

## TINJAUAN PUSTAKA

### ANESTESI INHALASI DENGAN TEKNIK *LOW FRESH GAS FLOW*

**Bhirowo Yudo Pratomo<sup>1\*</sup>, Juni Kurniawaty<sup>1</sup>, Danur Adi Kusuma<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

\*Corresponden author : Bhirowo Yudo Pratomo, Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia (bhirowo\_yp@yahoo.com)

---

**Article Citation** : Bhirowo Yudo Pratomo, Juni Kurniawaty, Danur Adi Kusuma. Anestesi Inhalasi Dengan Teknik *Low Fresh Gas Flow*. Jurnal Komplikasi Anestesi 10(2)-2023.

---

#### ABSTRAK

Teknik anestesi inhalasi dengan aliran gas yang kurang dari ventilasi alveolar dapat diklasifikasikan sebagai anestesi aliran rendah atau *low Fresh Gas Flow (FGF)*. Kompleksitas dalam perhitungan penyerapan agen anestesi dengan sirkuit tertutup anestesi membuat teknik ini kurang populer. Namun, kesadaran akan bahaya polusi dari agen anestesi dan biaya yang sangat tinggi dari agen inhalasi baru, telah membuat teknik ini kembali populer.

**Kata kunci:** anetesi; anestesi inhalasi; anestesi aliran rendah; anestesi berkelanjutan

#### ABSTRACT

*Any technique that employs a fresh gas flow that is less than the alveolar ventilation can be classified as low-flow anesthesia. The complexities involved in the calculation of uptake of anesthetic agents during the closed-circuit anesthesia made this technique less popular. However, the awareness of the dangers of operating theatre pollution with trace amounts of the anesthetic agents and the prohibitively high cost of the new inhalational agents, have helped in the rediscovery of low-flow anesthesia.*

**Keywords:** *anesthesia, inhalational anesthesia; low flow anesthesia; sustainable anesthesia*

## Pendahuluan

Teknik anestesi telah mengalami banyak perubahan mulai dari era penggunaan eter, metode *open-drop*, metode *semi-close* dan *close system*. Konsep menggunakan kembali agen anestesi dalam gas yang diekshalasikan mendapat perhatian yang signifikan. Perkembangan mesin modern anestesi, monitor gas, vaporiser yang presisi dan pengenalan lebih agen volatil dengan serapan minimal mendorong penggunaan teknik anestesi *Low FGF*. Jumlah polusi dari pencemaran lingkungan akibat gas anestesi selama praktek sehari-hari mendorong untuk menggunakan teknik anestesi ini.

## Sejarah Teknik Anestesi Aliran Gas Rendah (*Low FGF*)

Dalam penelitiannya, Snow menyimpulkan bahwa gas anestesi yang diekspirasikan seperti kloroform dan eter dapat diinspirasi kembali. Pada 1924 Waters mengenalkan sistem absorpsi *to-and-fro* sebagai cara untuk menghindari *rebreathing* dari CO<sub>2</sub>. Pada 1930 Brian Sword menjelaskan untuk pertama kalinya *circle system* dengan absorben soda lime untuk *close system*.<sup>1</sup>

Meskipun *circle system* sudah tersedia, penggunaan aliran gas segar yang tinggi dengan teknik *rebreathing* adalah cara yang umum digunakan. Pada tahun 1974 Virtue, mengurangi aliran gas bahkan hingga minimal (*minimal flow*). Awal 1980-an ada upaya untuk menghidupkan kembali ide-ide untuk penggunaan FGF rendah dan *close system* oleh Aldrete et al.<sup>1</sup>

Keuntungan dari FGF rendah dalam meningkatkan panas dan kelembaban gas anestesi *rebreathed*, sehingga menjaga fungsi dan anatomi sel epitel pada saluran pernapasan yang diamati oleh Kleemann pada tahun 1990. Pada tahun 1995 Baum dan Aitkenhead tertarik akan teknik FGF rendah dengan menekankan pada keuntungan ekonomi dan lingkungan. Penggunaan agen volatil yang lebih baru seperti sevoflurane dan desflurane menjadi lebih diterima secara ekonomis bila digunakan dengan teknik FGF rendah ini.<sup>1</sup>

## Fisiologi Uptake Anestesi Inhalasi

FGF (*Fresh Gas Flow*) dipengaruhi oleh

vaporizer dan pengaturan flowmeter.<sup>2</sup>

- F<sub>I</sub> (konsentrasi udara inspirasi) dipengaruhi oleh (1) tingginya FGF (2) volume sirkuit-breathing (3) sirkuit absorpsi
- F<sub>A</sub> (konsentrasi udara alveolar) (1) uptake (2) ventilasi (3) efek konsentrasi dan gas kedua (sisa)
- F<sub>a</sub> (konsentrasi udara arterial) dipengaruhi ventilasi/perfusi

Agan anestesi inhalasi harus melewati beberapa *barrier* antara mesin anestesi dan otak. Udara dari mesin anestesi bercampur dengan gas pada sirkuit pernafasan sebelum diinspirasi oleh pasien. Komposisi yang sebenarnya dari campuran udara inspirasi tergantung terutama pada kecepatan aliran FGF, volume sistem pernafasan, dan penyerapan oleh mesin dari sirkuit pernafasan. Semakin tinggi kecepatan aliran udara, semakin kecil volume sistem pernafasan, dan semakin rendah penyerapan sirkuit, semakin dekat konsentrasi udara yang diinspirasi dengan konsentrasi FGF. Secara klinis, hal ini dapat diartikan bahwa semakin cepat induksi dan waktu pemulihan.<sup>2</sup>

Jika agen anestesi tidak di-uptake oleh tubuh, konsentrasi udara alveolar (F<sub>A</sub>) akan dengan cepat mendekati konsentrasi udara yang diinspirasi (F<sub>I</sub>). Karena agen anestesi diambil oleh sirkulasi pulmonal selama induksi, konsentrasi alveolar lebih rendah dari konsentrasi yang diinspirasi (F<sub>A</sub>/F<sub>I</sub> < 1,0). Semakin besar pengambilan, semakin lambat kecepatan peningkatan konsentrasi alveolar dan semakin rendah rasio F<sub>A</sub>:F<sub>I</sub>.<sup>2</sup>

Karena itu, semakin besar *uptake* agen anestesi, semakin besar perbedaan antara konsentrasi yang diinspirasi dan konsentrasi alveolar, dan semakin lambat kecepatan induksi. Tiga faktor yang mempengaruhi *uptake* anestesi: kelarutan pada darah, aliran darah alveolar, dan perbedaan tekanan partial antara udara alveolar dengan darah vena.<sup>2</sup>

Makin besar koefisien gas/darah, makin besar kelarutan anestesi dan makin besar pula *uptakenya* oleh sirkulasi pulmoner. Sebagai akibat tingginya kelarutan tersebut, tekanan partial alveolar meningkat perlahan, dan induksi semakin

lama. Karena koefisien partial lemak/darah adalah lebih dari 1, maka kelarutan darah/gas meningkat oleh karena lipedemia post prandial dan menurun pada kondisi anemia.<sup>2</sup>

Faktor kedua yang dapat mempengaruhi *uptake* adalah aliran darah pada alveolar, yang mana bila dalam keadaan tidak adanya sumbatan sirkulasi paru-paru (*pulmonary shunting*), aliran darah alveolar ini terutama akan sepadan dengan curah jantung. Jika curah jantung menurun sampai dengan nol, maka begitu juga dengan pengambilan obat anestesi. Jika terjadi peningkatan curah jantung, terjadi peningkatan pengambilan anestesi, kenaikan tekanan parsial alveolar melambat, dan induksi lama.<sup>2</sup>

Faktor terakhir yang mempengaruhi *uptake* agen anestesi oleh sirkulasi paru-paru adalah perbedaan tekanan parsial antara gas alveolar dan darah vena. Gradien ini tergantung pada pengambilan jaringan. Jika agen anestesi tidak melewati ke dalam organ tubuh seperti otak, tekana parsial alveolar dan vena akan menjadi sama dan tidak akan ada pengambilan oleh sirkulasi paru-paru. Perpindahan agen anestesi dari darah ke jaringan ditentukan oleh tiga faktor analog dengan pengambilan sistemik: daya larut obat dalam jaringan, aliran darah ke jaringan, dan perbedaan tekanan parsial antara pada darah vena dan jaringan.<sup>2</sup>

### Konsep Teknik FGF Rendah

Konsep dari teknik FGF rendah adalah untuk mengisi gas yang akan dihirup dengan aliran seminimal mungkin sambil memastikan untuk mengeliminasi CO<sub>2</sub> sebelum masuk kembali ke sirkulasi. Ini meminimalkan terbuangnya agen anestesi ke lingkungan.<sup>1</sup>

Kesulitan dalam teknik FGF rendah adalah untuk kontrol keseimbangan komposisi aliran gas setelah *reuptake* dan metabolisme dan faktor yang mempengaruhi konsumsi dan produksi komponen gas. Hal ini dapat dilakukan dengan monitoring rutin pada kontrol aliran gas untuk memperkirakan penyerapan zat seperti oksigen, *nitrous oxide* dan agen anestesi inhalasi. Pemantauan inspirasi dan konsentrasi *end-tidal*

menggunakan *gas analyzer* adalah metode yang lebih akurat untuk pelaksanaan teknik FGF rendah yang aman.<sup>1</sup>

Gas yang diekshalasikan akan ditampung ke dalam *manual-bag*, yang akan digunakan sebagai *reservoir bag*. Pada siklus nafas berikutnya, udara yang diekshalasi akan bercampur dengan *fresh gas* saat inspirasi. Aliran udara akan melewati CO<sub>2</sub> absorben, disini akan terjadi reaksi kimia, CO<sub>2</sub> akan diikat dan menghasilkan panas. Pada dasarnya pada semua sirkuit anestesi modern dengan sistem *rebreathing* proses kimia ini akan terjadi.<sup>3</sup>

Saat ini optimalisasi dari sirkuit *rebreathing* adalah untuk meningkatkan kecepatan sistem untuk merubah komposisi *fresh gas*. Target ini dapat dicapai secara pasif salah satunya dengan mengurangi jumlah volume dalam sirkuit atau secara aktif dengan mengatur *flow gas* campuran dalam *circle circuit*. Selain itu, *vaporizer* dengan dosis maksimal yang tinggi dapat membantu meningkatkan kecepatan dari sistem. Kecepatan ini sangat penting dalam teknik FGF rendah. *Breathing system* yang alirannya lambat akan memerlukan waktu yang lebih banyak untuk mencapai target konsentrasi tersebut, karena prinsipnya semakin rendah aliran gas, semakin panjang waktu yang diperlukan.

### Definisi Teknik Anestesi FGF Rendah

Belum ada definisi yang diterima secara universal untuk anestesi *low FGF*. Teknik yang menggunakan aliran gas yang kurang dari ventilasi alveolar dapat disebut sebagai anestesi aliran gas rendah. Teknik *low FGF* juga didefinisikan sebagai teknik anestesi inhalasi dimana fraksi *rebreathing* berjumlah setidaknya 50%, di mana setidaknya 50% dari campuran gas yang dihembuskan dikembalikan ke pasien setelah CO<sub>2</sub> diserap untuk inspirasi berikutnya. Pada mesin anestesi modern, hal ini dapat dicapai ketika aliran FGF dikurangi menjadi minimal 2 L / menit atau kurang.<sup>1</sup>

Baker telah mengklasifikasikan FGF dalam praktek anestesi sebagai medium/ rendah / minimal / *metabolic flow* seperti pada Gambar 1.<sup>1</sup>

FGF category	FGF	Remarks
Medium flow	1-2 L/min	The fresh gas volume is more than sufficient for the basic requirements and to compensate the problems
Low flow	500-1000 ml/min	If the inspiratory O <sub>2</sub> -concentration falls below 30%, the O <sub>2</sub> -flow must be increased by 10% of the total gas flow (about 100 ml/min)
Minimal flow	250-500 ml/min	If the inspiratory O <sub>2</sub> -concentration falls below 30%, the O <sub>2</sub> -flow must be increased by about 50 ml/min
Metabolic flow	About 250 ml/min	O <sub>2</sub> should be used as sole carrier gas since 250 ml/min is the absolute minimal oxygen requirement for metabolic processes at rest in a normothermic patient. Anaesthesia provider should precisely detect whenever the metabolic demands exceed oxygen supply

FGF – Fresh gas flow

Gambar 1. Kategori fresh gas flow (Baker)

### Keuntungan Teknik FGF Rendah

Beberapa keuntungan dari penggunaan teknik ini dapat dibagi menjadi dari segi fisiologi, ekonomi, ekologi serta lingkungan.<sup>1</sup>

- a. Fisiologis
  1. Mempertahankan panas dan kelembaban gas inspirasi, sehingga menjaga suhu tubuh dan mengurangi kehilangan air.
  2. Meningkatkan dinamika aliran gas anestesi inhalasi
  3. Meningkatkan pembersihan mukosiliar
  4. Meningkatkan kesehatan epitel jalan nafas
  5. Mengurangi akumulasi sekresi jalan nafas
- b. Ekologi
  1. Mengurangi polusi fluorokarbon dan *nitrous oxide* yang merusak lapisan ozon bumi
  2. efek rumah kaca berkurang akibat *nitrous oxide* dan agen volatil
- c. Lingkungan
  1. Mengurangi polusi ruang operasi
  2. Paparan yang lebih minimal pada saat pengisian *vaporizer*
- d. Ekonomi
  1. Mengurangi konsumsi gas anestesi
  2. Penghematan agen anestesi inhalasi yang signifikan sebesar 60% -75%

Pertimbangan biaya juga penting selain penghematan jumlah agen inhalasi. Faktor yang mempengaruhi biaya dan agen inhalasi antara lain (a) harga; (b) karakteristik dari agen dan *vaporizer* seperti tekanan vapor, potensi dan solubilitas; (c) aliran gas untuk membawa agen anestesi.<sup>4</sup>

Biaya agen anestesi yang baru dapat dikurangi dengan penggunaan FGF rendah. Semakin rendah solubilitas semakin cocok untuk digunakan pada teknik FGF rendah karena solubilitas yang rendah memberikan kontrol yang lebih baik dalam mencapai konsentrasi yang diinginkan. Penurunan agen anestesi pun lebih rendah dari gas inspirasi sehingga lebih sedikit molekul yang diperlukan untuk ditambahkan ke gas yang akan dihirup kembali.

Mengenai potensi sebagai contoh, potensi desfluran seperlima dari isoflurane, namun jumlah dari desflurane yang harus dihantarkan untuk mempertahankan MAC hanya 3 kali lebih dibanding jumlah isofluran. Serupa dengan itu, walaupun MAC dari sevoflurane 74% lebih besar dari isoflurane, jumlah sevoflurane yang harus dihantarkan untuk mempertahankan MAC hanya 30% lebih besar.<sup>4</sup>

### Persyaratan Penggunaan Teknik FGF Rendah<sup>1</sup>

- a. Kalibrasi *flow meter* dengan aliran rendah hingga 50 ml/menit
- b. Monitor kebocoran pada *circle system* dan alat jalan nafas pipa endotrakeal (ETT), *low FGF* mungkin juga dapat dilakukan pada perangkat saluran napas supraglottic dengan ukuran yang tepat
- c. Sistem pemantauan gas inspirasi dan *end-tidal concentration* dari agen. Pengukuran konsentrasi gas ekspirasi lebih dekat dengan Y-piece yang mencerminkan konsentrasi alveolar pasien
- d. *Vaporizer* mampu memberikan konsentrasi tinggi dan dikalibrasi akurat pada FGF rendah
- e. *Breathing system* harus memiliki volume internal yang minimal untuk meminimalkan *reserve*

*volume*.

Teknik FGF rendah tidak cocok dalam pengaturan berikut<sup>1</sup>:

- a. Ahli anestesi tidak familiar dengan FGF rendah
- b. Durasi anestesi pendek dengan *facemask*
- c. Prosedur dengan jalan nafas yang tidak tertutup rapat seperti prosedur bronkoskopi dengan bronkoskop kaku
- d. Penggunaan peralatan teknis yang dapat menimbulkan kebocoran gas yang tinggi
- e. Monitoring yang tidak memadai atau kurangnya mesin / peralatan yang sesuai untuk *leak-free* pada sistem pernapasan tertutup
- f. Teknik FGF rendah dikombinasikan dengan *overpressure* dari agen volatil poten tidak dapat diterapkan dalam situasi ketika masalah klinis seperti ketidakstabilan hemodinamik memerlukan perhatian dari ahli anestesi.

#### Kontraindikasi penggunaan teknik FGF rendah<sup>5</sup>

Durasi anestesi yang pendek dengan teknik *facemask*, yang tidak dapat menjaga kerapatan dari sungkup *facemask* dan jalan nafas seperti pada prosedur bronkoskopi dengan bronkoskopi rigid memerlukan FGF yang tinggi. Selama pembiusan pada pasien dengan ketoasidosis seperti pada diabetes, konsentrasi aseton dalam darah dapat meningkat. Dalam hal ini aliran gas harus dipertahankan >1 liter/menit untuk dapat mencegah pembentukan aseton yang tidak diinginkan.<sup>5</sup>

#### Hal Yang Perlu Diperhatikan Pada Teknik *Low FGF*

Hal yang perlu diperhatikan adalah terjadinya dilusi dari agen anestesi. FGF rendah ditambahkan ke volume cadangan yang signifikan besar yang terdiri dari *breathing tubing*, *reservoir bag*, ventilator anestesi, ruang intergranular, dan kapasitas residual fungsional pasien. Namun, setelah *steady state* tercapai, FGF rendah dapat memfasilitasi penggunaan anestesi inhalasi yang paling ekonomis<sup>1</sup>

*Differential uptake* agen anestesi dapat memodifikasi komposisi campuran gas. Efek ini penting terutama saat menggunakan N<sub>2</sub>O sebagai

gas pembawa bersama dengan oksigen. Serapan N<sub>2</sub>O tinggi awalnya, diikuti oleh penurunan dalam penyerapannya. perubahan tren dalam penyerapan ini dapat menyebabkan hipoksia.<sup>1</sup>

Kecukupan oksigen untuk metabolisme juga harus diperhatikan dengan seksama. *Pulse oxymeter* adalah monitor yang kurang sensitif dari gambaran oksigenasi jaringan, sehingga diperlukan analisis oksigen esensial. Batas bawah FiO<sub>2</sub> harus ditetapkan di 0,30.<sup>1</sup>

Keterlambatan dalam pemulihan dari anestesi pada durasi operasi yang lama mengarah ke pengurangan agen anestesi inhalasi yang lambat pada penggunaan *low flow anesthesia* selama fase pemulihan. Pengalihan ke FGF tinggi dan mematikan anestesi inhalasi dini dapat mempercepat *washout* agen anestesi. Beberapa mesin anestesi menggunakan filter karbon khusus untuk menyerap agen volatil untuk mempercepat pemulihan.<sup>1</sup>

#### Kekurangan Dari Teknik FGF Rendah<sup>1</sup>

1. Laju aliran gas yang lebih rendah dan konstan akan membuat waktu induksi yang lambat. Perubahan yang cepat dari konsentrasi inspirasi tidak memungkinkan dengan FGF rendah.
2. Kewaspadaan dan penyesuaian aliran gas diperlukan untuk menghindari hipoksia dan *under/over dosage* obat anestesi.
3. Konsumsi yang lebih tinggi dari absorben CO<sub>2</sub> dan risiko hiperkarbia dan CO<sub>2</sub> *rebreathing* dengan kejenuhan dari absorben.
4. Kemungkinan akumulasi yang tidak diinginkan dari agen gas dalam sistem sirkuit. termasuk karbonmonoksida, aseton, metana, hidrogen, etanol, dan *compound A*
5. United States Food and Drug rekomendasi membatasi paparan sevoflurane dengan *minimum alveolar concentration* (MAC) jam pada laju aliran gas dari 1 sampai <2 L/menit, laju aliran FGF <1 L / menit tidak dianjurkan.

Terdapat produk sisa dari sevoflurane yaitu *Compound A* yang dapat menyebabkan cedera akut ginjal pada hasil laboratorium hewan. FGF rendah dapat menginisiasi pembentukan zat ini dan berakumulasi dalam *breathing circuit* mesin anestesi.

Tidak ada studi yang menunjukkan data terjadinya ciera ginjal akut yang signifikan pada manusia dari penggunaan sevoflurane dengan teknik FGF rendah.<sup>2</sup>

*Compound A* adalah hasil metabolisme di ginjal dari sevoflurane menjadi *thionacyl fluoride* yang reaktif dan bersifat toksik. Dalam proses metabolisme perubahannya di ginjal diperlukan enzim *cystein conjugate beta lyase*, yang mana enzim ini ada pada hewan terutama tikus 20-30 kali lebih tinggi dibanding manusia. Hal ini lah yang menjadi alasan mengapa *compound A* tidak bersifat toksik pada manusia.<sup>6</sup>

### Perhitungan Dari Gas Uptake Pasien Selama Anestesi Inhalasi

*Total gas uptake* adalah total dari *uptake* oksigen, N<sub>2</sub>O dan agen anestesi inhalasi. Rumus

perhitungan uptake dari masing-masing gas tampak pada Gambar 2.<sup>1</sup>

Karena sifat tidak larut dari N<sub>2</sub>O dan popularitasnya sebagai gas pembawa dalam praktek anestesi, menggunakan teknik FGF rendah dengan dan tanpa N<sub>2</sub>O secara luas banyak dibahas. Beberapa yang setuju penggunaan N<sub>2</sub>O mengatakan keuntungannya adalah N<sub>2</sub>O dapat *wash-in dan wash-out* dalam waktu yang singkat, mempersingkat waktu induksi dan mengurangi penggunaan opioid dan agen anestesi yang lain. Sedang yang kontra mengatakan bahwa *uptake* yang tinggi diawal dan *uptake* yang minimal di fase akhir membuat pengaturan aliran gas lebih kompleks. Selain itu juga berpotensi mengurangi lapisan ozon dan memberi *'green house effect'*.<sup>1</sup>

Gas	Formula	Remarks
Oxygen	Simplified Brody formula: <sup>[16]</sup> $VO_2 = 10 \times KG \text{ (kg)}^{3/4} \text{ (ml/min)}$	Where KG is BW in kg However, for clinical purposes, oxygen consumption can be more easily calculated as: $VO_2 = 3.5 \times BW \text{ (ml/min)}$
Nitrous oxide	Severinghaus's formula: <sup>[17]</sup> $VN_2O = 1000 \times t^{-1/2} \text{ (ml/min)}$	That implies 1 <sup>st</sup> min uptake of 1000 ml 200 ml/min uptake after 25 min 140 ml/min uptake after 50 min 90 ml/min uptake after 2 h (120 min)
Anaesthetic inhalational agent	H Lowe's formula: <sup>[8]</sup> $V_{AN} = f \times MAC \times \lambda_{B/G} \times Q \times t^{-1/2} \text{ (ml/min)}$	f: Factor that defines the inhalation concentration that is sufficient for unresponsive skin incision at ~MAC 1.3 $\lambda_{B/G}$ : Blood/gas partition coefficient Q: Cardiac output t: Time

BW – Body weight; MAC – Minimum alveolar concentration

Gambar 2. Rumus perhitungan uptake gas

### Pelaksanaan Teknik FGF Rendah

Untuk premedikasi, preoksigenasi dan induksi dikerjakan seperti pada umumnya.<sup>1</sup>

#### 1. Inisiasi anestesi FGF rendah<sup>1</sup>

Tujuan utama fase ini adalah mencapai konsentrasi alveolar dari agen anestesi yang adekuat untuk memfasilitasi pembedahan. Ada beberapa metode untuk mencapainya :

##### a) Penggunaan aliran tinggi pada fase inisiasi

Waktu yang dibutuhkan lebih singkat dengan membuat konsentrasi di sirkuit mencapai konsentrasi yang diinginkan lebih cepat. Biasanya yang digunakan adalah dengan FGF 10liter/menit dan 2 MAC dari konsentrasi agen volatil dalam waktu 3 menit agar sirkuit anestesi terisi konsentrasi yang diinginkan. Cara ini dinilai lebih baik dalam denitrogenisasi dan mencapai

konsentrasi yang diinginkan lebih cepat dengan mengimbangi uptake yang besar saat permulaan anestesi.<sup>1</sup>

##### b) Penggunaan *prefilled circuit*

Dengan teknik ini kita menggunakan sirkuit yang berbeda, seperti *Magill's* (mapleson A) untuk preoksigenasi. Secara simultan *circle system* akan disesuaikan dengan *test lung* dan seluruh sirkuit akan diisi dengan campuran gas dari konsentrasi yang diinginkan.<sup>1</sup>

Karena tidak ada katup satu arah dan CO<sub>2</sub> absorben pada sirkuit mapleson A, untuk menghindari *rebreathing* dari CO<sub>2</sub> diperlukan aliran gas ke sirkuit dan terbukanya katup APL untuk membuang CO<sub>2</sub> sebelum diinspirasi kembali. Katup APL pada mapleson A,B dan C berlokasi didekat *facemask* dan *reservoir* bag

berlokasi berlawanan di ujung sirkuit, sehingga pada mapleson A saat gas alveolar yang mengandung CO<sub>2</sub> akan diekspirasikan, CO<sub>2</sub> akan terbuang katup APL terlebih dahulu sebelum masuk ke *breathing tube* dan *reservoir bag*. Berbeda hal dengan mapleson F (*Jackson rees*) yang katup APLnya berada di belakang dari *reservoir bag* sehingga CO<sub>2</sub> dapat terinspirasi kembali.<sup>2</sup>

c) Memasukkan agen volatil ke *breathing circuit*

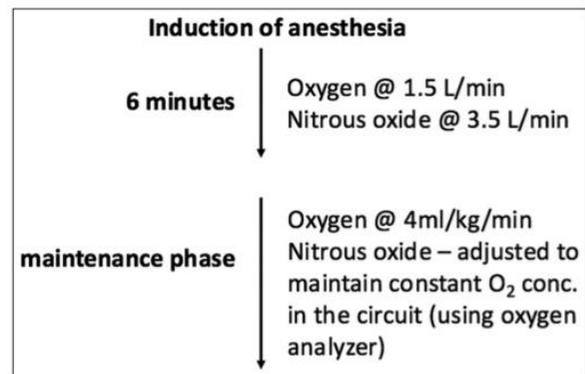
Agen anestesi yang diperlukan biasanya sekitar 400-500ml dari uap agen anestesi pada 10 menit awal (40-50ml/menit). pada 20° C, 1 ml halotane dapat memproduksi 226ml uap vaporiser dan 1 ml isoflurane 196ml. Sekitar 2ml agen anestesi ditambahkan secara bertahap ke *expiratory limb* dari sirkuit anestesi. alternatif lain dengan pemberian secara kontinyu dapat digunakan dengan keuntungan dapat menghindari naik turun nya konsentrasi seperti pada penggunaan intermiten.<sup>1</sup>

2. Mempertahankan anestesi pada FGF rendah

Pada fase ini, kita perlu mempertahankan konsentrasi *steady-state* dari agen anestesi. Meskipun ambilan dari oksigen berlangsung konstan pada 200-250ml/menit, *uptake* dari agen anestesi termaksud N<sub>2</sub>O akan minimal. Oleh karena itu peran *oxygen analyser* untuk menjaga konsentrasi oksigen setidaknya 30% adalah yang terpenting. Perlu dicatat bahwa *dial* aktual dari vaporiser sering *over-estimated* dibanding output aktualnya karena *plenum* dari vaporiser dapat terjadi *under delivery* agen anestesi saat menggunakan FGF rendah. Konsentrasi agen anestesi yang dicapai pada akhir inspirasi tidal paling akurat dapat dinilai dengan menggunakan *agent analyzer*.

Dengan adanya absorber CO<sub>2</sub>, dihirupnya kembali CO<sub>2</sub> dapat dicegah pada *circle system* pada penggunaan FGF yang rendah ( $\leq 1$  L). pada aliran gas yang lebih dari 5liter/menit, *rebreathing* akan minimal sehingga CO<sub>2</sub> absorber biasanya tidak diperlukan. Dengan FGF yang rendah, konsentrasi oksigen dan agen inhalasi dapat berubah-ubah yang tampak menyolok antara

*fresh gas* dan gas inspirasi. Semakin besar aliran gasnya, akan semakin sedikit waktu yang diperlukan untuk mengubah konsentrasi gas anestesi yang terefleksi dari konsentrasi gas inspirasi. Aliran yang lebih tinggi dapat mempercepat waktu induksi dan pemulihan, mengkompensasi kebocoran sirkuit dan menurunkan resiko percampuran gas yang tidak terantisipasi.<sup>2</sup>



Gambar 3. Induksi dengan anestesi inhalasi

3. Terminasi anestesi dengan FGF rendah

Karena durasi yang panjang, waktu pemulihan dengan FGF rendah juga lebih lambat. Oleh karenanya pengalihan ke FGF tinggi untuk mempercepat *wash-out* dari agen anestesi dapat digunakan atau menggunakan karbon aktif untuk memaksimalkan absorpsi juga dapat dilakukan untuk mempercepat pemulihan. N<sub>2</sub>O dapat dibuang sembari memberikan oksigen 100%.<sup>1</sup>

**Automated Low Flow Anesthesia**

Teknik ini menggunakan *software* untuk mengukur konsentrasi agen dan gas pembawa dengan target surplus terendah. Mesin yang dapat digunakan seperti mesin ALFA, ZEUS (Drager, Lubeck, Germany), AISYS (GE, Madison, Wisconsin) dan FLOW-I (Maquet, Solna, Sweden). ZEUS menggunakan sirkuit tertutup, AISYS *minimal flow* (500ml/menit). Pertama ahli anestesi memilih target konsentrasi alveolar dari agen inhalasi dan target FiO<sub>2</sub> berapa persen. Perangkat otomatis seperti ini membantu meminimalisir penggunaan agen volatil yang

tidak perlu, hemat biaya dan minimal polusi.<sup>7</sup>

Pernah dilakukan penelitian polusi pada rata-rata jam kerja ahli anestesi yang setiap harinya menggunakan N<sub>2</sub>O atau desflurane dengan kontribusi produksi CO<sub>2</sub> yang setara dengan mengemudi mobil sejauh 1000km. Cara paling mudah untuk mengurangi polusi dan penghematan agen anestesi adalah dengan teknik FGF rendah pada fase *maintenance* dari anestesi. Sebagai tambahan, sistem yang saat ini tersedia secara komersial dan telah digunakan di Canada adalah penggunaan filter Zeolite (Deltasorb) pada sistem *scavenging* di mesin anestesi untuk menyerap agen sisa lalu memuat ulang dan membersihkan agen anestesi untuk digunakan ulang (*reuse*).<sup>8,9</sup>

#### Skema Prosedur Teknik Anestesi FGF Rendah

Pada literatur yang dibuat oleh Hoomann dan Rubsam pada pasien usia diatas 6 bulan, teknik anestesi inhalasi dengan FGF rendah dapat dikerjakan dengan skema seperti berikut ini<sup>3</sup>:

##### I. Premedikasi

Premedikasi dikerjakan seperti biasanya sesuai dengan kondisi pasien.

##### II. Induksi

- Preoksigenasi dengan oksigen 100% dengan 6L/menit selama 1-3 menit dengan sungkup wajah.
- Pemberian agen hipnotik intravena atau induksi inhalasi.
- Analgetik dan agen relaksan.
- Intubasi endotrakeal atau insersi LMA.
- Menghubungkan pasien ke sistem sirkuit.

##### III. Fase inisial

- Durasi 1-8 menit, FGF diseting dengan oksigen 1L/menit
- *Vaporizer* dibuka pada *dial* sebagai berikut, isoflurane 5-6 vol%, sevoflurane 5-6vol%, desflurane 12vol%.
- Konsentrasi oksigen inspirasi distabilkan antara 60 dan 80 vol% tergantung usia dan berat pasien.

Semua angka yang disebutkan di atas digunakan secara umum namun pada kasus-kasus tertentu disesuaikan dengan respon individu.

- Saat target nilai MAC 0,8 sampai 1 telah tercapai, FGF dapat dikurangi dengan oksigen 100% 0,25-0,35 L/menit
- Konsentrasi agen anestesi disesuaikan batas atasnya, isoflurane 2-2,5vol%, sevoflurane 3-3,5% dan desflurane 8-10vol%.

##### IV. Monitor

- Konsentrasi oksigen inspirasi setidaknya 28vol% yang dijaga dengan alarm monitor.
- Alarm volume semenit dipasang setidaknya 0,5L/menit
- Monitor agen anestesi pada mesin dipasang dengan batas atasnya, isoflurane 2-2,5vol%, sevoflurane 3-3,5% dan desflurane 8-10vol%.

##### V. Reversal

- *Vaporizer* dikurangi hingga 0% pada 10-15 menit sebelum operasi berakhir.
- Pertahankan FGF rendah pada 0,35L/menit.
- Atur nafas pasien ke nafas spontan.
- Saat jahitan operasi usai, sesaat sebelum ekstubasi, bersihkan *breathing circuit* dengan memberikan oksigen 100% dengan aliran 6L/menit.

Teknik anestesi telah mengalami banyak perubahan mulai dari era penggunaan eter, metode *open-drop*, metode *semi-close* dan *close system*. Konsep menggunakan kembali agen anestesi dalam gas yang diekshalasikan dan adanya perkembangan mesin modern anestesi, monitor gas dan vaporiser yang presisi mendorong penggunaan teknik anestesi FGF rendah. Jumlah polusi dari pencemaran lingkungan akibat gas anestesi selama praktek sehari hari mendorong untuk menggunakan teknik anestesi ini.<sup>20</sup>

#### Kesimpulan

Konsep dari teknik FGF rendah adalah untuk mengisi gas yang akan dihirup dengan aliran seminimal mungkin sambil memastikan untuk mengeliminasi CO<sub>2</sub> sebelum masuk kembali ke sirkulasi. Ini meminimalkan terbuangnya agen anestesi ke lingkungan. Persyaratan penggunaan teknik FGF rendah antara lain memerlukan persyaratan kalibrasi *flow meter*, monitor kebocoran pada *circle*

system, sistem pemantauan gas inspirasi dan *end-tidal concentration* dari agen, dan *breathing system* harus memiliki volume internal yang minimal untuk meminimalkan *reserve volume*.

Walaupun teknik ini menguntungkan baik dari segi fisiologis, ekologi, lingkungan dan ekonomi namun teknik ini tidak disarankan pada kondisi-kondisi seperti durasi anestesi pendek dengan *facemask*, prosedur dengan jalan nafas yang tidak tertutup rapat, monitoring yang tidak memadai dan pada pasien dengan ketoasidosis seperti pada diabetes yang dapat meningkatkan jumlah konsentrasi aseton dalam darah. Dalam hal ini aliran gas harus dipertahankan >1liter/menit untuk dapat mencegah pembentukan aseton yang tidak diinginkan.

Pelaksanaan teknik FGF rendah untuk premedikasi, preoksigenasi dan induksi dikerjakan seperti pada umumnya. Inisiasi anestesi untuk mencapai konsentrasi alveolar dari agen anestesi dapat dengan metode penggunaan aliran tinggi, penggunaan *prefilled circuit* atau memasukkan agen volatil ke *breathing circuit*. Mempertahankan anestesi pada FGF rendah dari agen anestesi. Dengan adanya *absorber*, dihirupnya kembali CO<sub>2</sub> dapat dicegah pada *circle system* pada penggunaan FGF yang rendah ( $\leq 1$  L). Untuk terminasi anestesi waktu pemulihan dengan FGF rendah juga lebih lambat. Oleh karenanya pengalihan ke FGF tinggi untuk mempercepat *wash-out*, menggunakan karbon aktif, dan N<sub>2</sub>O dapat dibuang sembari memberikan oksigen 100%.

#### Daftar Pustaka

1. Upadya M, Saneesh PJ. 2018. *Low-flow anaesthesia – underused mode towards "sustainable anaesthesia"*. Indian Journal of Anesthesia published by wolters Kluwer
2. Butterworth J.F., Mackey D.C., Wasnick J. 2013. Chapter 3 : Breathing system. Morgan & Mikhail Clinical Anesthesiology 5<sup>th</sup> ed. Mc-Graw Hill : Appleton & Lange.
3. Honemann C., Rubsam M, 2016. low Flow Anesthesia. SJAIT1608193H;195-202
4. Flood P., Shafer S, 2015. Chapter 4 Inhaled Anesthetics In *Stoelting's Pharmacology and Physiology in Anesthetic Practice, 5th ed.* Wolters Kluwer Health, 98-99.
5. Honemann C., Hagemann O., Doll D. 2013. inhalation Anesthesia With Low Flow Fresh Gas Flow. Indian Journal of Anesthesia J Vol 57.
6. Gentz BA, Malan TP Jr. Renal toxicity with sevoflurane: a storm in a teacup? *Drugs.* 2001;61(15):2155-62. Review. PubMed PMID: 11772127.
7. Dehouwer A, Carette R, De Ridder S, De Wolf AM, Hendrickx JF. Accuracy of inhaled agent usage displays of automated target control anesthesia machines. *J Clin Monit Comput.* 2016; 30(5):539-43.
8. Mehrata M, Moralejo C, Anderson WA. Adsorbent comparisons for anesthetic gas capture in hospital air emissions. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2016;51:805-9.
9. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: Application to clinical use. *Anesth Analg* 2010;111:92-8
10. Sherman JD, Ryan S. Ecological responsibility in anesthesia practice. *Int Anesthesiol Clin* 2010;48:139-51.