

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep dan Teori

1. Suhu Tubuh

a. Definisi

Suhu tubuh adalah ukuran dari kemampuan tubuh dalam menghasilkan dan menyingkirkan hawa panas. Suhu tubuh bisa dipengaruhi oleh berbagai hal, misalnya suhu lingkungan. Tinggi atau rendahnya suhu tubuh seseorang juga bisa mencerminkan kondisi kesehatannya.

b. Faktor yang memengaruhi

- 1) Waktu pengukuran. Suhu tubuh bisa berbeda-beda sepanjang hari. Suhu tubuh paling rendah terjadi di pagi, sore, dan malam hari sehingga waktu pengukuran bisa memengaruhi hasil.
- 2) Aktivitas fisik. Aktivitas fisik yang intens seperti berolahraga bisa meningkatkan suhu tubuh sementara. Nantinya, ketika istirahat suhu tubuh cenderung akan menurun.
- 3) Lingkungan. Suhu lingkungan, kelembapan, dan suhu udara bisa memengaruhi suhu tubuh jika sedang berada di cuaca ekstrim.
- 4) Kondisi kesehatan. Seseorang yang mengalami sakit seperti peradangan atau infeksi, umumnya mengalami demam yang ditandai dengan peningkatan suhu tubuh di atas normal.

c. Klasifikasi suhu tubuh

Suhu tubuh merupakan hasil keseimbangan antara produksi dan kehilangan panas tubuh yang diatur oleh pusat termoregulasi di hipotalamus. Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, suhu tubuh normal berada pada rentang $36,5-37,5^{\circ}\text{C}$. Suhu tubuh di bawah 35°C dikategorikan sebagai hipotermia, sedangkan peningkatan suhu tubuh di atas $37,5^{\circ}\text{C}$ dikategorikan sebagai hipertermia. Kondisi hipertermia yang sangat tinggi ($>40^{\circ}\text{C}$) dapat berkembang menjadi hiperpireksia dan memerlukan penanganan segera (Kemenkes RI., 2023).

2. Hipotermia

a. Definisi

Hipotermia adalah penurunan suhu tubuh yang tidak disengaja dibawah 36°C . Hipotermia disebabkan oleh terpaparnya suhu yang dingin. Gejalanya bervariasi tergantung tingkat keparahan dari hipotermia (Duong, 2022).

Hipotermia perioperatif yang tidak disengaja, didefinisikan sebagai penurunan suhu inti hingga $<36^{\circ}\text{C}$, dapat menyebabkan beberapa komplikasi. Dengan demikian, menyediakan dan mempertahankan normothermia dalam periode perioperatif penting untuk hasil bedah yang optimal serta untuk keselamatan dan kepuasan pasien. Insidensi hipotermia perioperatif sangat bervariasi dan berkisar antara 4% hingga lebih dari 70% (Rauch et al., 2021).

b. Fisiologi Termoregulasi

Suhu tubuh diatur ketat di kompartemen inti (kepala dan badan), bervariasi $\sim 1^{\circ}\text{C}$ karena ritme sirkadian dan siklus menstruasi. Jaringan perifer (lengan, kaki) sebagai penyangga termal, suhunya fluktuatif. Suhu inti diatur dengan keseimbangan panas yang dihasilkan (metabolisme, otot) dan hilang (konduksi, konveksi, radiasi, penguapan). Termoregulasi melibatkan penginderaan suhu, pengaturan sentral (hipotalamus), dan respons eferen (otonom, perilaku). Pertahanan terhadap dingin: vasokonstriksi, menggigil, perilaku (berpakaian, cari tempat hangat) (Rauch et al., 2021).

c. Mekanisme Hipotermia

Hipotermia, pengeluaran panas akibat paparan terus menerus terhadap dingin memengaruhi kemampuan tubuh untuk memproduksi panas atau nilai suhu inti yang berada dibawah nilai normal. Mekanisme terjadinya hipotermia menurut Malisa (2021), ada dua yaitu:

- 1) Hipotermia alamiah, dapat terjadi karena adanya pajanan terhadap lingkungan yang dingin, kontak langsung dengan air yang dingin, pakaian, dan tempat tinggal atau panas yang tidak adekuat. Hipotermia ini biasanya terjadi secara perlahan dan tidak terlihat selama beberapa jam. Saat suhu tubuh turun ke 35°C , klien akan menggigil, kehilangan ingatan, depresi dan jika turun $34,4^{\circ}\text{C}$ bisa terjadi penurunan denyut jantung, frekuensi

napas, dan tekanan darah, kulit sianotik dan jika berlanjut akan terjadi disritmia jantung dan kehilangan kesadaran, dan tidak respon terhadap nyeri.

- 2) Hipotermia disengaja (induced hypothermia), penurunan suhu tubuh yang disengaja untuk mengurangi kebutuhan oksigen yang dilakukan pada bagian tubuh tertentu saja.

Mekanisme hipotermia intraoperasi melibatkan beberapa faktor yang kompleks dan saling terkait. Proses terjadinya hipotermia intraoperasi yaitu :

- 1) Tahap Awal

Suhu tubuh turun perlahan-lahan karena kehilangan panas tubuh. Pada tahap ini, tubuh masih dapat mengatur suhu dengan meningkatkan produksi panas melalui mekanisme seperti shivering (genggaman otot) dan vasokonstriksi (penyempitan pembuluh darah) (Sessler, 2022).

- 2) Tahap Plateau

Suhu tubuh stabil pada tingkat yang lebih rendah karena tubuh mencoba untuk mengatur suhu. Pada tahap ini, tubuh masih dapat mengatur suhu, tetapi dengan kemampuan yang terbatas (Boulart et al., 2021).

- 3) Tahap Akhir

Suhu tubuh turun lebih cepat karena kerusakan termoregulasi dan kehilangan panas tubuh yang meningkat.

Pada tahap ini, tubuh tidak dapat lagi mengatur suhu, dan hipotermia dapat menjadi lebih parah (Campbell et al., 2021).

Suhu tubuh manusia dipertahankan secara konstan pada kisaran 36,5°C hingga 37,5°C oleh pusat termoregulasi di hipotalamus melalui keseimbangan antara produksi dan kehilangan panas. Pada kondisi sadar, tubuh membagi panas menjadi dua kompartemen utama, yaitu kompartemen inti dengan suhu sekitar 37°C dan kompartemen perifer pada suhu lebih rendah. Vasokonstriksi perifer berfungsi mempertahankan panas di inti. Namun, mekanisme ini terganggu secara signifikan setelah induksi anestesi. Penurunan suhu inti yang paling cepat terjadi pada 30 hingga 40 menit pertama anestesi terutama disebabkan oleh redistribusi panas dari inti ke perifer. Agen anestesi baik umum maupun regional menyebabkan hilangnya tonus vasomotor sehingga terjadi vasodilatasi pada pembuluh darah perifer. Vasodilatasi ini membuka aliran darah hangat dari inti menuju ekstremitas yang suhunya lebih dingin. Akibatnya, suhu inti turun 1°C hingga 1,5°C secara cepat, meskipun total kehilangan panas ke lingkungan belum banyak terjadi.

Selain menyebabkan vasodilatasi, anestesi juga menurunkan ambang batas respons fisiologis terhadap dingin. Ambang vasokonstriksi yang normalnya terjadi pada suhu inti 36,5°C akan turun sebesar 2°C hingga 4°C saat anestesi. Kondisi ini membuat tubuh tidak memberikan respons vasokonstriksi pada rentang suhu

36,5°C hingga 34°C, sehingga panas terus dilepaskan tanpa ada mekanisme pertahanan dari tubuh. Hal serupa terjadi pada ambang shivering atau menggigil yang normalnya dipicu pada suhu 35,5°C. Anestesi menurunkan ambang ini sekitar 3°C hingga 4°C, dan pada anestesi regional serta penggunaan pelemas otot, shivering dapat terhambat sepenuhnya. Tanpa adanya vasokonstriksi dan shivering, produksi panas tubuh menjadi sangat terbatas sehingga pasien menjadi rentan mengalami hipotermia.

Hipotermia perioperatif dengan suhu inti di bawah 36°C memiliki dampak klinis yang luas terhadap sistem fisiologis. Salah satu dampak utama adalah gangguan pada sistem koagulasi. Suhu rendah menyebabkan aktivitas enzim pada kaskade koagulasi melambat dan fungsi trombosit menurun, sehingga meningkatkan risiko perdarahan selama operasi serta kebutuhan transfusi. Selain itu, hipotermia juga memperlambat laju metabolisme obat di hepar. Akibatnya, metabolisme agen anestesi dan analgesik menjadi lebih lambat, yang dapat memperpanjang waktu pemulihan, menyebabkan sedasi berkepanjangan, dan meningkatkan risiko depresi napas pada fase pasca anestesi. Dengan demikian, perubahan suhu tubuh akibat redistribusi, vasodilatasi, serta penurunan ambang vasokonstriksi dan shivering selama anestesi menjadi dasar fisiologis yang penting untuk dipahami dalam upaya pencegahan hipotermia perioperatif.

d. Klasifikasi Hipotermia

Klasifikasi hipotermia menurut *NICE Guideline Perioperative Hypothermia* (2016) terbagi atas tiga yaitu hipotermia ringan, sedang dan berat antara lain :

- 1) Hipotermia ringan, terjadi ketika suhu tubuh berada di antara 32–35°. Gejala hipotermia ringan yang umum terjadi adalah menggigil hebat, terutama di ekstremitas, kulit pucat dan dingin, mati rasa pada tangan dan kaki, kelelahan, denyut nadi lemah, takikardia, dan takipnea.
- 2) Hipotermia sedang, dengan suhu antara 28–31,9°C, terjadi penurunan konsumsi oksigen oleh sistem saraf secara besar yang mengakibatkan terjadinya hiporefleks, hipoventilasi, dan penurunan aliran darah ke ginjal. Bila suhu tubuh semakin menurun, kesadaran pasien bisa menjadi stupor, tubuh kehilangan kemampuannya untuk menjaga suhu tubuh dan adanya risiko timbul aritmia.
- 3) Hipotermia berat, terjadi ketika suhu $\leq 28^{\circ}\text{C}$. Pasien rentan mengalami fibrilasi ventrikular, penurunan kontraksi miokardium, pasien juga rentan untuk mengalami koma, nadi sulit ditemukan, tidak ada refleks, apnea, dan oliguria.

Menurut Potter & Perry (2023), klasifikasi suhu tubuh dibagi menjadi hipotermia, normal, dan hipertermi. Pengelompokan suhu tubuh berdasarkan interval 1°C yang sering digunakan dalam penelitian untuk memudahkan analisis data yaitu :

- 1) 33,5–34,4°C : Menunjukkan hipotermia sedang, yaitu kondisi suhu tubuh di bawah normal yang dapat menyebabkan gangguan metabolisme dan fungsi organ.
- 2) 34,5–35,4°C : Menunjukkan hipotermia ringan, ditandai dengan menggigil dan vasokonstriksi sebagai mekanisme mempertahankan panas tubuh.
- 3) 35,5–36,4°C : Suhu tubuh rendah mendekati normal (subnormal), tetapi belum termasuk normotermia.
- 4) 36,5–37,4°C : Normotermia (suhu normal), menunjukkan keseimbangan antara produksi dan pengeluaran panas tubuh.
- 5) 37,5–38,4°C : Hipertermia ringan atau demam ringan, biasanya terjadi akibat proses inflamasi atau infeksi.
- 6) 38,5–39,4°C : Hipertermia sedang (demam sedang–tinggi) yang memerlukan pemantauan lebih lanjut karena dapat meningkatkan kebutuhan metabolik tubuh.

e. Etiologi

1) Suhu lingkungan

Suhu ruang operasi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi hipotermia. Hipotermia juga dapat disebabkan oleh paparan suhu ruang operasi yang rendah. Suhu lingkungan lebih tinggi dari suhu permukaan kulit yang menyebabkan terjadi hipotermia. Pencegahan dari perkembangan bakteri suhu ruang operasi harus selalu tetap sejuk (20–24°C). Suhu di bawah

20°C dapat menurunkan suhu tubuh, sedangkan suhu di antara 24 dan 26°C mempertahankan suhu inti tubuh, dan suhu lebih tinggi akan meningkatkan panas tubuh (Jarod et al., 2024).

2) Tindakan anestesi

Obat-obatan anestesi menyebabkan penurunan termoregulasi, awalnya dengan mendistribusikan kembali aliran darah dari inti ke perifer, kemudian dengan keseimbangan negatif antara termogenesis dan kehilangan panas (Tyvold, 2021). Obat anestesi menekan produksi panas metabolik dan menurunkan respon termoregulasi fisiologis, sebagian besar anestesi mengubah kontrol suhu inti, menghambat respon termoregulasi terhadap dingin, seperti vasokonstriksi dan tremor otot. Selain itu, obat anestesi memiliki efek vasodilatasi, dianggap sebagai mekanisme yang bertanggungjawab atas fenomena redistribusi (Mendonça et al., 2021)

3) Usia

Usia sebagai faktor yang penting. Pasien anak mempunyai luas permukaan tubuh perkilogram berat badan lebih luas dibandingkan pasien dewasa. Umur sangat mempengaruhi metabolisme tubuh akibat mekanisme hormonal sehingga memberi efek tidak langsung terhadap suhu tubuh. Pada neonatus dan bayi, terdapat mekanisme pembentukan panas melalui pemecahan (metabolisme) lemak coklat sehingga terjadi

proses termogenesis tanpa menggigil (*non-shivering thermogenesis*). Secara umum, proses ini mampu meningkatkan metabolisme hingga lebih dari 100%. Pembentukan panas melalui mekanisme ini dapat terjadi karena pada neonatus banyak terdapat lemak coklat. Mekanisme ini sangat penting untuk mencegah hipotermia pada bayi.

4) Lama operasi

Pada pasien pembedahan, seseorang akan terpapar pada ruangan operasi dengan suhu yang dingin dalam waktu yang lama sehingga akan menyebabkan terjadinya hipotermia. Ini berkaitan dengan lama operasi. Semakin lama dilakukan pembedahan maka semakin lama metabolisme akan menurun sehingga dalam waktu yang bersamaan tubuh akan berkurang dalam produksi panas. Hal tersebut akan mempercepat terjadinya proses hipotermia pada pasien.

5) Jenis operasi

Jenis operasi besar yang membuka rongga tubuh, misalnya operasi rongga toraks, rongga perut dapat memicu terjadinya hipotermia. Hal ini disebabkan oleh karena pembedahan pada daerah abdomen umumnya memiliki luka atau sayatan yang luas, durasi operasi yang lama dan membutuhkan cairan yang banyak untuk membersihkan ruang peritoneum, sehingga menjadi pencetus penurunan suhu tubuh pasien.

f. Perbedaan Hipotermia dengan Shivering

Hipotermia dan shivering merupakan fenomena termoregulasi yang berbeda, meskipun saling terkait secara klinis. Hipotermia didefinisikan sebagai penurunan suhu inti tubuh di bawah 36°C, sedangkan shivering adalah aktivitas otot rangka involunter berupa gemetar untuk meningkatkan produksi panas (Sessler, 2019). Dengan demikian, hipotermia merupakan suatu kondisi fisiologis, sedangkan shivering merupakan respons atau gejala terhadap kondisi tersebut.

Mekanisme terjadinya hipotermia perioperatif terutama dipengaruhi oleh 3 faktor: redistribusi panas inti ke perifer akibat anestesi, kehilangan panas ke lingkungan operasi yang dingin, dan pemberian cairan intravena dingin (Torossian et al., 2020). Anestesi umum dan regional menekan ambang batas vasokonstriksi dan menggigil, sehingga tubuh kehilangan kemampuan mempertahankan suhu inti. Akibatnya, suhu inti dapat turun 1-3°C dalam 1 jam pertama anestesi tanpa adanya kompensasi yang adekuat (Torossian et al., 2020).

Sebaliknya, shivering merupakan mekanisme kompensasi fisiologis yang dipicu oleh hipotalamus anterior ketika suhu inti turun melewati ambang batas shivering (Sessler, 2019). Aktivitas kontraksi otot rangka yang ritmis dapat meningkatkan metabolisme basal hingga 400-500%, sehingga produksi panas meningkat secara

signifikan. Namun, shivering juga meningkatkan konsumsi oksigen, produksi CO₂, dan kerja jantung yang dapat berisiko pada pasien dengan penyakit kardiovaskular (Sato et al., 2022).

Perbedaan klinis utama terletak pada dampaknya. Hipotermia berdampak pada peningkatan risiko infeksi luka operasi, koagulopati, dan lama rawat inap (Madrid et al., 2019). Sementara itu, shivering berdampak pada ketidaknyamanan pasien, peningkatan tekanan intrakranial dan tekanan intraokular, serta meningkatkan kebutuhan oksigen miokard (Sato et al., 2022). Hal ini sejalan dengan temuan bahwa insiden shivering pasca anestesi spinal masih tinggi meskipun suhu tubuh pasien belum mencapai kriteria hipotermia berat (Yao et al., 2023).

g. Dampak Hipotermia Pada Operasi Bedah Saraf

Hipotermia perioperatif dapat menyebabkan beberapa komplikasi, bahkan hipotermia ringan meningkatkan insidensi infeksi luka, kejadian miokard iskemik pascaoperasi, dan kehilangan darah selama operasi, dan memperpanjang pemulihan pascaoperasi (Rauch et al., 2021). Hipotermia telah terbukti meningkatkan risiko kejadian jantung yang tidak wajar dan infeksi tempat operasi, mengganggu pembekuan darah, meningkatkan kebutuhan transfusi, dan mengganggu fungsi kekebalan tubuh, yang semuanya berkontribusi terhadap perpanjangan rawat inap di rumah sakit dan peningkatan biaya kesehatan (Thapa et al., 2021).

Menurut Inoue (2022), dampak hipotermia (suhu tubuh rendah) saat operasi bedah saraf dapat mengakibatkan:

1) Meningkatkan risiko infeksi

Suhu tubuh rendah memperlambat respons imun dan dapat meningkatkan jumlah bakteri dalam darah (bakteremia).

2) Gangguan Pembekuan Darah (Koagulopati)

Trombosit dan enzim pembekuan bekerja tidak efektif pada suhu rendah, meningkatkan risiko perdarahan hebat saat operasi.

3) Gangguan Neurologis

Anestesi mempengaruhi fungsi saraf dan otot, dan hipotermia dapat memperburuk ini, mempengaruhi kedalaman anestesi dan pemulihan fungsi neuromuskular.

4) Peningkatan Risiko Iskemik

Dapat menyebabkan iskemia miokardium (kekurangan oksigen pada otot jantung).

5) Pemulihan Lebih Lambat

Memperlambat pemulihan pasca-anestesi dan pemulihan umum.

6) *Shivering*

Reaksi tubuh untuk menghasilkan panas, menyebabkan ketidaknyamanan, meningkatkan kebutuhan oksigen, dan bisa menunda pemulihan. Berdasarkan hasil penelitian, shivering tidak hanya dinilai dari ada atau tidak adanya gemetar, tetapi juga dari derajat atau intensitasnya. Penilaian derajat shivering

penting karena semakin tinggi intensitasnya, semakin besar dampak fisiologis yang ditimbulkan terhadap pasien. Derajat shivering paling sering dinilai menggunakan *Bedside Shivering Assessment Scale* [BSAS] yang membagi menjadi 4 tingkat, mulai dari tidak ada gemetar sampai gemetar hebat yang melibatkan seluruh tubuh (Sessler, 2019).

Mekanisme munculnya shivering dengan derajat berbeda dipengaruhi oleh seberapa jauh suhu inti tubuh turun melewati ambang batas termoregulasi. Pada derajat ringan, shivering berupa piloereksi atau gemetar pada satu kelompok otot saja, dan hanya meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 50%. Sementara pada derajat berat, terjadi gemetar pada seluruh kelompok otot yang dapat meningkatkan metabolisme basal hingga 400-500% (Sato et al., 2022).

Perbedaan derajat ini memiliki implikasi klinis yang signifikan. Shivering derajat berat meningkatkan risiko terjadinya komplikasi seperti peningkatan tekanan intrakranial, peningkatan tekanan intraokular, dehisensi luka, dan iskemia miokard karena tingginya kebutuhan oksigen (Madrid et al., 2019). Selain itu, pasien dengan shivering derajat 2-3 juga mengalami ketidaknyamanan yang lebih besar, nyeri, dan kecemasan pasca anestesi dibandingkan derajat 1 (Yao et al., 2023).

Oleh karena itu, manajemen klinis shivering harus disesuaikan dengan derajatnya. Intervensi farmakologis seperti pethidine atau dexmedetomidine lebih diindikasikan pada derajat 2-3, sedangkan pada derajat 1 cukup dengan penghangatan pasif atau selimut penghangat (Torossian et al., 2020). Dengan demikian, penilaian derajat shivering menjadi dasar untuk menentukan urgensi dan jenis intervensi.

7) Perubahan Hemodinamik

Dapat mempengaruhi tekanan darah dan respons kardiovaskular selama operasi bedah saraf.

h. Penatalaksanaan Hipotermia

Pencegahan hipotermia perioperatif penting karena hipotermia ringan sekalipun dapat menyebabkan komplikasi termasuk morbiditas jantung, metabolisme obat yang buruk, pemulihan yang tertunda dari anestesi, kehilangan darah yang lebih banyak terkait dengan disfungsi trombosit dan koagulopati, pemulihan luka yang tertunda, dan frekuensi infeksi tempat operasi yang lebih tinggi (Yoo et al., 2021).

Hipotermia biasanya ditangani dengan dua cara: farmakoterapi atau nonfarmakoterapi (Fitriani et al., 2021). Upaya farmakoterapi untuk mengatasi hipotermia pascaoperasi; ini termasuk obat-obatan opioid dan nonopioid seperti tramadol, klonidin, meperidin, petidin, dan sebagainya. Obat ini dapat menyebabkan efek samping seperti

mual, muntah, dan gangguan depresi napas. Cairan infus hangat, lampu pemanas, peningkatan suhu ruangan, blanket pemanas, dan kasur pemanas adalah beberapa intervensi mekanis nonfarmakoterapi (Fitriani et al., 2021).

Metode pemanasan baik itu pasif maupun aktif telah dilakukan di ruang operasi untuk mencegah timbulnya hipotermia perioperatif. Penggunaan selimut untuk menyediakan insulasi dan pencegahan kehilangan panas radiasi (metode pasif), cairan infus hangat, dan perangkat penghangat pasien (metode aktif) sudah dikenal dengan baik dalam tatalaksana hipotermia perioperatif (Ackermann, 2021).

Penatalaksanaan warming (penghangatan) aktif dan pasif adalah metode yang digunakan untuk mengembalikan suhu tubuh normal pada penderita hipotermia (suhu tubuh di bawah 35°C). Kedua metode ini memiliki fungsi dan penerapan yang berbeda tergantung pada tingkat keparahan kondisi pasien (Zhuo et al, 2022).

1) Penatalaksanaan Warming Pasif

Pemanasan Pasif (*Passive Warming* - PW) bertujuan untuk mengurangi kehilangan panas lebih lanjut dan memanfaatkan kemampuan tubuh pasien sendiri untuk menghasilkan panas (melalui metabolisme dan menggigil). Metode ini paling cocok untuk kasus hipotermia ringan (suhu inti tubuh > 32°C atau 34°C) pada pasien yang sadar dan masih bisa menggigil (Ting & Brown, 2022).

2) Penatalaksanaan Warming Aktif

Pemanasan Aktif (*Active Warming* - AW) bertujuan untuk memindahkan panas ke tubuh pasien dari sumber eksternal untuk mempercepat proses penghangatan kembali. Metode ini digunakan untuk kasus hipotermia sedang hingga berat atau hipotermia ringan yang tidak merespons pemanasan pasif (Madrid et al., 2022).

3. Operasi Bedah saraf

a. Definisi bedah saraf

Bedah saraf adalah prosedur medis untuk mendiagnosis atau mengobati penyakit yang melibatkan sistem saraf. Bedah saraf tidak hanya dapat dilakukan pada otak, tetapi juga pada saraf tulang belakang dan saraf tepi yang terdapat di seluruh bagian tubuh, seperti pada wajah, tangan, dan kaki.

b. Teknik Bedah Saraf

1) Bedah otak atau kraniotomi

Kraniotomi adalah tindakan membuka dan mengangkat sebagian kecil tulang tengkorak agar dapat melakukan tindakan medis pada otak. Bagian tulang tengkorak yang diangkat tersebut dinamakan *bone flap* atau penutup tulang tengkorak untuk kebutuhan diagnosis maupun untuk pengobatan. Kraniotomi digunakan pada operasi seperti mengangkat tumor,

membuang abses otak, memperbaiki tulang tengkorak yang patah, dan membuang gumpalan darah.

2) *Awake brain surgery (AWS)*

AWS tindakan operasi dimana pasien tidak diberikan bius total, melainkan hanya diberikan bius lokal dan obat penenang. AWS biasanya dilakukan untuk mengobati tumor otak atau kejang epilepsi, terutama jika bagian otak yang menyebabkan kejang terletak dekat dengan pusat penglihatan, pergerakan anggota badan, atau pusat berbicara.

3) *Microsurgery* atau bedah mikro

Bedah mikro merupakan teknik bedah saraf yang dilakukan dengan bantuan mikroskop untuk memperbaiki saraf tepi pada organ tubuh yang mengalami kerusakan. Penggunaan mikroskop pada bedah saraf mikro bertujuan agar dokter dapat melihat struktur saraf yang sangat halus, sehingga perbaikan saraf bisa lebih optimal.

4) Pemasangan *ventriculoperitoneal shunt (VP Shunt)*

VP shunt merupakan alat berupa saluran khusus yang terhubung dari otak ke rongga perut. Alat ini dipasang melalui prosedur pembedahan dan berfungsi untuk mengurangi penumpukan cairan otak pada penderita hidrosefalus.

5) Neuroendoskopi

Neuroendoskopi dilakukan menggunakan alat khusus berupa selang berkamera (endoskop) yang dimasukkan ke bagian dalam tengkorak melalui lubang kecil di tulang tengkorak, hidung, atau mulut. Neuroendoskopi dapat digunakan untuk mendiagnosis tumor, mengambil sampel jaringan, atau mengangkat tumor.

6) *Stereotactic radiosurgery (SRS)*

SRS merupakan metode bedah saraf yang agak berbeda dari metode lainnya seperti lobotomi, karena tidak membutuhkan sayatan pada kulit. SRS menggunakan radiasi yang difokuskan pada titik-titik tertentu di bagian otak untuk menghancurkan sel-sel tumor di otak, dengan sebisa mungkin tidak mengenai jaringan sehat di sekitarnya. Radiasi yang dipancarkan akan merusak DNA sel-sel tumor dan membuat sel tersebut mati.

c. Indikasi Bedah Saraf

1) Bedah saraf tumor

Bedah saraf tumor merupakan prosedur bedah yang bertujuan untuk mendiagnosis dan mengobati tumor yang terdapat pada sistem saraf, seperti glioma, meningioma, neuroma akustik, tumor pineal, tumor hipofisis, dan tumor di dasar tulang tengkorak.

2) Bedah saraf vaskular

Prosedur bedah saraf ini digunakan untuk mendiagnosis dan mengobati penyakit saraf akibat adanya kelainan pada pembuluh darah otak, seperti stroke, aneurisma otak, dan AVM.

3) Bedah saraf fungsional

Bedah saraf fungsional merupakan prosedur bedah saraf yang dapat mendiagnosis dan mengobati penyakit saraf akibat kelainan fungsi sistem saraf, seperti nyeri tulang belakang, trigeminal neuralgia, penyakit *carpal tunnel syndrome*, epilepsi, dan kedutan wajah (*hemifacial spasm*).

4) Bedah saraf traumatik

Prosedur bedah saraf traumatik digunakan untuk mengobati penyakit saraf pada otak dan tulang belakang akibat cedera, seperti perdarahan otak, hematoma subdural, hematoma epidural, dan patah tulang belakang.

5) Bedah saraf pediatrik

Bedah saraf pediatrik merupakan prosedur bedah saraf untuk menangani penyakit saraf pada bayi dan anak-anak, seperti hidrocefalus, tumor otak pada anak, spina bifida, cranial dysraphism, dan kraniosinostosis.

6) Bedah saraf spinalis

Prosedur bedah saraf spinalis digunakan untuk menangani penyakit tulang belakang kronis, seperti tumor saraf tulang

belakang, spondilitis tuberkulosis, hernia nukleus pulposus, dan kelainan bentuk tulang belakang (misalnya skoliosis, lordosis, atau kifosis).

d. Hubungan Operasi Bedah Saraf dengan Suhu Tubuh

Operasi bedah saraf dapat mempengaruhi suhu tubuh melalui beberapa mekanisme:

1) Manipulasi jaringan otak.

Hipotalamus (pusat pengaturan suhu) bisa terganggu jika operasi dekat area ini. Bisa menyebabkan hipertermia (demam sentral) atau hipotermia.

2) Perubahan hemodinamik.

Perubahan tekanan darah dan aliran darah otak mempengaruhi distribusi panas tubuh. Hipoperfusi (aliran darah kurang) bisa mengganggu termoregulasi.

3) Respon inflamasi sistemik.

Trauma bedah memicu pelepasan sitokin proinflamasi (IL-1, IL-6, TNF- α). Sitokin ini bisa menaikkan set point suhu di hipotalamus → demam.

4) Efek anestesi.

Anestesi umum bisa mengganggu mekanisme termoregulasi normal. Bisa menyebabkan hipotermia intraoperatif (suhu $<36^{\circ}\text{C}$).

5) Faktor lain.

Cairan IV dingin atau irigasi rongsi operasi bisa menurunkan suhu. Durasi operasi lama meningkatkan risiko gangguan termoregulasi.

Kondisi ini bisa berdampak pada pemulihan pasien risiko infeksi luka, fungsi koagulasi darah, dan morbiditas pascaoperasi. Pemantauan suhu tubuh penting selama dan setelah operasi bedah saraf (Sessler, 2023).

4. *Water Warm Circulation Mattress*

a. Definisi *Water Warm Circulation Mattress*

Water warm circulation mattress adalah alas tempat tidur atau kasur khusus yang menggunakan sistem sirkulasi air panas untuk memberikan panas yang konsisten dan merata ke seluruh permukaan matras. Matras ini terhubung dengan unit pemanas eksternal yang memanaskan air hingga suhu yang diinginkan. Air hangat tersebut kemudian dipompa melalui jaringan kecil atau saluran di dalam matras, sehingga panas tersebar di area tempat tidur. Pengguna dapat mengatur suhu air sesuai kebutuhan (Syam et al., 2023).

b. Tujuan Penggunaan *Water Warm Circulation Mattress*

Tujuan penggunaan *water warm circulation mattress* menurut *Association of Perioperative Registered Nurses (AORN)* (2020) adalah untuk menghangatkan pasien selama operasi untuk mencegah hipotermia, meningkatkan kenyamanan pasien selama operasi, dan

mengurangi risiko komplikasi pasca operasi. Fitur *water warm circulation mattress* memungkinkan pengguna untuk mengatur suhu kasur sesuai keinginan mereka. Kehangatan ini dapat membantu menenangkan otot yang sakit, meningkatkan sirkulasi darah ke seluruh tubuh, dan memberikan kenyamanan ekstra, terutama di iklim yang lebih dingin atau saat malam hari.

c. Mekanisme kerja *Water Warm Circulation Mattress*

Mekanisme kerja *water warm circulation mattress* adalah matras diisi dengan air hangat yang disirkulasikan melalui pipa-pipa kecil. Air hangat ini kemudian dipompa melalui matras untuk menghangatkan permukaan tempat tidur pasien. Suhu air dapat diatur sesuai kebutuhan pasien, biasanya antara 37°C hingga 40°C. Matras ini membantu menjaga suhu tubuh pasien tetap stabil selama operasi dengan cara menghangatkan permukaan tempat tidur pasien, mengurangi kehilangan panas tubuh pasien, dan meningkatkan kenyamanan pasien. Sistem sirkulasi air hangat ini juga dapat dilengkapi dengan sensor suhu untuk memantau suhu pasien secara terus-menerus (ASA, 2020).

Water warm circulation mattress bekerja dengan memanfaatkan sistem pemanas hidronik (hydronic heating) dan menerapkan mekanisme perpindahan panas secara konveksi dan konduksi untuk memberikan kehangatan yang merata ke tubuh penggunanya. Berikut adalah rincian mekanisme kerjanya :

1) Pemanasan Air (Sumber Panas)

Sebuah unit pemanas (boiler atau elemen pemanas listrik) memanaskan air hingga suhu tertentu (biasanya dapat diatur).

2) Sirkulasi Air (Konveksi)

Pompa kecil mensirkulasikan air hangat ini melalui jaringan pipa fleksibel yang tertanam di dalam matras. Gerakan air hangat ini adalah contoh utama dari konveksi, di mana fluida (air) yang dipanaskan bergerak dan membawa energi panas bersamanya ke seluruh sistem matras.

3) Transfer Panas ke Permukaan Matras (Konduksi)

Saat air hangat mengalir melalui pipa, panas ditransfer dari air ke material pipa dan lapisan matras di sekitarnya melalui konduksi (kontak langsung antar zat padat/cair).

4) Transfer Panas ke Tubuh Pengguna (Konduksi dan Radiasi)

Permukaan matras yang telah menghangat kemudian mentransfer panas ke tubuh pengguna melalui:

- a) Konduksi, ini adalah mekanisme utama transfer panas ke tubuh, terjadi melalui kontak fisik langsung antara kulit pengguna dan permukaan matras yang hangat.
- b) Radiasi, sebagian kecil panas juga dipancarkan sebagai energi inframerah (radiasi termal) dari permukaan matras ke tubuh.

d. Keunggulan *Water Warm Circulation Mattress*

Kasur dengan sirkulasi air hangat (*water warm circulation mattress*) menawarkan beberapa keunggulan signifikan dibandingkan metode penghangat lainnya, terutama terkait keamanan dan distribusi panas yang merata. Berdasarkan penelitian Syam et al (2021), keunggulan *water warm circulation mattress* dibanding penghangat lain seperti selimut atau bantal pemanas listrik tradisional antara lain :

1) Tanpa Radiasi Elektromagnetik

Tidak seperti selimut listrik biasa yang mengandalkan elemen pemanas listrik langsung, kasur sirkulasi air hangat memanaskan air di unit terpisah dan mengalirkannya melalui selang ke dalam matras. Hal ini menghilangkan paparan radiasi elektromagnetik langsung saat tidur, menjadikannya pilihan yang lebih aman.

2) Keamanan Tinggi (Pemisahan Air dan Listrik)

Desain sistem ini memisahkan komponen listrik dari area tidur (kasur), sehingga mengurangi risiko sengatan listrik atau kebakaran yang terkait dengan kerusakan kabel pada produk pemanas listrik tradisional.

3) Distribusi Panas yang Merata dan Konsisten

Sirkulasi air memungkinkan panas menyebar secara konsisten dan merata ke seluruh permukaan kasur. Ini mencegah

titik panas berlebih ("*hot spot*") yang kadang terjadi pada selimut listrik, memastikan kenyamanan yang stabil sepanjang malam.

4) Tidak Menyebabkan Kulit Kering

Kelembapan alami air membantu menjaga udara di sekitar tempat tidur tidak terlalu kering, berbeda dengan beberapa sistem pemanas udara paksa atau pemanas listrik tertentu yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan seperti kulit kering.

5) Manfaat Terapi dan Peningkatan Kualitas Tidur

Panas yang menenangkan dari air hangat dapat membantu mengendurkan otot, meredakan nyeri (seperti nyeri punggung atau haid), dan melancarkan sirkulasi darah, yang secara efektif meningkatkan relaksasi dan kualitas tidur yang lebih dalam.

6) Fleksibilitas Penggunaan Multi-Musim

Kasur ini dapat digunakan sepanjang tahun; memberikan kehangatan di musim dingin dan, dengan penyesuaian yang sesuai, dapat memberikan efek pendinginan di musim panas.

7) Kontrol Suhu yang Tepat

Banyak model dilengkapi dengan kontrol suhu cerdas yang memungkinkan pengguna mengatur tingkat kehangatan yang diinginkan secara tepat dan mempertahankannya secara konstan.

e. Risiko *Water Warm Circulation Mattress*

Risiko utama terkait dengan penggunaan *water warm circulation mattress* meliputi :

1) Luka Bakar

Penggunaan panas yang tidak tepat atau suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan luka bakar, terutama jika pengguna memiliki sensasi kulit yang menurun. Suhu yang disarankan untuk terapi hangat umumnya sekitar 40°C–45°C.

2) Peningkatan Pembengkakan

Terapi panas dapat memperburuk peradangan akut, pembengkakan, dan nyeri pada cedera baru (seperti keseleo akut) karena meningkatkan aliran darah ke area tersebut.

3) Komplikasi Kondisi Medis yang Ada

Panas dapat memperburuk kondisi tertentu, seperti trombosis vena dalam (DVT), di mana peningkatan aliran darah berpotensi menyebabkan bekuan darah bergerak ke organ vital.

4) Kerusakan Peralatan dan Kebocoran

Kasur air memiliki risiko kebocoran, yang tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan tetapi juga dapat menyebabkan bahaya listrik jika air bersentuhan dengan komponen listrik atau selimut listrik.

5) Pertumbuhan Jamur/Bakteri

Lingkungan yang lembap akibat kebocoran atau kondensasi dapat memicu pertumbuhan jamur dan bakteri, yang dapat menyebabkan masalah pernapasan atau infeksi kulit.

6) Risiko Kebakaran

Meskipun jarang, penggunaan selimut listrik atau sumber panas eksternal yang tidak tepat di dekat kasur air dapat meningkatkan risiko kebakaran, terutama jika ada kerusakan pada kasur.

f. Kontraindikasi *Water Warm Circulation Mattress*

- 1) Gangguan Sensasi Kulit: Orang dengan kondisi seperti neuropati (kerusakan saraf) akibat diabetes atau kondisi neurologis lainnya mungkin sulit membedakan sensasi panas dan dingin, sehingga meningkatkan risiko luka bakar.
- 2) Peradangan Akut, Luka Terbuka, atau Pendarahan: Panas tidak boleh diterapkan pada area dengan peradangan akut (ditandai dengan kemerahan, bengkak, nyeri, dan panas), luka terbuka, atau pendarahan aktif.
- 3) Penyakit Pembuluh Darah Perifer (PVD): Sirkulasi darah yang terganggu membuat individu dengan PVD lebih rentan terhadap cedera akibat panas dan penyembuhan luka yang buruk.
- 4) Gangguan Kognitif: Pasien dengan demensia atau gangguan komunikasi mungkin tidak dapat memahami instruksi atau

melaporkan ketidaknyamanan, sehingga berisiko mengalami cedera panas.

- 5) Keganasan (Kanker) Lokal: Terapi panas dapat meningkatkan aliran darah ke tumor, yang secara teoritis dapat mempercepat pertumbuhan atau penyebaran sel kanker.
- 6) Kondisi Jantung: Penggunaan panas secara luas dapat membebani sistem kardiovaskular pada individu dengan penyakit jantung tertentu.
- 7) Demam: Terapi panas tidak cocok digunakan saat seseorang mengalami demam, karena dapat meningkatkan suhu tubuh lebih lanjut.

g. Prosedur Penggunaan *Water Warm Circulation Mattress*

Prosedur pemasangan *water warm circulation mattress* berdasarkan ASA (2020) dibagi menjadi beberapa tahapan di antaranya:

- 1) Persiapan mesin
 - a) Pastikan matras dalam kondisi baik sebelum digunakan.
 - b) Periksa apakah ada kerusakan atau kebocoran pada matras.
 - c) Isi mesin dengan air sebanyak 1000 ml yang telah disiapkan sebelumnya.
 - d) Atur suhu air hangat sesuai kebutuhan pasien (biasanya antara 37°C hingga 40°C).
 - e) Pastikan sistem sirkulasi air hangat berfungsi dengan baik.

2) Pemasangan Matras

- a) Letakkan matras di atas tempat tidur operasi.
- b) Pastikan matras terletak rata dan tidak bergumpal.
- c) Pasang sensor suhu pada pasien untuk memantau suhu tubuh.
- d) Hubungkan sensor suhu dengan sistem monitoring suhu.

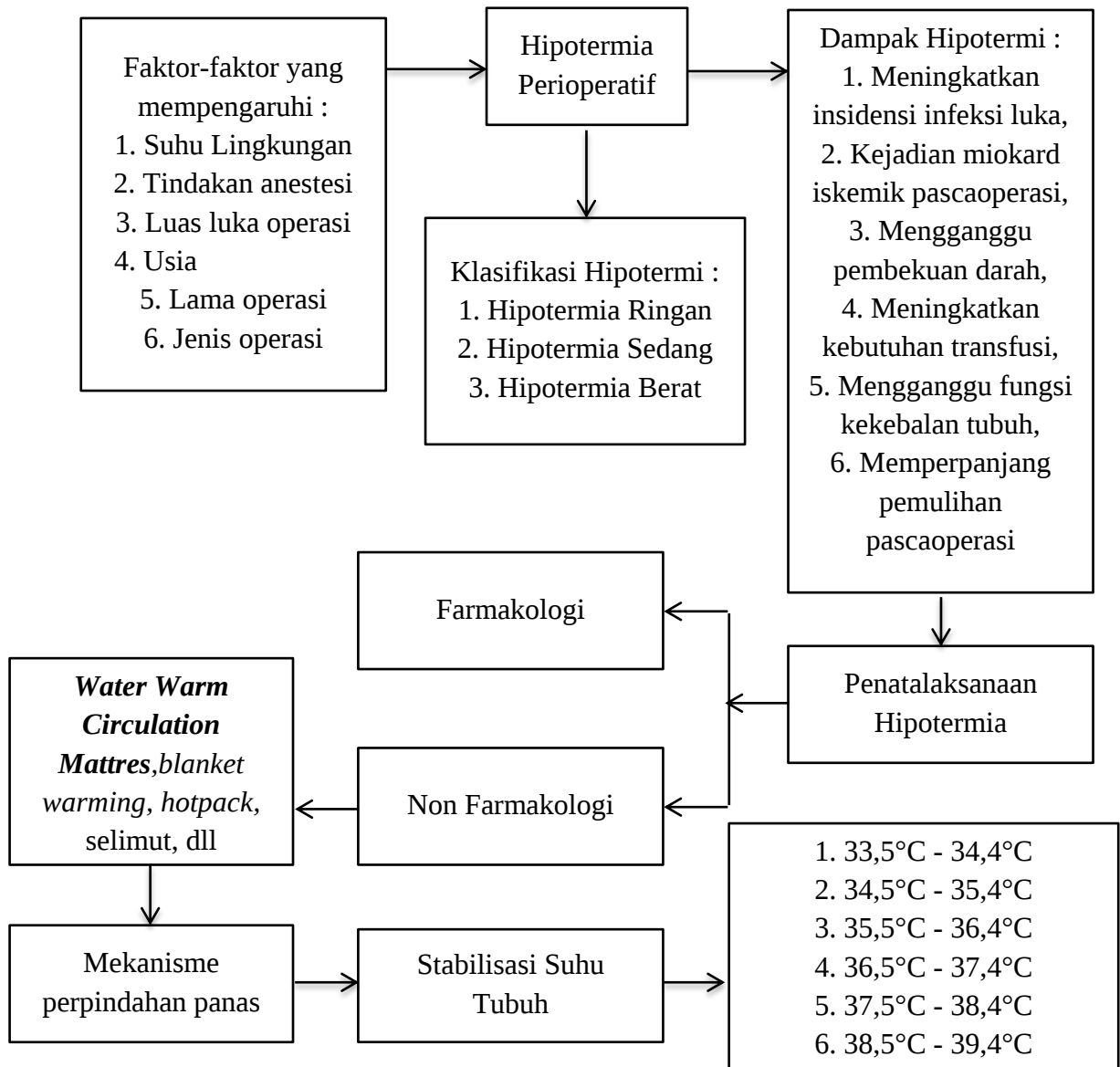
3) Pengoperasian matras

- a) Nyalakan sistem sirkulasi air hangat.
- b) Pastikan matras mulai menghangatkan permukaan tempat tidur.
- c) Monitor suhu pasien secara terus-menerus selama operasi.
- d) Atur suhu matras sesuai kebutuhan pasien selama operasi.
- e) Pastikan suhu pasien tetap stabil antara 36°C hingga 37°C.
- f) Monitor suhu pasien secara terus-menerus selama operasi.
- g) Periksa kondisi matras secara berkala untuk memastikan tidak ada kerusakan atau kebocoran.
- h) Ganti air hangat jika suhu turun atau jika ada tanda-tanda kontaminasi.
- i) Bersihkan matras secara teratur untuk mencegah pertumbuhan bakteri.

Berdasarkan teori termoregulasi, redistribusi panas setelah induksi anestesi merupakan penyebab utama hipotermia intraoperatif. Oleh karena itu, penggunaan *water warm circulation*

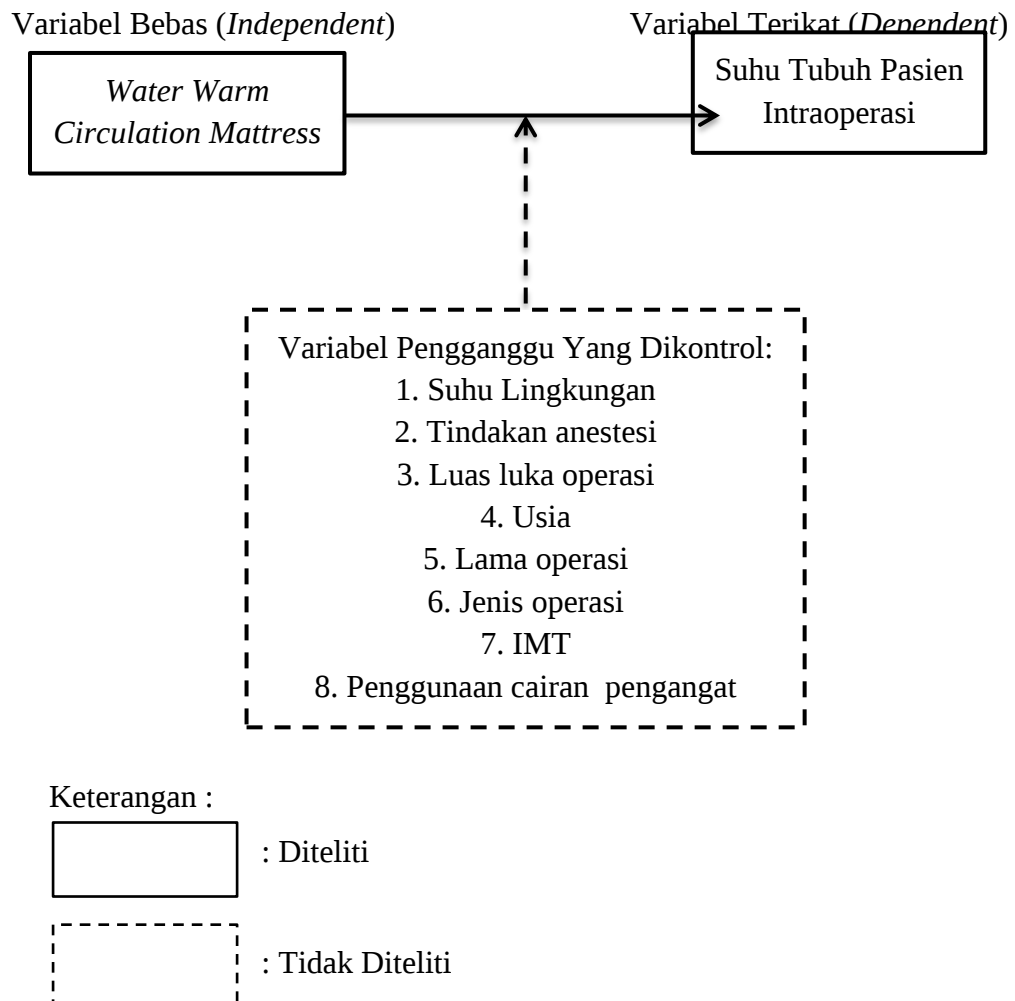
mattress diperkirakan mampu mempertahankan suhu inti tubuh melalui mekanisme pemanasan aktif

B. Kerangka Teori



Gambar 2. 1 Kerangka Teori

C. Kerangka Konsep



Gambar 2. 2 Kerangka Konsep

D. Hipotesis

Ha : Ada Pengaruh Penggunaan *Water Warm Circulation Mattress* Terhadap Suhu Tubuh Pasien Pada Intraoperasi Bedah Saraf di RSUD Balaraja.

Ho : Tidak Ada Pengaruh Penggunaan *Water Warm Circulation Mattress* Terhadap Suhu Tubuh Pasien Pada Intraoperasi Bedah Saraf di RSUD Balaraja.