

PANDUAN LENGKAP PENGGUNAAN
macam-macam alat

inhaler

PADA GANGGUAN PERNAFASAN



Amelia Lorensia

Rivan Virlando Suryadinata

Panduan Lengkap Penggunaan Macam-macam Alat Inhaler pada Gangguan Pernafasan

Oleh

Amelia Lorensia

Rivan Virlando Suryadinata



Kantor: Jl. Kedung Sroko No 71 Surabaya - Indonesia

Telepon : (082330074080)

Website : www.mbrothersgroup.com

Email : bm.brothers21@gmail.com

Pasal 113 Undang-undang No 28 Tahun 2014 Tentang hak cipta :

- 1) Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf l untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (Seratus Juta Rupiah)
- 2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f,, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- 3) Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,00 (Satu Miliar Rupiah).
- 4) Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,00 (Empat Miliar Rupiah)

**Panduan Lengkap Penggunaan Macam-macam Alat Inhaler pada
Gangguan Pernafasan**

Penyusun:

**Amelia Lorensia
Rivan Virlando Suryadinata**



Kantor: Jl. Kedung Sroko No 71 Surabaya - Indonesia
Telepon : (082230074080)
Website : www.mbrothersgroup.com
Email : bm.brothers21@gmail.com

Panduan Lengkap Penggunaan Macam-macam Alat Inhaler pada Gangguan Pernafasan

Penyusun : **Amelia Lorensia**
Rivan Virlando Suryadinata

ISBN : 978-602-51176-4-0
Penerbit : **M-Brothers Indonesia**
Redaksi : Jl. Kedung Sroko No.71 Surabaya - Indonesia
Telepon : 082330074080
Website : www.mbrothersgroup.com
Email : bm.brothers21@gmail.com
Cetakan Pertama : Maret 2018

Copyright © 2018 by M-Brothers Indonesia Publisher
All Right Reserved
Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Lorensia, Amelia
Panduan Lengkap Penggunaan Macam-macam Alat Inhaler pada Gangguan Pernafasan
/ oleh Amelia Lorensia dan Rivan Virlando Suryadinata
Cet. 1—Surabaya : M-Brothers Indonesia, Maret 2018.
iv, 78 hlm.; Uk : 17x21 cm
ISBN : 978-602-51176-4-0
1. Klasifikasi Buku I. Judul

KATA PENGANTAR



Terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa memberikan jalan dan petunjuk dalam menyelesaikan buku ini.

Buku ini bertujuan membagikan informasi mengenai cara penggunaan inhaler yang tepat. Penggunaan inhaler yang kurang tepat tidak hanya menyebabkan obat yang digunakan menjadi tidak optimal namun bahkan dapat menyebabkan suatu masalah baru yang dapat meningkatkan biaya pengobatan dan menurunkan produktifitas. Buku ini ditujukan secara khusus bagi tenaga kesehatan dalam menunjang pengobatan dengan menggunakan inhaler bagi masyarakat yang mendapatkan terapi dengan bentuk sediaan inhaler.

Penyempurnaan secara periodik akan tetap dilakukan, untuk ini segala saran dan masukan dari semua pihak secara tertulis. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah membantu. Semoga buku ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebaik-baiknya.

*Surabaya, Januari 2018
Tim penulis*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
A. PENDAHULUAN	1
B. INHALER	2
a. Pengobatan Inhalasi	2
b. Keuntungan dan Keterbatasan Pengobatan dengan Rute Inhalasi	3
c. Kriteria Inhaler yang Ideal	3
C. MDI (<i>Metered-Dose Inhaler</i>)	4
a. Desain MDI	4
b. Ukuran Partikel MDI	7
c. Kelebihan dan Kekurangan MDI	10
d. Instruksi Penggunaan MDI	11
D. MDI dengan <i>Spacer</i>	19
a. Desain <i>Spacer</i>	19
b. Indikasi Penggunaan <i>Spacer</i>	21
c. Instruksi Penggunaan MDI dengan <i>Spacer</i>	21
E. DPI (<i>Dry-Powder Inhaler</i>)	26
a. Desain dan Jenis DPI	26
b. Kelebihan dan Kekurangan DPI	26
c. Hal-hal yang perlu Diperhatikan pada Penggunaan DPI	28
d. Diskus [®]	29
e. Turbuhaler [®]	35
f. Swinghaler [®]	40
g. HandiHaler [®]	43
h. Rotahaler [®]	49
F. NEBULIZER	53
a. Desain Nebulizer	53
b. Jenis Nebulizer	54
c. Kelebihan dan Kekurangan Nebulizer	56
d. Instruksi Penggunaan Nebulizer	57
G. PEAK FLOW METER	59
a. Definisi dan manfaat <i>Peak Flow Meter</i>	59
b. Cara Penggunaan <i>Peak Flow Meter</i>	62
c. Interpretasi Pengukuran <i>Peak Flow Meter</i>	63
H. TEKNOLOGI TERBARU	68
a. Nebulizer Portabel	68
b. Inhaler Insulin	70
DAFTAR PUSTAKA	72
GLOSARIUM.....	76
BIODATA PENULIS	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Perbedaan MDI, DPI dan Nebulizer	2
Tabel 2.	Kelebihan dan Kekurangan MDI	10
Tabel 3.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan MDI	12
Tabel 4.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan MDI dengan <i>Spacer</i>	23
Tabel 5.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan Diskus [®]	33
Tabel 6.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan Turbuhaler [®]	38
Tabel 7.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan Swinghaler [®]	42
Tabel 8.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan HandiHaler [®]	45
Tabel 9.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan Rotahaler [®]	51
Tabel 10.	Penjelasan Langkah-Langkah Penggunaan <i>Peak Flow Meter</i>	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	<i>Metered Dose Inhaler</i> (MDI)	4
Gambar 2.	Diagram dari <i>Metered-Dose Inhaler</i> (MDI)	5
Gambar 3.	Ukuran Partikel dari MDI yang Masuk ke dalam Paru-paru	8
Gambar 4.	Mekanisme Deposisi Partikel Aerosol	8
Gambar 5.	Teknik Penggunaan <i>Metered-Dose Inhaler</i> (MDI)	11
Gambar 6.	(a) Sediaan MDI dengan <i>Dose Counter</i> ; (b) Sediaan MDI Tanpa <i>Dose Counter</i>	15
Gambar 7.	<i>Puff Minder</i> pada Sediaan MDI	15
Gambar 8.	Cara Menghitung Sisa Obat secara Mandiri	16
Gambar 9.	Metode Lama dalam Memprediksi Sisa Obat dalam Kanister	16
Gambar 10.	Cara Mencuci MDI dengan Bilasan Air	17
Gambar 11.	Diagram dari MDI dan <i>Spacer</i>	19
Gambar 12.	MDI dengan <i>Spacer</i> Tipe <i>AeroChamber</i> [®]	20
Gambar 13.	Macam-macam Produk <i>Spacer</i> di Pasaran.....	20
Gambar 14.	(a) Sediaan <i>Spacer</i> Tipe <i>AeroChamber</i> [®] dengan <i>Mouthpiece</i> ; (b) Sediaan <i>AeroChamber</i> [®] dengan <i>Masker</i>	21
Gambar 15.	Teknik Penggunaan <i>Spacer</i> (<i>AeroChamber</i> [®] Jenis <i>Masker</i>) dengan MDI	22
Gambar 16.	Mencuci <i>Spacer</i> dan MDI dengan Air	25
Gambar 17.	Jenis DPI	27
Gambar 18.	Diagram Bagian <i>Diskus</i> [®]	30
Gambar 19.	Diagram Bagian dalam <i>Diskus</i> [®]	30
Gambar 20.	(a) Lubang di dalam <i>mouthpiece</i> <i>Diskus</i> [®] Tertutup sebelum Tuas Dosis Digeser; (b) Lubang di dalam <i>mouthpiece</i> <i>Diskus</i> [®] Terbuka setelah Tuas Dosis Digeser	31
Gambar 21.	Teknik Penggunaan <i>Diskus</i> [®]	32
Gambar 22.	<i>Turbuhaler</i> [®]	35
Gambar 23.	Komponen pada <i>Turbuhaler</i> [®]	36
Gambar 24.	Teknik Penggunaan <i>Turbuhaler</i> [®]	37
Gambar 25.	<i>Swinghaler</i> [®]	40
Gambar 26.	Teknik Penggunaan <i>Swinghaler</i> [®]	41
Gambar 27.	<i>HandiHaler</i> [®]	43
Gambar 28.	Diagram dari <i>HandiHaler</i> [®]	43
Gambar 29.	Teknik Penggunaan <i>HandiHaler</i> [®]	44

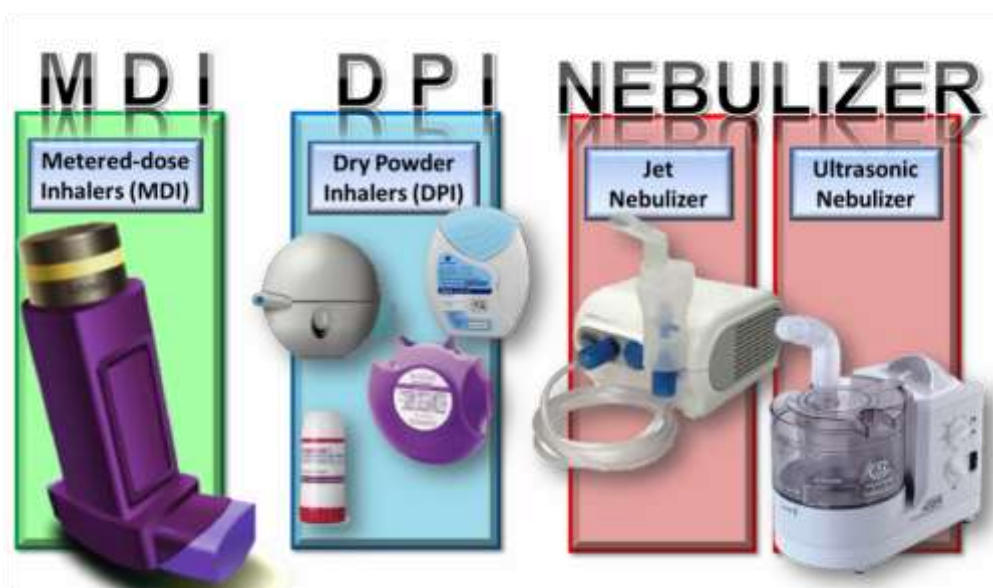
Gambar 30.	Cara Membersihkan HandiHaler [®]	48
Gambar 31.	Rotahaler [®]	49
Gambar 32.	Diagram dari Rotahaler [®]	49
Gambar 33.	Teknik Penggunaan Rotahaler [®]	50
Gambar 34.	Diagram dari Nebulizer	53
Gambar 35.	Contoh Produk Nebulizer Jet tipe <i>Reservoir Tube</i> (a) <i>Mouthpiece</i> ; (b) <i>Mask</i>	55
Gambar 36.	Skema Ilustrasi dari Nebulizer Jet tipe <i>Reservoir Tube</i>	55
Gambar 37.	Skema Ilustrasi dari Nebulizer Ultrasonik	56
Gambar 38.	Teknik Penggunaan Nebulizer	58
Gambar 39.	Macam-macam Model Produk <i>Peak Flow Meter</i>	59
Gambar 40.	Klasifikasi Asma Berdasarkan Pengukuran Nilai PEF dengan <i>Peak Flow Meter</i>	60
Gambar 41.	Teknik Penggunaan <i>Peak Flow Meter</i>	61
Gambar 42.	Contoh Tabel Nilai PEF (L/menit) Normal dengan <i>Peak Flow Meter</i> ...	65
Gambar 43.	Nilai PEF (L/detik) Laki-laki Normal di Indonesia	66
Gambar 44.	Nilai PEF (L/detik) Laki-laki Normal di Indonesia	67
Gambar 45.	Contoh Beberapa Produk Nebulizer Portabel di Pasaran	68
Gambar 46.	Skema Ilustrasi dari Nebulizer <i>Mesh</i> , (a) <i>Mesh</i> Aktif; (b) <i>Mesh</i> Pasif ..	69
Gambar 47.	Inhalasi Insulin Exubera [®]	70
Gambar 48.	Inhalasi Insulin Afrezza [®]	71

A. PENDAHULUAN

Penyakit pernafasan kronis seperti asma dan PPOK (penyakit paru obstruksi kronis) merupakan salah satu dari empat jenis PTM (penyakit tidak menular) terbesar di dunia. Menurut Riskesdas (2013),¹ asma dan PPOK menduduki tingkat teratas dari 12 PTM terbesar di Indonesia, yaitu dengan prevalensi masing-masing 4,5 persen dan 3,7 persen. Penyakit pernafasan seperti asma dan PPOK membutuhkan pengobatan jangka panjang dan rutin. Sebagian besar pengobatannya dengan rute pemberian obat secara inhalasi. Rute ini memiliki keuntungan karena (1) Memberikan efek secara langsung ke target organ di paru, dan (2) Menyebabkan efek samping yang cenderung lebih kecil dibandingkan rute lainnya, karena kerja obat secara topikal sehingga tidak membutuhkan dosis lebih besar seperti pada pemberian secara sistemik.²

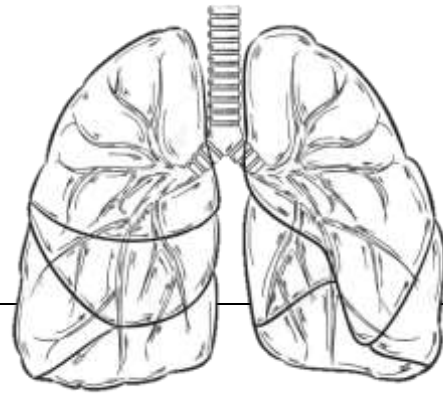
Inhaler merupakan alat yang digunakan untuk pemberian obat secara inhalasi. Sistem pengiriman inhaler merupakan bentuk penting dari perangkat pemberian obat dalam pengobatan gangguan pernafasan (seperti: asma, bronkitis kronis, emfisema, dll), karena memiliki keuntungan pemberian obat langsung ke sistem pernapasan dan efek samping yang lebih sedikit.² Inhaler dirancang untuk meningkatkan kemudahan penggunaan, namun banyak pasien menunjukkan cara penggunaan yang salah pada semua desain inhaler yang digunakan saat ini,³ sehingga menjadi penyebab utama perawatan tidak optimal.² Teknik inhaler yang tidak tepat mengurangi pemberian obat pada saluran udara sehingga menurunkan efektivitas dari obat inhaler. Selain itu biaya pengobatan menjadi lebih mahal,⁴ baik karena kebutuhan akan penambahan obat, pengobatan akibat perburukan gejala, bahkan pengobatan untuk mengatasi efek samping karena salah pemakaian.

Penelitian penggunaan inhaler pada pasien menunjukkan bahwa tidak adanya instruksi yang memadai mengenai penggunaan inhaler dapat menyebabkan teknik penggunaan yang tidak tepat.⁵ Dalam suatu studi klinik, sebanyak 90% dari pasien menunjukkan teknik yang salah dalam penggunaan *metered-dose inhaler* (MDI) dan *dry-powder inhaler* (DPI) seperti Diskus[®] dan Turbuhaler[®].³ Oleh karena itu, pemahaman cara penggunaan inhaler perlu mendapatkan perhatian cukup penting dalam mencapai efek obat yang optimal.



B. INHALER

- a. Pengobatan Inhalasi
- b. Keuntungan dan Keterbatasan Pengobatan dengan Rute Inhalasi
- c. Kriteria Inhaler yang Ideal

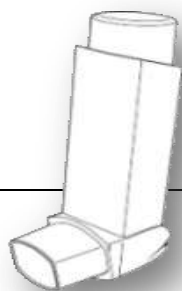


a. Pengobatan Inhalasi

Terapi inhalasi yaitu pengiriman obat langsung menuju paru-paru. Pemberian obat melalui rute inhalasi merupakan bagian penting dalam pengobatan penyakit asma. Efektivitas obat inhalasi tidak hanya tergantung pada formulasi tetapi lebih ke desain dan kemampuan pasien dalam menggunakan perangkat dengan benar. Inhaler secara umum terdiri dari 3 jenis yaitu *metered-dose inhaler* (MDI), *dry-powder inhaler* (DPI), dan nebulizer. *Metered-dose inhaler* (MDI) dapat digunakan dengan spacer maupun tanpa *spacer*. *Dry-powder inhaler* (DPI) seperti Turbuhaler[®], Diskus[®], Twisthaler[®], dll. Sedangkan nebulizer terdiri dari 2 macam yaitu ultrasonic nebulizer dan jet nebulizer.⁶

Tabel 1. Perbedaan MDI, DPI dan Nebulizer^{7,8}

<i>Metered-dose inhaler</i> (MDI)	<i>Dry-powder inhaler</i> (DPI)	Nebulizer
<ol style="list-style-type: none"> a. Dapat menggunakan <i>spacer</i> b. Energi yang dibutuhkan berdasarkan dari propilen c. Memerlukan kordinasi yang pas antara menghirup dan menekan obat d. Terjadi penurunan dosis pada keadaan dingin e. Memerlukan persiapan khusus seperti pengocokan dan penyemprotan aerosol sebelum digunakan 	<ol style="list-style-type: none"> a. DPI tidak mengandung propelan sehingga tertinggalnya obat di orofaringeal lebih kecil. b. Energi yang dibutuhkan berasal dari kekuatan pasien dalam menarik nafas c. Tidak memerlukan bantuan <i>spacer</i> untuk mempermudah penggunaan d. Membutuhkan aliran inspirasi yang lebih tinggi e. Tidak dapat digunakan untuk pasien usia <5 tahun 	<ol style="list-style-type: none"> a. Alat berupa mesin yang mengubah obat asma bentuk cair menjadi uap b. Penghirupan obat menggunakan masker c. Mengeluarkan suara yang berisik d. Memerlukan sumber daya listrik e. Harga relatif lebih mahal



b. Keuntungan dan Keterbatasan Pengobatan dengan Rute Inhalasi

Pengobatan gangguan pernafasan dapat diberikan melalui berbagai cara yaitu: inhalasi, oral dan parenteral (subkutan, intramuskular, intravena). Kelebihan pemberian medikasi langsung ke jalan napas (inhalasi) adalah:⁹⁻¹²

1. Efek langsung ke target pengobatan di saluran pernafasan
2. Lebih efektif untuk dapat mencapai konsentrasi tinggi di jalan napas
3. Efek sistemik minimal atau dihindarkan (tidak ada nyeri akibat injeksi)
4. Beberapa obat hanya dapat diberikan melalui inhalasi, karena tidak terabsorpsi pada pemberian oral (antikolinergik dan kromolin)
5. Waktu kerja bronkodilator lebih cepat bila diberikan inhalasi daripada oral
6. Relatif kecil, ringan, dan mudah dibawa dalam tas, saku, atau koper
7. Relatif mudah digunakan dengan petunjuk yang benar

Namun terapi dengan inhaler juga memiliki beberapa keterbatasan seperti:

1. Sulit bagi beberapa orang untuk berkoordinasi, terutama anak kecil, cacat mental, dan orang usia tua (lansia).
2. Ukuran relatif kecil, mudah dibawa, dan relatif mudah hilang. Oleh karena itu terkadang sulit untuk ditemukan pada saat dibutuhkan secara mendadak (misal: saat terjadi perburukan serangan asma).
3. Membutuhkan aliran inspirasi tertentu untuk menggerakkan obat-obatan, membuat kurang ideal pada saat perburukan gejala (seperti pada asma atau PPOK).

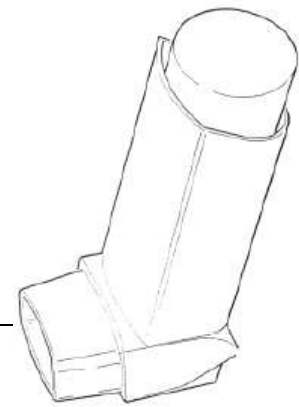
c. Kriteria Inhaler Ideal

Kriteria aerosol yang ideal akan bervariasi tergantung pada obat-obatan yang akan diberikan dan situasi klinis. Perangkat yang dipilih untuk memaksimalkan keuntungan dari obat inhalasi memiliki karakteristik sebagai berikut:¹³⁻¹⁴

- a. Mudah digunakan, dibawa, mengandung dosis ganda, melindungi obat dari kelembaban dan memiliki indikator dosis
- b. Memiliki pengiriman dosis yang akurat dan seragam dalam berbagai laju inspirasi
- c. Pengiriman dosis konsisten selama inhaler digunakan dan konsistensi dosis yang baik bila dibandingkan dengan inhaler serupa lainnya
- d. Ukuran partikel yang optimal untuk pengiriman obat ke dalam paru-paru
- e. Kesesuaian untuk berbagai obat-obatan (kombinasi) dan dosis
- f. Interaksi minimum antara formulasi obat dan perangkat
- g. Stabilitas produk dalam inhaler
- h. Efektivitas biaya

C. MDI (*METERED-DOSE INHALER*)

- a. Desain MDI
- b. Ukuran Partikel MDI
- c. Kelebihan dan Kekurangan MDI
- d. Instruksi Penggunaan MDI



a. Desain MDI

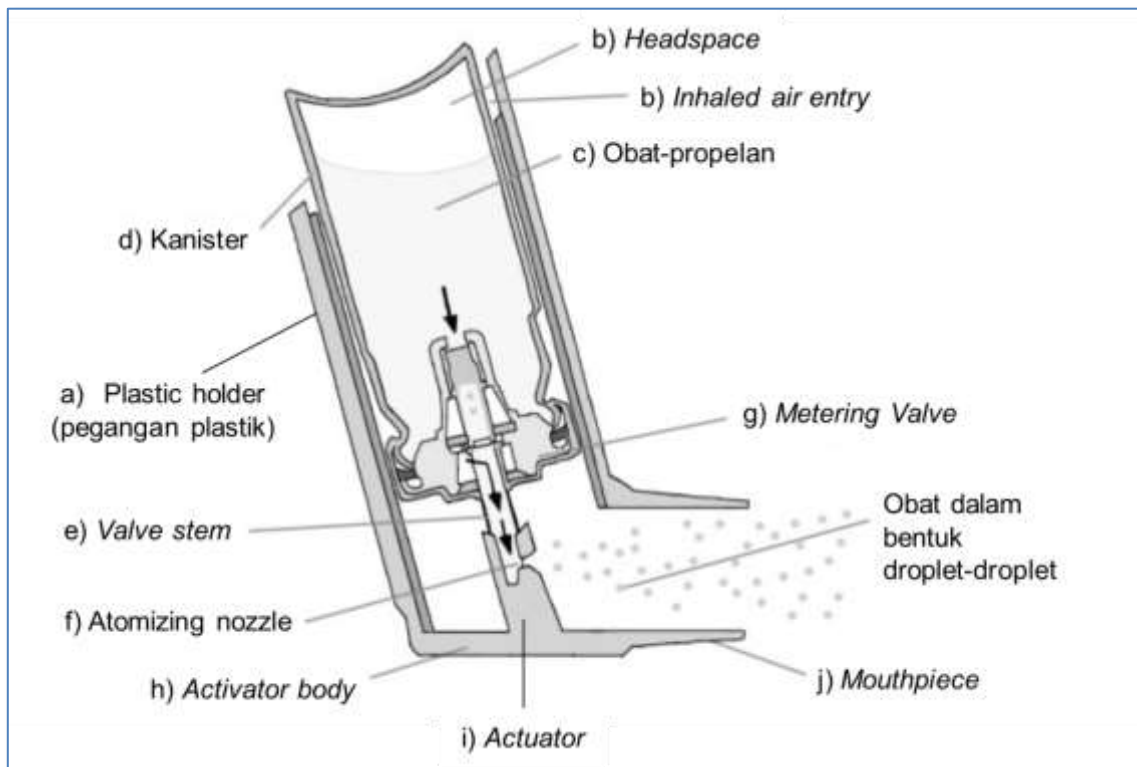
Pada saat ini, jenis obat dengan sediaan inhaler yang paling sering diresepkan yaitu *Metered-Dose Inhaler* (MDI). MDI merupakan inhaler tertua di pasar dan telah tersedia sejak awal 1950-an. Obat ini terkandung dalam aerosol bertekanan dan dicampur dengan propelan yang membantu untuk mendorong obat keluar dari inhaler dan ke mulut dan paru-paru. Setiap aktuasi perangkat melepaskan 'dosis terukur'.¹⁵



Gambar 1. *Metered Dose Inhaler* (MDI)

MDI terdiri dari tabung bertekanan dan ruang dilengkapi dengan corong (*mouthpiece*) dan tutup pelindung. Tabung itu berisi obat, surfaktan dan/atau pelarut, dan propelan cair. Inhaler itu sendiri dirancang untuk memberikan dosis yang tepat dari obat pada saat penyemprotan. Ketika tabung *canister* (kanister) ditekan, *metering valve* satu arah dibuka oleh mekanisme pemicu dalam tubuh aktivator. Obat disemprotkan melalui *mouthpiece* dan kemudian pasien dapat menghirupnya. Aerosol terdiri dari droplet-droplet dalam berbagai diameter. Ketika obat dihirup, droplet ukuran besar terdeposisi di mulut, faring, dan laring, sedangkan droplet dengan ukuran yang lebih kecil dapat masuk ke dalam saluran pernafasan bawah.¹⁶ MDI berisi larutan, suspensi atau emulsi yang disediakan dalam wadah khusus yang dilengkapi dengan katup dan dibuat di bawah tekanan dengan propelan yang cocok atau campuran propelan cair yang cocok, yang digunakan sebagai pelarut.^{17,18}





Gambar 2. Diagram dari Metered-Dose Inhaler (MDI)¹⁶

Komponen dalam MDI (Gambar 2):

a) Plastic holder (pegangan plastik)

MDI terdiri dari *casing* plastik yang berisi tabung logam. *Casing* ini memiliki *mouthpiece* yang ditutupi oleh *cap*. Setiap kali kanister tabung ditekan dosis obat dilepaskan dan *counter* akan menghitung mundur per satu. Pasien harus mempertimbangkan untuk mendapatkan pengganti ketika *counter* menunjukkan angka 020. Penghitung tidak dapat direset dan menempel secara permanen pada tabung MDI.¹⁶

b) Headspace dan inhaled air entry

Headspace merupakan ruang kosong berisi *inhaled air entry* atau udara yang akan keluar bersama cairan suspensi dalam bentuk aerosol (udara yang membawa droplet) yang akan berada pada bagian atas saat inhaler digunakan.^{16,19}

c) Obat-Propelan

MDI mengeluarkan obat melalui kanister (tabung) bertekanan yang mengandung campuran obat-propelan, dengan menekan kanister kebawah. Kanister akan mengeluarkan aerosol yang dapat dihirup oleh pasien.²⁰

Propelan pada MDI berguna untuk mencairkan obat yang awalnya berbentuk gas pada tekanan atmosfer, menjadi cair apabila ditekan. Propelan yang baik bersifat tidak toksik, tidak mudah terbakar, kompatibel dengan formulasi obat baik dalam bentuk suspensi maupun larutan, serta memiliki titik didih dan densitas yang baik.⁷ Terdapat 2

jenis propelan yang digunakan di MDI, yaitu *chlorofluorocarbon* (CFC) dan *hydrofluoroalkane* (HFA). CFC memiliki 2 fase dalam 1 wadah, yakni cairan dan gas jenuh. Keseimbangan dinamis antara fase cair dan gas dapat memberikan tekanan gas yang sama baik dalam keadaan penuh maupun hampir habis. Tekanan yang dihasilkan adalah antara 300-500 kPa dan tergantung campuran propelan yang digunakan.⁷ Formulasi MDI dapat berupa suspensi partikel atau larutan. Surfaktan (biasanya sorbitan trioleat, asam oleat, atau *soya lecithin* dengan konsentrasi antara 0,1-2%) digunakan pada CFC untuk mengurangi agregasi partikel melincirkan mekanisme katup pengukur dosisnya.⁷ Penggunaan CFC kini telah dilarang karena pengeluaran klorin yang dapat merusak lapisan *ozone* pada bagian stratosfer.^{7,21} Kini banyak formulasi yang mengandung 2-hidrofluoroalkana (tetrafluoroetana (HFA-134a) dan heptafluoropropana (HFA-227)) di pasaran. Hal ini disebabkan HFA lebih ramah lingkungan daripada CFC, akan tetapi HFA lebih mudah terbakar sehingga penggunaannya harus hati-hati.⁷ Contoh MDI yang telah menggunakan HFA adalah: Ventolin[®], Atrovent[®], dll.²¹

Produsen perangkat HFA telah meningkatkan karakteristik desain dan formulasi obat untuk mengatasi beberapa kelemahan MDI terdahulu, dengan menurunkan kecepatan dan peningkatan dosis partikel halus dalam upaya untuk meningkatkan rasio terapeutik obat. Desain baru memberikan dosis lebih konsisten dalam tabung, sehingga menghilangkan efek *tail off*, yaitu pengurangan *output* obat ketika alat hampir kosong. Perangkat CFC memberikan dosis berkurang bila terkena dingin, sedangkan tabung HFA memberikan dosis yang konsisten bahkan ketika terkena suhu serendah -20°C. Generasi baru dari MDI menghasilkan semprotan hangat, yang dapat mengurangi efek freon dingin (gangguan inspirasi) yang dialami oleh beberapa pasien.¹⁶

d) *Pressurized canister (kanister bertekanan)*

Semua kontainer bertekanan harus menghindari suhu ekstrim seperti panas dan dingin. MDI itu wadah plastik harus dipisahkan dari tabung dan dibersihkan seminggu sekali. Wadah plastik dan *cap* harus direndam dalam air hangat dan sabun, dibilas, dan dibiarkan udara kering.¹⁶ Kanister bertekanan udara tempat menampung larutan suspensi obat, yang dilengkapi dengan *metering valve*, *valve stem* dan *atomizing nozzle*.^{16,19} Kanister MDI harus dapat menahan tekanan tinggi yang dihasilkan oleh propelan, sehingga harus dibuat dari bahan yang inert dan cukup kuat. Bahan aluminium lebih direkomendasikan daripada bahan gelas karena lebih ringan, lebih kompak, tidak mudah pecah dan dapat melindungi dari cahaya.⁷

e) *Valve stem*

Tangki katup yang berbentuk saluran sebagai jalan keluarnya obat menuju *atomizing nozzle*.^{16,19}

f) *Atomizing nozzle*

Pipa semprot atomik yang merupakan ujung dari *valve stem* tempat keluarnya obat berbentuk droplet dalam aerosol.^{16,19}

g) Metering Valve

Seperangkat sekat antara kanister dan *valve stem* yang menjadi jalan keluar bagi obat dari kanister sekaligus sebagai sistem yang mengatur keakuratan dosis yang dikeluarkan.^{16,19}

h) Activator body

Badan aktivasi yang memicu mekanisme terbukanya *metering valve* dan obat dalam kanister dapat masuk menuju saluran sampai pada *atomizing nozzle*.^{16,19}

i) Actuator

Kanister MDI yang lengkap akan terpasang pada sebuah *actuator* plastik untuk digunakan oleh pasien. Desain dari *actuator* sangat penting, terutama karena ukuran partikel aerosol ditentukan oleh diameter pipa, yang bervariasi antara 0,14 mm-0,6 mm. Ukuran partikel aerosol juga dapat dimodifikasi dengan merubah panjang dari pipa jalur *actuator*. Pipa *actuator* merupakan bagian penting untuk formasi penyemprotan. Ketika dosis keluar dari pipa *actuator* bagian cair akan menuju gas propelan dan ditarik oleh tekanan aerodinamis untuk membentuk formasi droplet. Penguapan dari propelan terdiri dari pembakaran awal, perpindahan droplet dari pipa, dan pendinginan droplet. Oleh karena itu, semprotannya akan terasa dingin pada bagian belakang tenggorokan.⁷

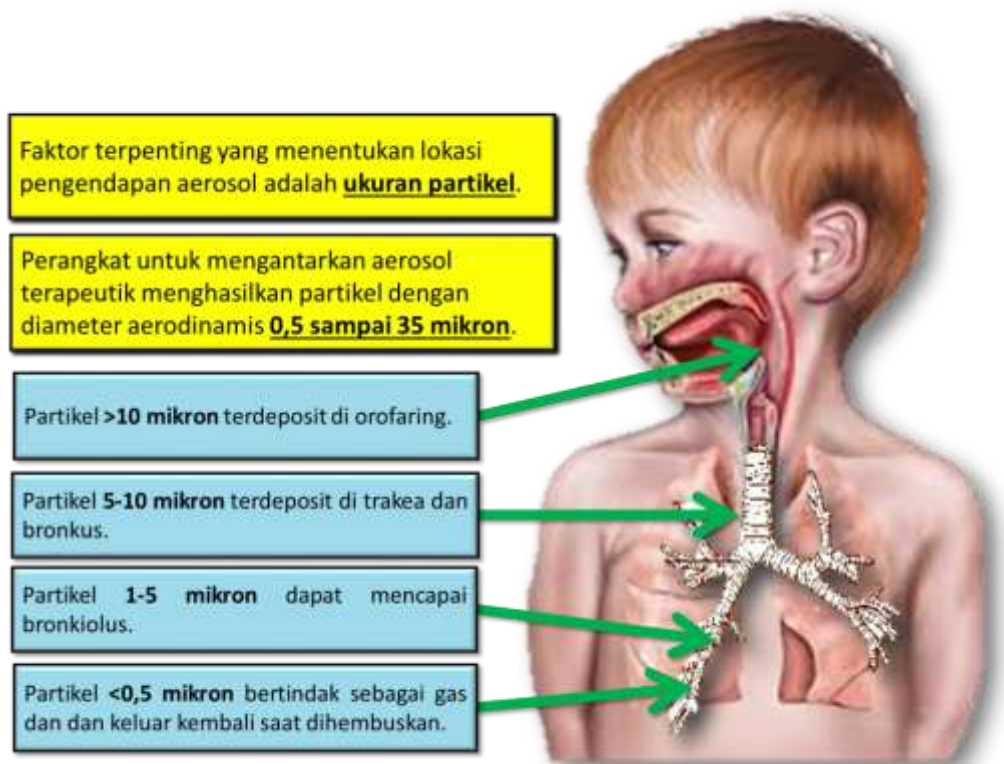
j) Mouthpiece

Area pengarah aliran droplet aerosol yang keluar dari *atomizing nozzle* menuju rongga mulut untuk pada akhirnya dialirkan ke paru-paru.^{16,19} Wadah ini memiliki *mouthpiece* yang ditutupi oleh penutup untuk menjaga kebersihan *mouthpiece* yang harus dilepas apabila hendak digunakan.^{7,16}

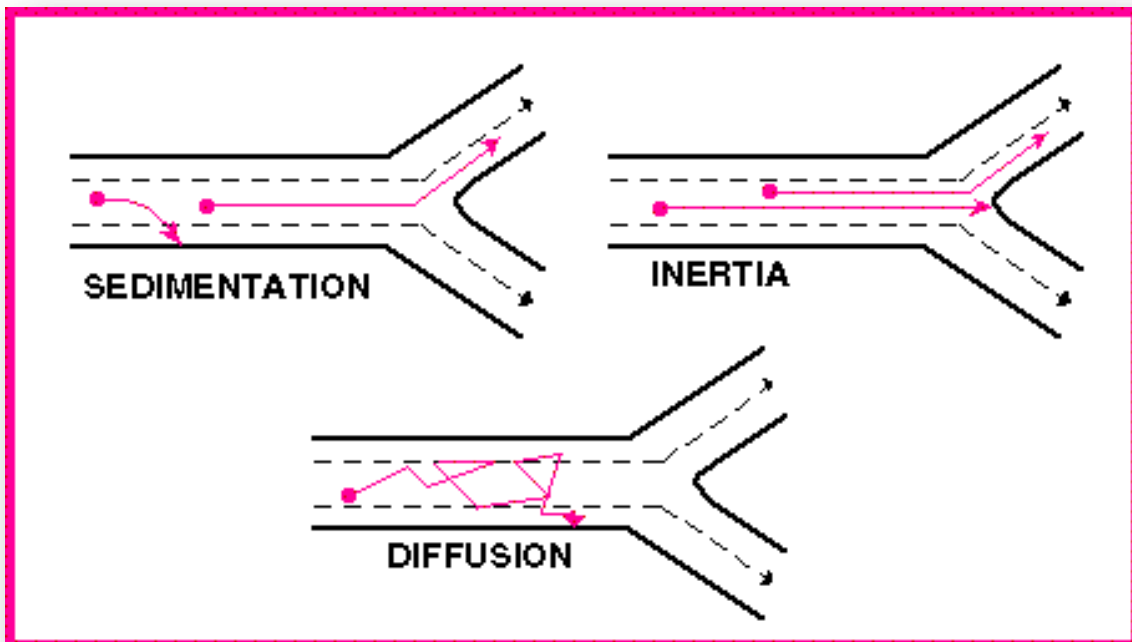
Mouthpiece diletakkan di antara gigi dengan bibir yang menutup rapat dan tidak menghalangi *opening* dari *mouthpiece* dengan mulut, tujuannya agar obat yang dikeluarkan tidak terganggu dengan jalan lidah yang menutupi bagian *mouthpiece* MDI.

b. Ukuran Partikel MDI

FDA menyatakan bahwa salah satu bentuk kontrol yang sangat penting untuk aerosol inhalasi adalah distribusi ukuran partikel dari dosis yang dihantarkan. Parameter ini tergantung pada formulasi, katup, dan *mouthpiece*. Distribusi ukuran partikel yang optimal untuk sebagian besar aerosol inhalasi secara umum telah diakui sebagai berada di kisaran 1-5 mikron (Gambar 3). Distribusi ukuran partikel dipengaruhi oleh karakteristik semprotan dari produk obat, serta faktor-faktor lainnya dan tidak semata-mata ditentukan oleh ukuran partikel zat obat yang tersuspensi dalam formulasi. Obat sediaan MDI dikeluarkan dengan cara aktuasi dan memerlukan koordinasi pada proses inhalasinya.¹⁶



Gambar 3. Ukuran Partikel dari MDI yang Masuk ke dalam Paru-paru

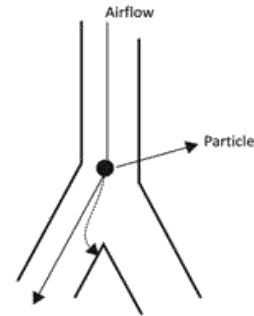


Gambar 4. Mekanisme Deposisi Partikel Aerosol

Inhalasi adalah jalur paparan yang paling penting di tempat kerja. Saat partikel berada di udara, ada kemungkinan akan terhirup. Seberapa jauh partikel tersebut masuk ke saluran udara dari sistem pernapasan, dan apa yang terjadi saat disimpan, tergantung pada ukuran, bentuk, dan densitas bahan partikulat. Apa yang terjadi juga bergantung pada sifat kimia dari material. Ada 3 mekanisme deposisi yang terjadi ketika partikel aerosol masuk saluran pernapasan yaitu dengan cara inersia, sedimentasi dan difusi (Gambar 4). Penjelasan dari ketiga mekanisme deposisi antara lain:²³

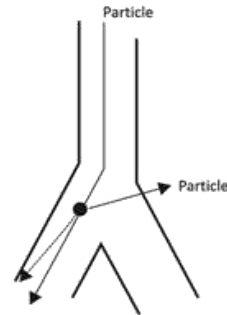
1) Inersia (impaksi inersial)

Inersia umumnya terjadi ketika ukuran partikel aerosol yang $>10 \mu\text{m}$ (mikron) yang kemungkinan besar terdeposit pada orofaring akibat dari partikel gas yang memiliki momentum (hasil kali massa dan kecepatan) sehingga partikel aerosol berubah arah dan saling bertubrukan.



2) Sedimentasi

Sedimentasi terjadi karena adanya pengendapan gravitasi partikel aerosol dimana kecepatan partikel aerosol saat masuk sebanding dengan ukuran partikel yang masuk pada saluran pernapasan bawah yaitu kisaran $5-10 \mu\text{m}$, sedangkan partikel berukuran $1-5 \mu\text{m}$ akan terdeposit di alveoli.



3) Difusi

Difusi ini terjadi ketika ukuran partikel aerosol $<1 \mu\text{m}$ dimana partikel obat bertabrakan dengan molekul gas dan air yang mengelilinginya, menyebabkan gerak brown. Partikel yang bertabrakan dengan permukaan paru-paru secara konstan diserap sehingga membentuk gradient difusi ke arah dinding saluran napas.

