atasi nyeri, gangguan neurologis, dan ketidakstabilan spinal, mencakup etiologi deformitas, degeneratif, traumatik, neoplastik pada pediatri hingga dewasa dari tengkorak ke sakrum (Galieri dkk., 2025). Tujuannya adalah menghilangkan nyeri dan memulihkan fungsi melalui koreksi struktural, dekompresi, serta stabilisasi (Mikhail dkk., 2020). Secara global, prosedur ini meningkat melebihi 7 juta kasus/tahun akibat penuaan populasi, mencakup teknik sederhana hingga rekonstruksi kompleks (Heck dkk., 2023).

2. Indikasi

Keputusan untuk melakukan pembedahan tulang belakang didasarkan pada patologi yang mendasari dan kegagalan terapi konservatif. Berdasarkan literatur terkini, indikasi utama pembedahan tulang belakang diklasifikasikan menjadi empat kategori utama (Evans dkk., 2023):

- a. Penyakit Degeneratif (Penuaan), Ini adalah indikasi yang paling umum (Kwon & Kim, 2023). Kondisi ini meliputi stenosis spinal (penyempitan saluran saraf), *Herniated Nucleus Pulposus (HNP)*,

dan spondilolistesis degeneratif. Pada kasus fusi lumbal elektif, pembedahan diindikasikan untuk mengatasi instabilitas segmen dan nyeri radikuler yang persisten. Prosedur fusi lumbal sering dilakukan pada populasi lansia untuk mengembalikan fungsi biomekanik tulang belakang yang hilang akibat proses degenerasi .



Gambar 1.1 Perbedaan Tulang belakang normal dan SCS.

- b. Deformitas Tulang Belakang, Pembedahan diindikasikan untuk koreksi kelengkungan tulang belakang yang abnormal, seperti pada kasus skoliosis (tulang belakang bengkok ke samping) atau kifosis (bungkuk). Operasi deformitas ini seringkali bersifat kompleks, melibatkan instrumentasi pada banyak segmen vertebra (*multilevel*), dan memiliki risiko perdarahan yang lebih tinggi dibandingkan operasi degeneratif biasa. Pada kasus yang sangat kompleks seperti *osteotomy* tulang belakang, pembedahan bertujuan untuk mengembalikan keseimbangan sagital dan koronal tubuh pasien (Evans dkk., 2023b).
- c. Trauma (Cedera Tulang Belakang), Indikasi pembedahan pada kasus trauma meliputi fraktur tulang belakang yang tidak stabil,

dislokasi, atau adanya kompresi pada korda spinalis yang menyebabkan defisit neurologis akut. Intervensi bedah segera sering diperlukan untuk mencegah kerusakan saraf permanen.

- d. Tumor dan Infeksi, Pembedahan juga diindikasikan untuk kasus onkologi (tumor tulang belakang primer atau metastasis) dan kasus infeksi seperti *spondilitis tuberkulosis* yang menyebabkan kerusakan struktur tulang dan penekanan saraf (Ikwuegbuenyi dkk., 2024).

B. Konsep Perdarahan Intraoperatif

Perdarahan intraoperatif adalah kehilangan darah yang terjadi selama prosedur pembedahan berlangsung, mulai dari insisi kulit hingga penutupan luka operasi (Mikhail dkk., 2020). Pada pembedahan tulang belakang, perdarahan seringkali bersifat masif karena luasnya diseksi otot dan vaskularisasi tulang yang kaya dikarenakan pembedahan tulang belakang merupakan prosedur invasif kompleks yang melibatkan struktur tulang, saraf, dan vaskularisasi yang rumit (Yahya dkk., 2022).

1. Klasifikasi Perdarahan (*Estimated Blood Loss*)

Estimasi Kehilangan Darah (*Estimated Blood Loss/EBL*) didefinisikan sebagai perhitungan volume darah kumulatif selama prosedur pembedahan. Pada bedah tulang belakang, EBL menjadi parameter kritis akibat luasnya area dekortikasi tulang dan keterlibatan pleksus venosus yang rentan berdarah (Kafka dkk., 2025; Rybaczek dkk., 2025). Akurasi EBL sangat vital sebagai dasar keputusan klinis intraoperatif, termasuk inisiasi resusitasi cairan, pemberian produk darah, hingga aktivasi protokol transfusi masif demi menjaga stabilitas hemodinamik pasien (Hajijafari dkk., 2023). Untuk menilai derajat keparahannya secara objektif, praktisi klinis menggunakan standar klasifikasi fisiologis *Advanced Trauma Life Support (ATLS)* dari *American College of Surgeons*, yang membagi perdarahan menjadi empat kelas berdasarkan persentase volume darah yang hilang dan respons tanda vital. Klasifikasi ini membagi perdarahan ke dalam empat kelas berdasarkan

persentase volume darah yang hilang (*Estimated Blood Volume/EBV*) dan respons tanda vital tubuh:

a. Kelas I (Perdarahan Ringan):

Kehilangan darah <15% dari EBV (<750 mL pada dewasa 70 kg).

Pada tahap ini, mekanisme kompensasi tubuh sangat baik sehingga tanda vital (tekanan darah, nadi) relatif masih dalam batas normal dan jarang memerlukan penggantian cairan selain kristaloid.

b. Kelas II (Perdarahan Sedang):

Kehilangan darah 15–30% (750–1500 mL). Respons simpatik mulai terlihat berupa takikardia (nadi >100x/menit) dan penurunan tekanan nadi (*pulse pressure*). Pasien mungkin memerlukan kristaloid dan kadang koloid, namun transfusi darah belum menjadi prioritas utama kecuali terdapat kondisi penyerta.

c. Kelas III (Perdarahan Berat):

Kehilangan darah 30–40% (1500–2000 mL). Ini adalah titik kritis di mana mekanisme kompensasi mulai gagal. Pasien menunjukkan tanda hipotensi, takikardi berat (>120x/menit), dan perubahan status mental. Transfusi darah (*Packed Red Cells*) hampir selalu diperlukan untuk mencegah syok dekompensasi.

d. Kelas IV (Perdarahan Masif/Mengancam Nyawa):

Kehilangan darah >40% (>2000 mL). Kondisi ini mengancam nyawa dengan segera (*immediately life-threatening*). Pasien mengalami hipotensi berat dan takikardia ekstrem (>140x/menit).

Protokol transfusi masif wajib segera diaktifkan untuk mencegah kematian.

2. Dampak Fisiologis Perdarahan Masif

Risiko perdarahan masif yang tidak teratasi pada pembedahan tulang belakang sangat fatal karena berpotensi memicu komplikasi total pada rentang 20-36%, serta mengancam nyawa melalui "Trias Mematikan". Prevalensi global pada kasus perdarahan berat dilaporkan mencapai 30% hingga 66%. Ketiga komponen ini secara bersamaan dapat meningkatkan angka mortalitas hingga rentang 47,8%—68,8%. Sedangkan Komplikasi total pada kasus perdarahan masif menurut Klineberg dapat mencapai 20–36% (Rybackek *dkk.*, 2025), dan transfusi dikaitkan dengan peningkatan risiko infeksi serta mortalitas pada tindakan kompleks. Perdarahan intraoperatif yang tidak terkontrol dapat memicu "Trias Mematikan" (*Lethal Triad*) pada pasien trauma/bedah, yaitu:

- a. Hipotermia: Kehilangan darah hangat dan paparan organ internal menyebabkan penurunan suhu inti tubuh, yang selanjutnya menghambat fungsi enzim koagulasi.
- b. Asidosis Metabolik: Hipoperfusi jaringan akibat hipovolemia menyebabkan metabolisme anaerob dan penumpukan asam laktat. Asidosis ini menurunkan efektivitas faktor pembekuan darah.
- c. Koagulopati: Kombinasi dari konsumsi faktor pembekuan, pengenceran (*dilusi*) akibat resusitasi cairan kristaloid, dan disfungsi trombosit memperburuk perdarahan yang terjadi.

3. Etiologi dan Faktor Resiko

a. Faktor Anatomis

Vaskularisasi tulang belakang memiliki karakteristik unik, terutama pada sistem venanya, suplai darah arteri ke tulang belakang bersifat segmental, dengan setiap ruas menerima aliran dari cabang aorta yang terpisah, seperti arteri interkostal, yang memasok korpus vertebra dan elemen posterior (Moura dkk., 2025; Sidelkovskyi & Ignatishev, 2025).

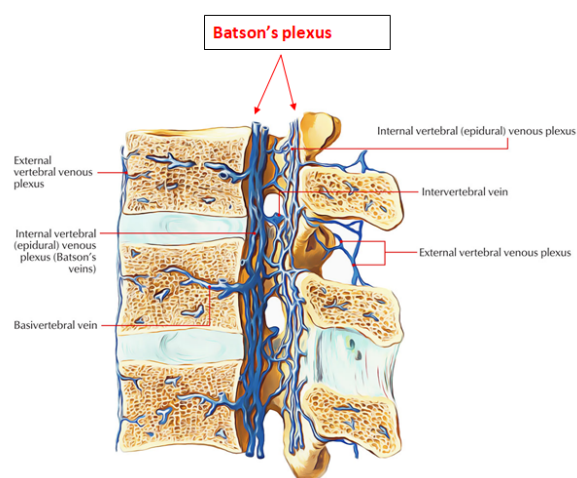
1) Sistem Arteri

Suplai darah arteri ke kolumna vertebralis bersifat segmental, artinya setiap ruas menerima aliran terpisah dari cabang aorta, bukan dari satu pembuluh kontinu. Arteri berpasangan ini (seperti interkostal) memperdarahi korpus vertebra dan elemen posterior (Moura dkk., 2025). Cedera pada arteri ini dapat menyebabkan perdarahan pulsatif dan mengganggu suplai darah medula spinalis, terutama pada Arteri *Adamkiewicz* (T9-L2) yang vital untuk perfusi bagian bawah (Sidelkovskyi & Ignatishev, 2025).

2) Sistem Vena *Pleksus Venosus Batson*

Sumber perdarahan paling signifikan dan sulit dikontrol dalam pembedahan tulang belakang berasal dari sistem vena, terutama *Pleksus Batson* (Groen, 2020; Santisteban, 2024). *Pleksus* ini berupa anyaman vena berdinding tipis yang meluas

di sepanjang kanalis spinalis dan sekitar korpus vertebra, dari dasar tengkorak hingga sakrum. Karakteristik paling kritis adalah ketiadaan katup, yang menyebabkan aliran darah bersifat dua arah dan sangat bergantung pada tekanan rongga toraks serta abdomen (Creze dkk., 2023; Shi dkk., 2025).



Gambar 2.1 Vena Batson Pleksus yang tidak memiliki katup.

sumber : [Chinese Journal of Traumatology](#)

Karena terhubung langsung dengan sistem vena kava tanpa katup, peningkatan tekanan intra-abdomen atau intra-toraks akan ditransmisikan langsung ke *Pleksus Batson* (Groen, 2020). Faktor seperti posisi *prone* yang menekan abdomen dan *manuver Valsava* dapat menyebabkan pembengkakan pleksus (Närhi dkk., 2021). Saat diseksi, pleksus yang terbenjeng ini rapuh dan mudah pecah, memicu perdarahan masif yang sulit dihentikan (Santisteban, 2024). Oleh karena itu, strategi hipotensi permisif dan posisi pasien yang membebaskan

abdomen menjadi intervensi kunci untuk menurunkan tekanan pleksus dan meminimalkan perdarahan (Groen, 2020; Mikhail dkk., 2020).

b. Faktor Hemodinamik

Faktor hemodinamik mempengaruhi perdarahan intraoperatif melalui mekanisme fisika tekanan hidrostatik pada dua sisi pembuluh darah yakni arteri dan vena. Tekanan Arteri Rata-rata (MAP) bertindak sebagai tekanan pendorong aliran darah sistemik (Shirasawa dkk., 2023). Pada area insisi dan dekontikasi tulang (laminektomi), pembuluh darah kapiler dan arteriol terbuka. MAP yang tinggi menciptakan tekanan hidrostatik intraluminal yang besar, mendorong darah keluar dengan deras dari permukaan tulang yang terekspos. Hal ini menyebabkan perdarahan difus tipe *oozing* yang sulit dikontrol karena berasal dari ribuan titik mikroskopis (Huec dkk., 2022). ada beberapa faktor kunci yang mempengaruhi nilai *Mean Arterial Pressure* (MAP) :

1. Kedalaman Anestesi

Terkait dengan kedalaman dan induksi anestesi, Kamaswari dkk., 2024 menjelaskan bahwa prosedur induksi yang menggunakan kombinasi midazolam, ketamine, dan sevoflurane harus dilakukan dengan tetap mengutamakan pemeliharaan oksigenasi yang adekuat serta stabilitas hemodinamik yang terjaga.

Pemilihan dosis agen anestesi yang tepat sangat krusial dalam mencapai target hipotensi tanpa mengorbankan perfusi jaringan.

2. Manajemen Cairan

Pemberian cairan selama pembedahan bertujuan untuk meningkatkan preload sehingga dapat meningkatkan *stroke volume* melalui mekanisme *Frank-Starling*. Sejalan dengan hal tersebut, studi oleh Cecconi dkk. (2018) menunjukkan bahwa optimalisasi *preload* merupakan langkah awal yang fundamental dalam manajemen hipotensi, terutama pada kondisi hipovolemia relatif yang diakibatkan oleh efek vasodilatasi dari agen anestesi (Cecconi & Rui, 2018).

3. Pengaturan Posisi Pasien

Pengaturan posisi pasien selama operasi, khususnya posisi *prone* (tengkurap) dan *true lateral*, memerlukan pemantauan ketat terhadap efek kardiorespirasi yang mungkin muncul (Kamaswari dkk., 2024). Menurut Koo dkk., (2022) posisi pasien seperti *prone* yang dapat menghambat aliran balik vena akibat penekanan mekanis. Selain itu, Al dkk. (2025) dalam penelitiannya menemukan bahwa penggunaan posisi *Semi Fowler* mampu menurunkan kejadian hipotensi pascabedah dan *Postoperative Nausea and Vomiting* (PONV) secara signifikan (Al gina dkk, 2025).

4. Stimulasi Nyeri Intraoperatif

Kontrol nyeri intraoperatif yang tidak adekuat dapat memicu stimulasi saraf simpatis. Kondisi ini berisiko menyebabkan munculnya takikardia, hipertensi, serta peningkatan konsumsi oksigen miokard (Pan dkk., 2025). Oleh karena itu, manajemen analgesia yang tepat diperlukan untuk mencegah lonjakan tekanan darah yang dapat mengganggu target MAP pada teknik hipotensi permisif (Rivasi dkk., 2022)

5. Durasi Operasi

Durasi operasi yang memperbesar resiko fluktuasi hemodinamik kumulatif selama prosedur berlangsung (Li dkk., 2025). Berdasarkan Czajka dkk., 2023 & wesselink dkk., 2022, operasi yang berlangsung lebih lama secara konsisten dikaitkan dengan hipotensi yang lebih berkepanjangan serta hubungan yang lebih kuat antara hipotensi dan komplikasi. Durasi operasi yang lebih lama meningkatkan lamanya waktu pasien berada pada tekanan MAP yang rendah, yang pada gilirannya meningkatkan risiko, terutama pada pasien lanjut usia atau yang lemah (Czajka dkk., 2023; Wesselink dkk., 2022).

c. Faktor Karakteristik Pasien

Volume perdarahan selama pembedahan tulang belakang merupakan fenomena multifaktorial. Selain faktor teknik pembedahan,

karakteristik pasien memiliki peran signifikan dalam menentukan derajat perdarahan (Li dkk., 2025; Rybaczek dkk., 2025):

1) Usia (*Age*)

Peningkatan usia berhubungan dengan perubahan degeneratif pada pembuluh darah (aterosklerosis) yang menyebabkan dinding pembuluh darah menjadi kaku dan rapuh (Kwon & Kim, 2023; Hooglugt dkk., 2022). Kondisi ini membuat pembuluh darah lebih mudah pecah saat diseksi dan respon vasokonstriksi alami tubuh menjadi kurang efisien dibandingkan pasien muda (Picos dkk., 2025)

2) ASA (*American Society of Anesthesiologists Physical Status Classification System*)

Status fungsional pasien yang buruk, tercermin dari skor ASA tinggi ($\geq$ III), berhubungan dengan stress operasi dan peningkatan estimasi kehilangan darah serta kebutuhan transfusi pada pembedahan tulang belakang mayor (Raman dkk., 2020; Al-Husinat dkk., 2024).

3) Indeks Massa Tubuh (IMT)

Pasien dengan obesitas (IMT tinggi) memiliki massa lemak intra-abdomen yang besar. Saat posisi tengkurap (*prone position*), tekanan intra-abdomen akan meningkat dan menekan vena kava inferior. Darah kemudian mencari jalan pintas melalui sistem vena kolateral, yaitu *Pleksus Venosus Batson* di area tulang

belakang (Kundra dkk., 2020). Akibatnya, *pleksus* ini mengalami pembengkakan (*engorgement*). Jika *pleksus* yang terbungkus ini tergores pisau bedah, perdarahan yang terjadi akan jauh lebih banyak (*profuse bleeding*) (Sellers dkk., 2022).

4) Riwayat Hipertensi

Pasien dengan tekanan darah dasar (*baseline*) yang tinggi memiliki tekanan hidrostatik intravaskuler yang besar, sehingga sesuai hukum fisika, aliran darah akan menjadi lebih deras. sehingga Pasien dengan tekanan darah praoperasi yang tinggi mengalami peningkatan tekanan arteri rata-rata selama operasi, yang berkaitan dengan kehilangan darah yang lebih banyak (Prasad dkk., 2023).

5) Riwayat Gangguan Koagulasi

Risiko perdarahan tinggi pada pembedahan tulang belakang juga dipengaruhi secara signifikan oleh riwayat kelainan sistemik yang berdampak pada fungsi koagulasi pasien. Salah satu indikator laboratorium klinis yang paling relevan dalam menilai risiko ini adalah *Activated Partial Thromboplastin Time* (APTT (Prihandono dkk., 2025)). Dalam kondisi normal, homeostasis pada area ini sangat bergantung pada kecepatan proses pembekuan darah primer dan sekunder. nilai APTT yang memanjang akan menghambat pembentukan fibrin yang adekuat. Hal ini menyebabkan rembesan darah dari permukaan tulang dan

pleksus venosus berlangsung lebih lama, sehingga akumulasi volume perdarahan intraoperatif menjadi lebih besar (berisiko masuk ke kategori perdarahan Sedang atau >750 ml)

d. Metode Pengukuran Pendarahan

Dalam praktik klinis sehari-hari, pengukuran perdarahan dilakukan dengan mengkombinasikan dua metode utama yang bersifat komplementer yakni :

a. Metode Volumetrik (*Suction Method*)

Metode ini adalah cara pengukuran yang paling objektif di kamar operasi. Prinsipnya adalah mengukur volume darah yang tertampung dalam tabung penyedot (*suction canister*) secara berkala. Agar hasil akurat, volume yang terbaca harus dikoreksi dengan jumlah cairan pencuci luka yang digunakan oleh operator bedah. Rumus perhitungannya adalah:

$$\text{Volume Darah} = \text{Cairan di Tabung Suction} - \text{Cairan Irigasi yang Dipakai}$$

Keterbatasan metode ini adalah kemungkinan bercampurnya darah dengan serpihan jaringan atau cairan asites (jika ada), serta darah yang tidak tersedot (*clot* di selang).

b. Metode Estimasi Visual (*Visual Estimation*)

Metode ini dilakukan dengan mengamati tingkat kejenuhan darah pada bahan habis pakai bedah seperti kain kassa (*gauze*) atau spons laparotomi. Meskipun bersifat subjektif, akurasi metode ini

dapat ditingkatkan dengan menerapkan standar acuan visual (*visual cues*) yang disepakati oleh tim anestesi dan bedah.

		Percentage of Saturation			
		25%	50%	50%	100%
Gauze Size	10×10 cm	 3 mL	 6 mL	 6 mL	 12 mL
	30×30 cm	 25 mL	 50 mL	 75 mL	 100 mL
	45×45 cm	 40 mL	 80 mL	 120 mL	 160 mL

Gambar 2.2 Gauze Kasa.

Sumber : Algadiem dalam Varshini (2024)[Pubmed](#).

Panduan konversi standar yang umum digunakan adalah:

- 1) Kassa Kecil (*Small Swab* 10x10 cm) 10 – 20 ml darah.
- 2) Kassa Besar (*Large Lap Pad*) 100 – 150 ml darah.

c. Perhitungan Total Perdarahan

Untuk mendapatkan nilai estimasi perdarahan total (Total *EBL*) yang mendekati kondisi riil pasien, penata anestesi menjumlahkan hasil dari kedua metode tersebut pada akhir prosedur operasi

Total *EBL* = (Volume *Suction* Murni) + (Estimasi Darah di Kassa/*Drape*)

C. Landasan Teori Keperawatan

Dalam perspektif Teori Keperawatan *Myra Levine*, tindakan anestesi berupa strategi hipotensi permisif merupakan bentuk intervensi untuk mendukung Konservasi Integritas Struktural. Perdarahan intraoperatif merupakan ancaman terhadap keutuhan struktur tubuh. Oleh karena itu, pengaturan *Mean Arterial Pressure* (MAP) dilakukan untuk membatasi kerusakan jaringan dan kehilangan cairan vital (darah), sehingga homeostasis tubuh tetap terjaga dan energi pasien dapat dikonservasi untuk proses penyembuhan pasca-operasi (Laksmi dkk., 2020; Pebrianti dkk., 2023).

1. Konsep Utama

Teori *Levine* berfokus pada konsep "Konservasi" (*Conservation*) dan "Adaptasi". *Levine* memandang individu sebagai makhluk holistik (*wholeness*) yang terus-menerus berinteraksi dengan lingkungannya. Tujuan utama dari asuhan keperawatan adalah mempromosikan adaptasi dan mempertahankan keutuhan (*wholeness*) individu tersebut dengan cara mengkonservasi energi serta integritas struktural, personal, dan sosialnya. Dalam konteks anestesi, pasien berada dalam kondisi "ketergantungan total" akibat pengaruh obat bius. Perawat anestesi bertindak sebagai "lingkungan eksternal" yang mendukung adaptasi pasien terhadap stresor pembedahan melalui intervensi konservasi.

2. Prinsip

Levine merumuskan empat prinsip konservasi, namun dalam konteks penelitian mengenai pengelolaan perdarahan dan hemodinamik, dua prinsip berikut menjadi fokus utama:

a) Prinsip Konservasi Integritas Struktural (*Conservation of Structural Integrity*)

Prinsip ini menekankan pentingnya memulihkan atau memelihara struktur fisik tubuh untuk mencegah kerusakan jaringan dan mempercepat penyembuhan.

- 1) Aplikasi dalam Studi: Pembedahan tulang belakang secara inheren merusak integritas struktural melalui insisi kulit, diseksi otot, dan osteotomi. Perdarahan adalah manifestasi nyata dari hilangnya komponen struktural tubuh (cairan vital/darah).
- 2) Intervensi: Penerapan Strategi Hipotensi Permisif merupakan wujud nyata aplikasi prinsip ini. Dengan menurunkan tekanan darah secara terkontrol, perawat anestesi berupaya meminimalkan volume darah yang keluar dari pembuluh yang rusak. Hal ini menjaga agar struktur volume darah tetap utuh ("terkonservasi") di dalam tubuh, mencegah syok, dan mendukung proses penyembuhan luka pasca operasi.

b) Prinsip Konservasi Energi (*Conservation of Energy*)

Prinsip ini menekankan keseimbangan antara *input* dan *output* energi untuk mencegah kelelahan fisiologis yang berlebihan. Tubuh manusia memerlukan energi untuk menjalankan fungsi vital.

- 1) Aplikasi dalam Studi: Perdarahan hebat memaksa jantung bekerja lebih keras (takikardia) untuk mempertahankan curah jantung dan perfusi jaringan. Respon kompensasi ini menghabiskan banyak energi miokardium dan oksigen.
- 2) Intervensi: Strategi hipotensi permisif, melalui penggunaan agen volatil dan manipulasi ventilator, membantu menurunkan resistensi vaskular (*afterload*) dan beban kerja jantung. Dengan demikian, energi vital pasien tidak terbuang percuma untuk merespon stres hemodinamik yang berlebihan, melainkan disimpan (*conserved*) untuk pemulihan fungsi organ pasca anestesi.

c) Prinsip Konservasi Integritas Personal dan Sosial

Meskipun tidak menjadi fokus utama variabel penelitian, prinsip ini tetap diterapkan dalam bentuk menghormati privasi pasien selama anestesi (personal) dan melibatkan keluarga dalam edukasi pre-operatif serta *informed consent* (sosial).

D. Strategi Hipotensi Permisif

1. Definisi dan Tujuan

Hipotensi permisif (*controlled hypotension*) didefinisikan sebagai penurunan tekanan darah arteri sistemik secara sengaja hingga target fisiologis tertentu selama prosedur pembedahan, termasuk tulang belakang, untuk menurunkan tekanan hidrostatik intravaskuler, mengurangi pendarahan di area operasi, dan mempermudah visibilitas bedah (Daher dkk., 2025). Salah satu pendekatan fisiologis dalam manajemen anestesi yang banyak digunakan untuk mengurangi perdarahan adalah hipotensi terkontrol atau hipotensi permisif (Dauterman dkk., 2024). Meta-analisis terhadap uji acak paralel pada pembedahan ortopedi melaporkan bahwa teknik Hipotensi permisif mampu mengurangi kehilangan darah intraoperatif rata-rata sekitar 300–400 ml dan menurunkan volume transfusi darah sekitar 200–250 ml dibandingkan kelompok tanpa hipotensi (Koo dkk., 2022; Mikhail dkk., 2020). Hipotensi permisif juga menyatakan bahwa penurunan tekanan darah intraoperatif yang terukur dapat mengurangi estimasi kehilangan darah hingga sekitar 15–20% selama pembedahan mayor (Lang dkk., 2020).

2. Indikator Keberhasilan Strategi Hipotensi Permisif

Mean Arterial Pressure atau MAP digunakan sebagai parameter utama dalam hipotensi permisif karena merepresentasikan tekanan perfusi rata-rata yang menjamin keadekuatan suplai oksigen ke organ vital berdasarkan mekanisme autoregulasi tubuh (Butterworth dkk., 2022; Hall & Hall, 2021; Sun & Khetarpal, 2023). *Mean arterial pressure* (MAP) normal pada dewasa umumnya 70–100 mmHg dan cukup untuk mempertahankan perfusi organ vital tanpa membebani sistem kardiovaskular (Das JM StatPearls, 2023; EBSCO, 2017).

MAP <60–65 mmHg dianggap rendah (Kamenetsky dkk., 2021; *Surviving Sepsis Campaign*, 2021). Sebaliknya, MAP $\geq$ 100–110 mmHg mencerminkan tekanan darah kategori hipertensi menurut WHO dan Kemenkes RI (WHO, 2020; Kemenkes RI, 2024; ISH, 2020). Sehingga dalam hipotensi permisif, menurut Picetti dkk., (2019) target umumnya 50–55 mmHg atau penurunan $\pm$ 30% dari *baseline* (Şencan dkk., 2024); Picetti dkk., 2019). Review “*Re-thinking resuscitation*” menyebutkan bahwa sebagian besar studi manusia menempatkan target hipotensi permisif di kisaran MAP 40–50 mmHg untuk fase pra-hemostasis, lalu dinaikkan setelah kontrol perdarahan (Udesen dkk., 2020). Namun, temuan awal di RSUD dr. M. Soewandhie menunjukkan bahwa pada pembedahan tulang belakang elektif, melakukan penurunan MAP hingga kisaran

60–75 mmHg untuk memberikan lapangan operasi yang lebih kering dan menekan volume perdarahan intraoperatif tanpa menimbulkan instabilitas hemodinamik yang bermakna (Budiman dkk., 2023; Giustiniano dkk., 2025). berdasarkan dengan temuan Sajdeya dkk., 2025 melalui uji klinis acak yang menunjukkan bahwa target MAP pada rentang 65–70 mmHg tidak memberikan perbedaan luaran neurologis yang signifikan dibandingkan target yang lebih tinggi, sehingga rentang moderat ini dianggap cukup aman bagi integritas sistemik pasien (Sajdeya dalam Tigchelaar & Levi, 2025). Hal ini merefleksikan adanya kesenjangan antara batas minimal teoritis (sekitar MAP 50-55 mmHg) dengan kebutuhan praktis di lapangan, di mana dalam konteks pasien dewasa elektif tanpa komorbid berat, target MAP 60–75 mmHg sudah cukup efektif sebagai bentuk hipotensi permisif yang lebih konservatif dan aman (Yoshimoto dkk., 2022). hal tersebut sejalan dengan penelitian X. qiu dkk., 2021 pada pasien lansia atau hipertensi, target lebih tinggi (± 65 –75 mmHg) ditambah strategi cairan restriktif dapat mengurangi risiko hipoperfusi dengan efek serupa pada perdarahan, hal tersebut juga didukung oleh penelitian Koo dkk., 2022, Zhao dkk., 2022, dan Adhewibowo, 2026, bahwa pada pembedahan *spinal/lumbar fusion*) menjaga MAP 65–75 mmHg atau 70–80% baseline dapat mengurangi perdarahan dan aman untuk kognitif/organ.

3. Mekanisme Fisiologis Strategi Hipotensi

Mekanisme penurunan tekanan darah dalam strategi ini didasarkan pada adaptasi Hukum Ohm dalam sistem kardiovaskular, yang menyatakan bahwa tekanan arteri sistemik berbanding lurus dengan hasil perkalian antara curah jantung (*cardiac output*) dan tahanan pembuluh darah (*systemic vascular resistance*) (Thomas & Adlam, 2021). Strategi ini secara sengaja menurunkan tekanan darah arteri sistemik guna mereduksi tekanan hidrostatik intravaskular selama prosedur pembedahan berlangsung (Das JM StatPearls, 2024). Secara fisiologis, tekanan hidrostatik didefinisikan sebagai tekanan fisik yang diberikan oleh cairan (darah) terhadap dinding pembuluh darah (Das JM StatPearls, 2024). Berdasarkan hukum fisika sirkulasi, besarnya tekanan pendorong (*driving pressure*) berbanding lurus dengan laju aliran darah yang keluar; sehingga tekanan hidrostatik yang tinggi, terutama pada pasien dengan riwayat hipertensi, akan menyebabkan aliran darah dari pembuluh darah yang terpotong menjadi jauh lebih deras atau *profuse bleeding* (Prasad dkk., 2023). Penurunan tekanan hidrostatik ini dicapai dengan memanipulasi variabel hemodinamika berdasarkan adaptasi Hukum Ohm, yaitu:

$$MAP \approx CO \times SVR$$

Keterangan :

MAP : Mean Arterial Pressure

CO : Cardiac Output

SVR : *Systemic Vascular Resistance*
(Thomas & Adlam 2021)

Berdasarkan rumus tersebut, strategi anestesi dilakukan dengan memanipulasi variabel CO melalui depresi jantung terkontrol dan SVR melalui vasodilatasi pembuluh darah, yang secara praktis diwujudkan melalui pengaturan hemodinamik ventilasi mekanik berupa penyesuaian frekuensi napas (RR), volume tidal (TV), dan *Positive End-Expiratory Pressure* (PEEP).

4. Mekanisme Ventilasi Mekanik sebagai Instrumen Hipotensi Permisif

Ventilasi mekanik digunakan sebagai sarana untuk mencapai target hipotensi dengan memanfaatkan pengaruh tekanan intratoraks terhadap hemodinamik. Pengaturan ventilator, khususnya penggunaan PEEP (*Positive End-Expiratory Pressure*) antara 3-15 cmH₂O yang tercampur rumatan gas anestesi, akan meningkatkan tekanan di dalam rongga dada, mengurangi *venous return (preload)* 20-30% via kompresi vena cava, meningkatkan *afterload* ventrikel kanan, dan menekan *outflow* ventrikel kiri sehingga *cardiac output* (CO) turun sesuai $MAP = CO \times SVR$ (Sistac dkk., 2023; Rola dkk., 2024). *Positive End-Expiratory Pressure* meningkatkan tekanan pleura dan alveolar, mengurangi *preload* RV, meningkatkan *afterload* RV, meningkatkan *preload* LV, dan mengurangi *afterload* LV (Kreit, 2022; Jozwiak dan Teboul, 2024).

Volume paru yang ekstrem (*hiperinflasi* atau penurunan volume paru) meningkatkan resistensi pembuluh darah paru dan

afterload RV atau memicu vasokonstriksi hipoksia (Silva dkk., 2022; Mahmood dan Pinsky, 2018; Tarbebar dkk., 2025). Upaya *Positive End-Expiratory Pressure* melakukan hal yang sebaliknya: upaya ini meningkatkan aliran balik vena tetapi meningkatkan *afterload* ventrikel kiri dan dapat memicu edema paru kardiogenik pada jantung yang rentan (Pinsky, 2017; Jozwiak dan Teboul, 2024).

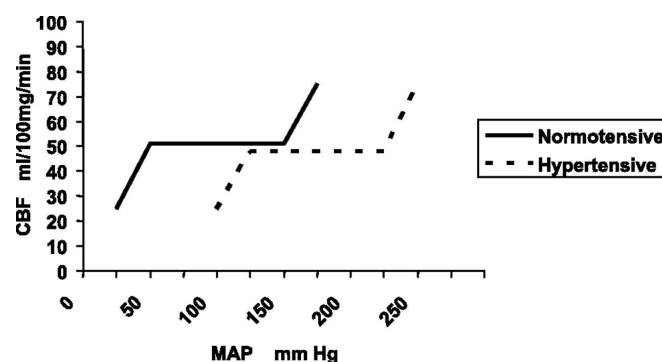
Di antara berbagai parameter ventilasi mekanik (RR, TV, PEEP), PEEP memiliki peran superior sebagai instrumen utama hipotensi permisif karena beberapa alasan fisiologis dan metodologis krusial: (1) Efek hemodinamik spesifik dan kontinu – PEEP memberikan tekanan intratoraks konstan di akhir ekspirasi yang secara langsung dan berkelanjutan menekan venous return (20-30% reduksi *preload*), sedangkan RR dan TV hanya memberikan efek pulsatil yang fluktuatif mengikuti siklus pernapasan; (2) Titrasi independen – PEEP dapat diatur secara bertahap (1-2 cmH₂O) untuk mencapai target MAP yang presisi tanpa mengganggu parameter ventilasi dasar (TV 6-8 ml/kg, RR 12-16/menit), sementara perubahan ekstrem RR/TV berisiko hipokapnia/hiperkapnia yang memicu vasokonstriksi kompensatorik; (3) Efek sinergis dengan posisi *prone* – Pada pembedahan tulang belakang *prone* position, peningkatan tekanan intra-abdomen sudah menekan VCI, sehingga PEEP memberikan efek aditif spesifik pada pleksus Batson yang *valve-less*, mengurangi perdarahan *oozing* lebih efektif dibanding peningkatan

RR/TV semata; (4) Dokumentasi klinis superior – Nilai PEEP tercatat konsisten di lembar anestesi sebagai parameter target strategi hipotensi, sedangkan RR/TV sering berubah dinamis mengikuti EtCO₂ dan MAC, sehingga lebih sulit distandarkan untuk analisis statistik.

Ventilasi mekanik dengan PEEP tinggi dapat secara signifikan menurunkan tekanan arteri pada pasien dengan cara mengurangi *output* jantung, hal ini terutama terjadi melalui penurunan aliran vena kembali dan peningkatan beban setelah ventrikel kanan, dengan kompensasi yang terbatas oleh resistensi vaskular sistemik.

5. Batas Aman (*Safety Margin*) Perfusi Organ

Meskipun penurunan tekanan darah bermanfaat untuk mengurangi perdarahan, penerapannya dibatasi oleh fisiologi Autoregulasi. Autoregulasi adalah kemampuan organ vital terutama otak dan ginjal untuk mengatur lebar-sempit pembuluh darahnya sendiri agar aliran darah tetap stabil meskipun tensi tubuh berubah.



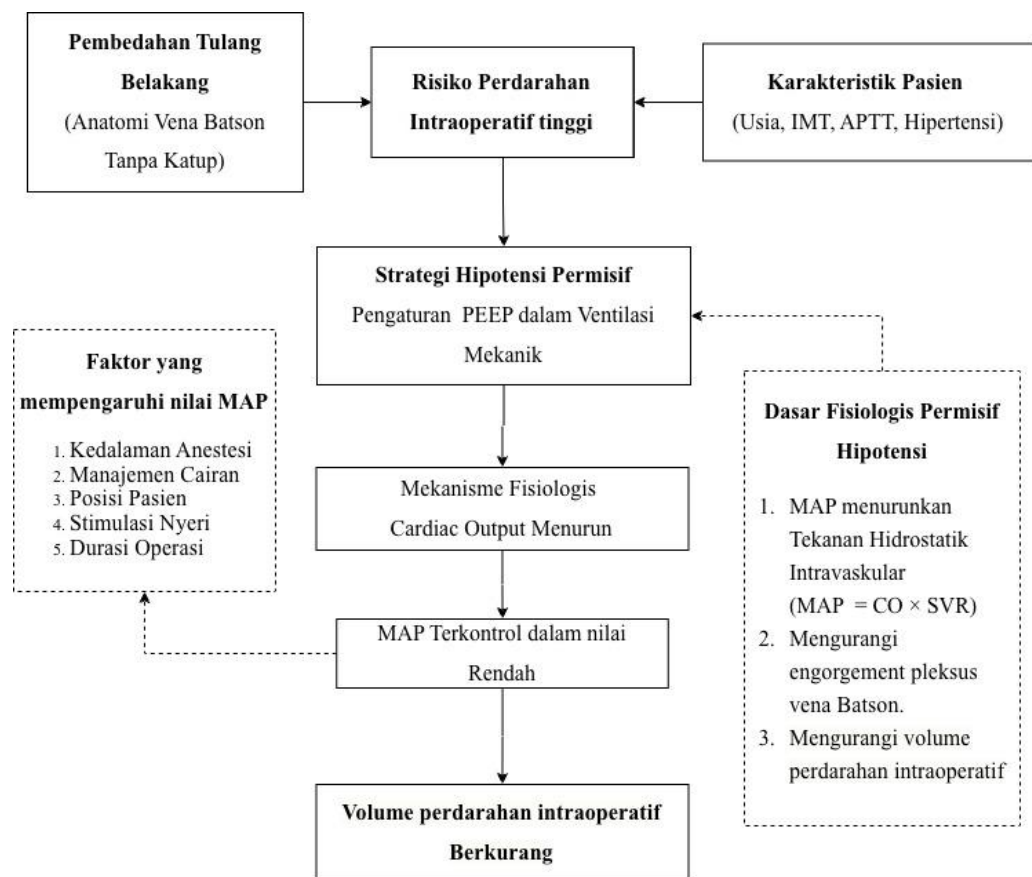
CBF=cerebral blood flow; MAP=mean arterial pressure

Gambar 2.3 Kurva Autoregulasi. Sumber : [AHA Journals](#)

Kurva autoregulasi menunjukkan bahwa otak aman selama MAP berada di antara 50–150 mmHg. Risikonya jika MAP turun di

bawah 50 mmHg, autoregulasi gagal dan otak bisa kekurangan oksigen (iskemia) (Claassen dkk., 2021; Gomez dkk., 2025). Oleh karena itu, dalam strategi hipotensi permisif, target MAP tidak boleh kurang dari 50 mmHg. Kisaran 50–65 mmHg dianggap sebagai *sweet spot* (titik optimal) di mana perdarahan minimal namun keselamatan organ tetap terjaga (Lidington dkk., 2021).

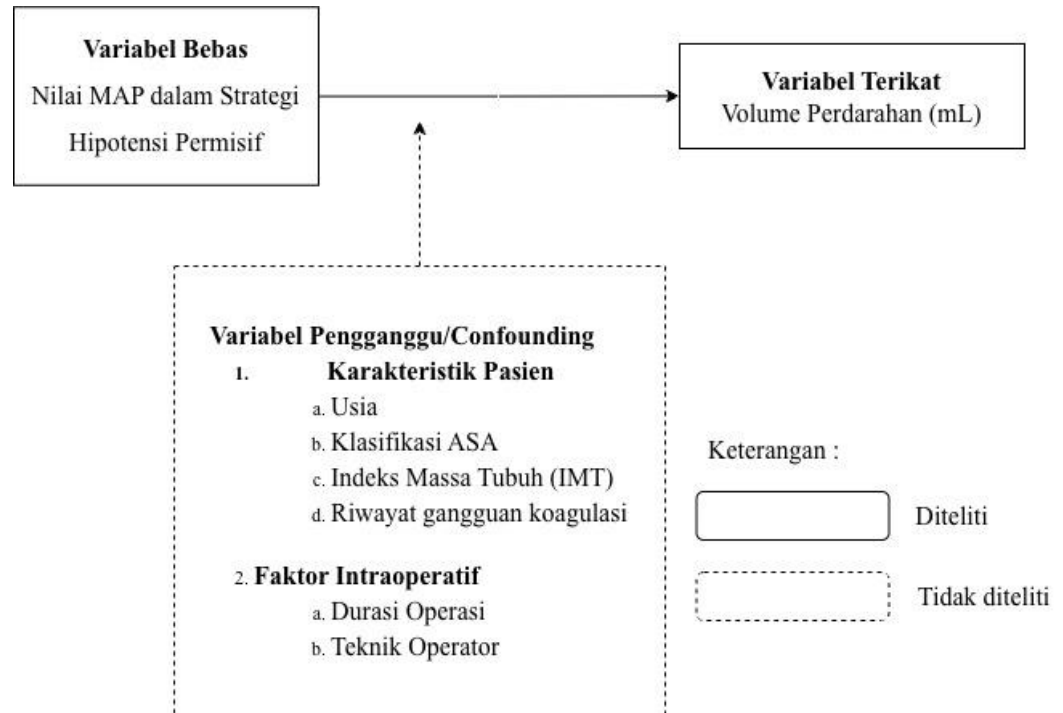
E. Kerangka Teori



Gambar 2.4 Kerangka Teori Penelitian

sumber : (Dauterman dkk., 2024; Mikhail dkk., 2020; Pefbrianti dkk., 2023; Zakyntinos dkk., 2024)

F. Kerangka Konsep



Gambar 2.5 Kerangka Konsep

G. Hipotesis Penelitian

1. Ha: **Terdapat hubungan** antara MAP intraoperatif dalam strategi hipotensi permisif dengan volume perdarahan bedah tulang belakang di RSUD dr. M. Soewandhie