

Tinjauan Pustaka

Metode Penilaian Transport Mukosiliar Dan Patensi Nasal: Tinjauan Fisiologis

Daniel Pradana Andrian Wicaksono¹, Arin Dwi Iswarini²

1) Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta

2) Departemen THT-KL, Rumah Sakit Bethesda, Yogyakarta

ABSTRAK

Latar Belakang: Transport mukosiliar dan patensi nasal merupakan dua komponen fisiologis utama yang berperan dalam mempertahankan fungsi respirasi serta mekanisme pertahanan saluran napas atas. Gangguan pada kedua sistem ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi pembersihan mukosa, peningkatan resistensi aliran udara, serta berkontribusi terhadap berbagai kondisi inflamasi dan infeksi pada rongga hidung dan sinus paranasal. Evaluasi fungsi mukosiliar dan patensi nasal secara akurat menjadi penting dalam praktik klinis maupun penelitian rinologi. **Tujuan:** Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk membahas berbagai metode penilaian transport mukosiliar dan patensi nasal berdasarkan prinsip fisiologis yang mendasarinya. **Tinjauan Pustaka:** Penilaian transport mukosiliar dapat dilakukan melalui metode subjektif seperti uji sakarin maupun metode objektif seperti *digital high-speed video microscopy* dan *scintigraphy radioisotope clearance test*. Sementara itu, patensi nasal dapat dievaluasi menggunakan metode subjektif seperti *Visual Analog Scale (VAS)* dan *Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE)*, serta metode objektif seperti *Peak Nasal Inspiratory Flow (PNIF)*, rhinomanometri, dan akustik rinometri. Masing-masing metode memiliki prinsip kerja, kelebihan, dan keterbatasan dalam merepresentasikan fungsi fisiologis hidung secara struktural maupun fungsional. **Kesimpulan:** Pemahaman terhadap dasar fisiologis serta karakteristik tiap metode penilaian transport mukosiliar dan patensi nasal diperlukan untuk meningkatkan interpretasi klinis serta pemilihan metode evaluasi yang tepat dalam praktik maupun penelitian di bidang rinologi.

Kata kunci: Mucociliary clearance, Patensi nasal, PNIF, Rhinomanometri, Transport mukosiliar

Method for Assessing Mucociliary Transport and Nasal Patency: A Physiological Review

ABSTRACT

Background: Mucociliary transport and nasal patency are essential physiological components in maintaining respiratory function and upper airway defense mechanisms. Impairment of these systems may reduce mucosal clearance efficiency, increase airflow resistance, and contribute to inflammatory and infectious conditions of the nasal cavity and paranasal sinuses. Accurate evaluation of mucociliary function and nasal patency is therefore important in both clinical practice and rhinology research. **Objective:** This literature review aims to discuss various methods for assessing mucociliary transport and nasal patency based on their underlying physiological principles. **Literature Review:** Mucociliary transport can be assessed using subjective methods such as the saccharin test and objective methods including digital high-speed videomicroscopy and scintigraphy radioisotope clearance test. Nasal patency may be evaluated using subjective approaches such as the Visual Analog Scale (VAS) and Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE), as well as objective techniques including Peak Nasal Inspiratory Flow (PNIF), rhinomanometry, and acoustic rhinometry. Each method has distinct principles, advantages, and limitations in representing structural and functional aspects of nasal physiology. **Conclusion:** Understanding the physiological basis and characteristics of each assessment method is essential to improve clinical interpretation and to guide the appropriate selection of evaluation techniques in rhinology practice and research.

Keywords: Mucociliary clearance, Nasal patency, PNIF, Rhinomanometry, Mucociliary transport

Corresponding Author:

Daniel Pradana Andrian Wicaksono, Universitas Kristen Duta Wacana, Email: danielpradana0@gmail.com

Article Information

Received: February 20, 2026

Available online: Mei 25, 2026



PENDAHULUAN

Hidung merupakan bagian awal saluran napas dengan fungsi fisiologis kompleks, tidak hanya sebagai jalur masuk udara tetapi juga sebagai pertahanan pertama terhadap partikel, mikroorganisme, dan perubahan lingkungan.¹ Struktur kavum nasi memungkinkan terjadinya proses filtrasi, pemanasan, dan kelembapan udara sebelum mencapai saluran napas bawah, yang bergantung pada integritas mukosa dan koordinasi berbagai komponen fisiologis untuk menjaga homeostasis respirasi.²

Salah satu mekanisme pertahanan utama adalah sistem transport mukosiliar, yang terdiri atas lapisan mukus viskoelastik dan aktivitas silia epitel respiratorius yang menggerakkan mukus beserta partikel ke arah nasofaring.³ Efektivitas sistem ini dipengaruhi frekuensi denyut silia, komposisi mukus, serta kondisi suhu dan kelembapan intranasal; gangguan pada komponen tersebut dapat menurunkan pembersihan mukosa dan meningkatkan risiko infeksi maupun inflamasi saluran napas.⁴

Selain itu, patensi nasal merupakan determinan penting fisiologi hidung yang mencerminkan derajat keterbukaan rongga hidung dan resistensi aliran udara selama respirasi. Patensi dipengaruhi faktor struktural, seperti anatomi kavum nasi dan fungsi katup hidung, serta regulasi vaskular mukosa melalui fenomena siklus nasal fisiologis.⁵ Perubahan patensi tidak hanya memengaruhi kenyamanan bernapas tetapi juga memodulasi fungsi mukosiliar melalui perubahan pola dan kecepatan aliran udara intranasal.⁶ Keterkaitan erat antara transport mukosiliar dan patensi nasal ini mendasari pengembangan berbagai metode penilaian fungsi hidung, baik yang bersifat subjektif maupun objektif, dengan prinsip fisiologis, parameter, serta interpretasi klinis yang berbeda.⁷

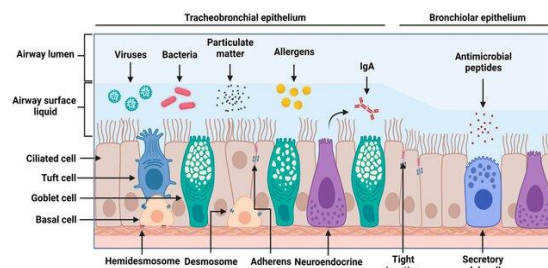
Sejalan dengan hal tersebut, tinjauan ini bertujuan membahas berbagai metode evaluasi kedua aspek tersebut dengan menitikberatkan pada dasar fisiologisnya. Pemahaman terhadap prinsip kerja masing-masing metode diharapkan dapat meningkatkan ketepatan interpretasi klinis dan memberikan landasan ilmiah bagi

pemilihan metode yang sesuai dalam praktik maupun penelitian di bidang rinologi.

TINJAUAN PUSTAKA

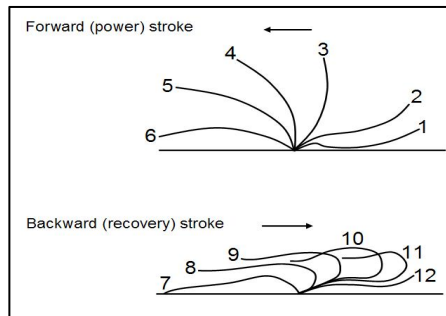
Fisiologi Transport Mukosiliar Hidung

Mukosa kavum nasi dilapisi epitel respiratorius kolumnar berlapis semu bersilia yang berperan penting dalam pertahanan saluran napas melalui mekanisme transport mukosiliar (Gambar 1).⁸ Mekanisme ini mengangkut mukus beserta partikel, mikroorganisme, dan iritan ke arah nasofaring untuk dieliminasi sehingga menjaga kebersihan dan fungsi mukosa. Efektivitasnya bergantung pada interaksi sel bersilia dan sel goblet serta sifat viskoelastik mukus.⁹ Sel bersilia dengan struktur mikrotubulus menghasilkan gerakan ritmis terkoordinasi (*power stroke* dan *recovery stroke*) yang mendorong mukus ke posterior; gangguan struktur atau fungsi silia menurunkan pembersihan mukosa dan meningkatkan risiko infeksi.¹⁰



Gambar 1. Struktur Epitel Respiratorius⁸

Sel goblet menghasilkan mukus dua lapis, yaitu lapisan sol yang memungkinkan gerakan silia dan lapisan gel yang menjebak partikel serta memfasilitasi transport.¹¹ Viskoelastisitas mukus harus optimal karena mukus terlalu kental menghambat gerakan silia, sedangkan mukus terlalu encer menurunkan kemampuan menangkap partikel. Gerakan silia berlangsung aktif dalam pola metakronal dengan frekuensi denyut silia (*ciliary beat frequency/CBF*) sebagai penentu utama kecepatan transport; penurunan CBF menyebabkan stagnasi mukus dan peningkatan kolonisasi mikroorganisme.¹² Arah gerakan silia yang konsisten menuju nasofaring memastikan eliminasi mukus berlangsung efektif, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.¹³



Gambar 2. Ilustrasi Gerak Silia¹³

Efektivitas transport mukosiliar dipengaruhi kondisi mukosa, karakteristik mukus, dan faktor lingkungan. Viskositas mukus yang ditentukan oleh komposisi mukin, air, dan elektrolit dari sel goblet serta kelenjar submukosa menentukan kemampuan mukus merespons gerakan silia.¹⁴ Perubahan viskoelastisitas pada infeksi, rinitis alergi, atau paparan iritan kronis menurunkan efisiensi pembersihan mukosa. Suhu dan kelembapan juga berperan dalam menjaga hidrasi mukus dan aktivitas silia; udara dingin atau kering meningkatkan kekentalan mukus dan menurunkan frekuensi denyut silia sehingga memperlambat transport.¹⁵

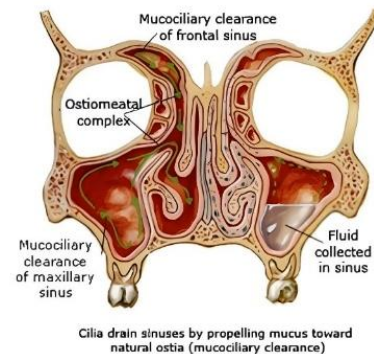
Selain itu, infeksi, inflamasi, asap rokok, dan polutan dapat merusak epitel respiratorius, mengganggu koordinasi silia, serta meningkatkan produksi mukus.¹⁶ Inflamasi kronis bahkan memicu edema mukosa dan hiperplasia sel goblet yang memperberat beban mukus, menyebabkan stagnasi sekret, dan meningkatkan risiko infeksi saluran napas berulang.¹⁷

Fisiologi Patensi Nasal

Patensi nasal terutama ditentukan oleh konfigurasi anatomi kavum nasi dan kondisi mukosa yang bersama-sama membentuk resistensi jalan napas atas. Kavum nasi dipisahkan oleh septum menjadi dua rongga dengan dinding lateral yang mengandung konka inferior, media, dan superior; di antaranya konka inferior berperan dominan dalam regulasi resistensi karena jaringan kavernosusnya sangat vaskular dan responsif terhadap kontrol otonom (Gambar 3).^{18,19}

Secara fisiologis, segmen tersempit jalur aliran udara adalah area katup nasal yang dibentuk oleh hubungan septum, kartilago lateral inferior, dasar hidung, dan

kepala konka inferior, sehingga perubahan kecil pada geometri atau kongesti mukosa di area ini dapat meningkatkan resistensi secara bermakna dan menimbulkan sensasi obstruksi hidung.²⁰ Mukosa yang sehat mempertahankan keseimbangan suhu, kelembapan, dan aliran udara, sedangkan edema akibat inflamasi, alergi, atau iritan menyebabkan pembesaran konka reversibel, penyempitan lumen, dan penurunan patensi meskipun tanpa kelainan struktural menetap.

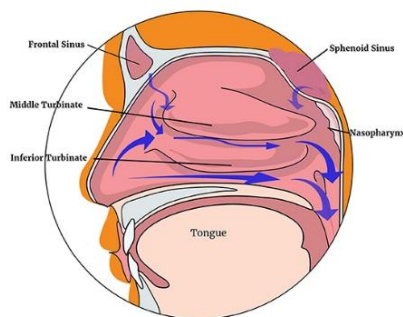


Gambar 3. Siklus Nasal¹⁸

Patensi nasal juga dipengaruhi oleh siklus nasal, yaitu pergantian periodik dominasi aliran udara antara kedua sisi hidung akibat perubahan tonus vaskular konka inferior yang dikendalikan sistem saraf otonom. Aktivitas simpatis menimbulkan vasokonstriksi mukosa dan menurunkan resistensi, sedangkan aktivitas parasimpatis menyebabkan vasodilatasi dan kongesti; pergantian ini berlangsung dalam hitungan jam dan umumnya tidak disadari.²¹ Secara fisiologis, siklus nasal memberikan periode istirahat mukosa pada sisi yang kongestif sehingga memungkinkan rehidrasi mukus, pemulihan epitel, dan optimalisasi transport mukosiliar sambil mempertahankan ventilasi adekuat pada sisi kontralateral. Gangguan regulasi vaskular pada rinitis alergi, rinitis vasomotor, atau inflamasi kronis dapat menyebabkan siklus menjadi asimetris atau menetap, sehingga resistensi nasal meningkat persisten dan timbul keluhan sumbatan tanpa kelainan anatomi jelas.²²

Secara fungsional, patensi nasal menentukan pola aliran udara dan efisiensi respirasi. Pada patensi optimal, aliran inspirasi cenderung laminar sehingga kontak udara-mukosa efektif untuk pemanasan, pelembapan, dan filtrasi

sebelum mencapai saluran napas bawah. Penurunan patensi meningkatkan resistensi dan turbulensi, menambah kerja pernapasan serta memicu sensasi sumbatan dan kompensasi berupa pernapasan melalui mulut.²³ Respirasi oral kronis menurunkan kualitas kondisioning udara, meningkatkan iritasi mukosa dan gangguan pertahanan saluran napas, serta berkaitan dengan gangguan tidur, mendengkur, dan penurunan efisiensi ventilasi. Dengan demikian, patensi nasal merupakan hasil interaksi dinamis antara anatomi kavum nasi, regulasi vaskular mukosa, dan karakteristik aliran udara yang bersama-sama menentukan fungsi respirasi yang efisien (Gambar 4).^{18,24}



Gambar 4. Mekanisme Pembersihan Mukosiliar^{18,24}

Metode Penilaian Transport Mukosiliar

Metode Sederhana / Klinis

Uji Sakarin

Uji sakarin didasarkan pada fungsi fisiologis sistem *mucociliary clearance* hidung sebagai mekanisme pertahanan utama saluran napas atas.²⁵ Pada epitel respiratorius kavum nasi, sel bersilia berdetak ritmik dan terkoordinasi untuk menggerakkan lapisan mukus dari anterior ke posterior menuju nasofaring, membawa partikel asing dan mikroorganisme untuk dieliminasi melalui menelan atau ekspektorasi. Metode ini mengukur waktu yang diperlukan partikel sakarin yang diletakkan pada mukosa konka inferior untuk ditranspor oleh aliran mukus hingga mencapai nasofaring dan merangsang reseptor pengecap manis di orofaring; interval ini disebut *saccharin transit time* dan mencerminkan efisiensi transport mukosiliar nasal. Sakarin bersifat larut dan memiliki ambang persepsi rendah sehingga

mudah terdeteksi saat mencapai faring posterior.²⁶ Pemanjangan waktu transpor menunjukkan gangguan fungsi mukosiliar atau perubahan viskoelastisitas mukus.

Pemeriksaan dilakukan pada pasien duduk dengan kepala sedikit di ekstensi setelah rongga hidung dibersihkan dari sekret tanpa dekonjestan atau anestesi topikal. Partikel sakarin padat ditempatkan $\pm 1-1,5$ cm posterior dari ujung anterior konka inferior, kemudian pasien diminta bernapas normal melalui hidung dan menghindari mengendus, bersin, batuk, menelan berlebihan, atau berbicara. Waktu dicatat sejak penempatan hingga sensasi manis pertama di tenggorokan (Gambar 5).²⁷ Metode ini non-invasif, murah, mudah dilakukan, dan memberikan gambaran global fungsi mukosiliar, tetapi bersifat subjektif karena bergantung pada persepsi pasien, dipengaruhi kepatuhan selama pemeriksaan, tidak menentukan etiologi spesifik, serta dapat terdistorsi oleh gangguan pengecap atau kondisi mukosa seperti sekret berlebih dan inflamasi berat.



Gambar 5. Mekanisme Pembersihan Mukosiliar²⁴

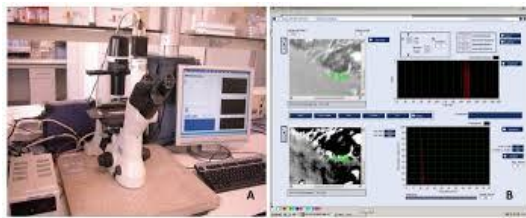
Pada individu sehat, waktu transport mukosiliar umumnya 7–15 menit dan hingga ≤ 20 menit masih dianggap batas atas normal. Nilai > 20 menit menunjukkan perlambatan transport mukosiliar, sedangkan tidak terdeteksinya rasa manis hingga > 30 menit mengindikasikan disfungsi mukosiliar bermakna yang memerlukan evaluasi objektif lanjutan.²⁸

Metode Objektif

1. Digital High Speed Videomicroscopy (Ciliary Beat Frequency)

Digital high-speed video microscopy (DHSV) merupakan metode evaluasi fungsi mukosiliar yang menilai aktivitas silia epitel respiratorius secara langsung pada tingkat seluler. Efektivitas transport mukosiliar sangat bergantung

pada karakteristik gerakan silia, terutama frekuensi denyut silia (*ciliary beat frequency*, CBF), pola denyutan, dan koordinasi antar silia dalam menghasilkan aliran mukus terarah.²⁹ DHSV menggunakan kamera berkecepatan tinggi (umumnya ≥ 200 –500 frame/detik) untuk merekam setiap siklus gerakan silia secara rinci sehingga fase efektif (*power stroke*) dan fase pemulihan dapat divisualisasikan serta dianalisis secara kuantitatif (Gambar 6).



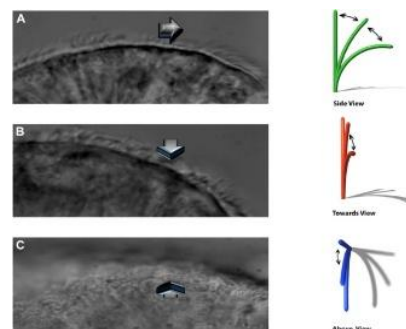
Gambar 6. Alat dan Software untuk DHSV²⁸

Analisis rekaman secara *frame-by-frame* atau *slow motion* memungkinkan pengukuran CBF serta penilaian sinkronisasi, amplitudo, dan adanya diskinesia, sehingga gangguan halus yang tidak terdeteksi metode klinis sederhana dapat diidentifikasi. Nilai CBF abnormal atau pola gerak tidak terkoordinasi merupakan indikator disfungsi mukosiliar yang relevan pada kondisi seperti *primary ciliary dyskinesia* atau inflamasi mukosa kronik.³⁰

Sampel epitel respiratorius diperoleh melalui *nasal brushing* atau biopsi ringan dari konka inferior atau septum anterior secara atraumatik untuk mempertahankan integritas silia.³¹ Sampel segera ditempatkan dalam medium fisiologis bersuhu mendekati suhu tubuh guna menjaga viabilitas sel, kemudian diamati dengan mikroskop cahaya berkamera *high-speed*. Rekaman dianalisis menggunakan perangkat lunak untuk mengukur CBF, pola gerak, dan koordinasi antar silia pada beberapa lapangan pandang guna memastikan representativitas hasil. Pendekatan ini memberikan evaluasi komprehensif fungsi silia secara seluler dan merupakan standar emas penilaian gangguan silia primer, dengan keunggulan berupa penilaian langsung dan real-time serta data kuantitatif dan kualitatif yang

sensitif terhadap gangguan ringan.³² Namun, metode ini memerlukan pengambilan sampel mukosa yang invasif ringan, peralatan dan perangkat lunak khusus, serta operator terlatih, dan tidak sepenuhnya merefleksikan interaksi silia-mukus *in vivo*; kualitas hasil juga dipengaruhi kondisi sampel dan penyimpanan.

Pada individu sehat, CBF epitel respiratorius hidung umumnya 7–15 Hz dengan gerakan silia terkoordinasi dan terarah. Penurunan CBF, ketidakaturan pola, atau diskinesia menunjukkan gangguan mukosiliar, yang dapat berkaitan dengan *primary ciliary dyskinesia*, rinosinusitis kronik, atau kerusakan silia akibat inflamasi dan iritan.³³ Dalam praktik klinis dan penelitian, interpretasi DHSV sebaiknya dikombinasikan dengan gambaran klinis serta metode lain seperti uji sakarin atau *radioisotope clearance test* untuk memperoleh penilaian fungsi mukosiliar yang menyeluruh (Gambar 7).

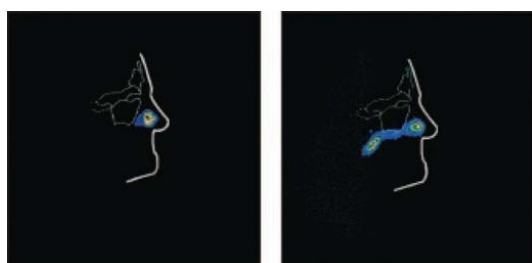


Gambar 7. Gerak Silia yang Termonitor di DHSV²⁸

2. Scintigraphy of Radioisotope Clearance Test

Scintigraphy radioisotope clearance test merupakan metode objektif untuk menilai fungsi transport mukosiliar nasal berdasarkan prinsip fisiologi *mucociliary clearance* (MCC), yang bergantung pada integritas aktivitas silia epitel respiratorius, sifat reologis mukus, serta koordinasi arah dan kecepatan transport menuju nasofaring.³⁴ Pada pemeriksaan ini, sejumlah kecil radioisotop berenergi rendah—paling sering Technetium-99m (^{99m}Tc) sulfur colloid atau albumin berlabel ^{99m}Tc—ditempatkan secara lokal pada mukosa kavum nasi, umumnya di area konka inferior. Partikel inert tersebut mengikuti pergerakan

fisiologis mukus yang digerakkan silia, dan perpindahannya dipantau secara serial menggunakan kamera gamma sehingga memungkinkan visualisasi jalur transport mukus serta pengukuran kuantitatif kecepatan dan efisiensi pembersihan mukosiliar secara dinamis. Berbeda dengan metode yang hanya menilai aktivitas silia terisolasi, scintigraphy merepresentasikan fungsi mukosiliar sebagai satu sistem terintegrasi, termasuk interaksi silia–mukus dan pengaruh geometri kavum nasi, sehingga banyak digunakan sebagai *reference standard* dalam penelitian MCC meskipun pemakaian klinis rutinnya terbatas oleh kebutuhan fasilitas kedokteran nuklir dan paparan radiasi rendah (Gambar 8).



Gambar 8. Ilustrasi dari *Scintigraphy of Radioisotope Clearance Test*³³

Prosedur dilakukan pada pasien duduk atau setengah duduk dengan kepala sedikit di ekstensi, kemudian $\pm 10\text{--}20 \mu\text{Ci}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ diaplikasikan secara atraumatik pada mukosa konka inferior atau dasar kavum nasi.³⁵ Kamera gamma ditempatkan di depan wajah untuk merekam distribusi radioisotop secara serial atau kontinu selama $\pm 30\text{--}60$ menit, sementara pasien diminta tidak bersin, menelan berlebihan, atau menghembuskan hidung guna mencegah artefak. Data dianalisis untuk menilai waktu transit radioisotop, kecepatan pergerakan mukus, dan pola clearance mukosiliar. Metode ini bersifat objektif dan kuantitatif, mampu memberikan gambaran dinamis *real-time*, serta sensitif mendeteksi gangguan subklinis, namun memerlukan peralatan khusus, biaya lebih tinggi, tenaga terlatih, dan tidak praktis untuk penggunaan klinis sehari-hari.

Pada kondisi normal, clearance radioisotop dari kavum nasi ke nasofaring terjadi dalam ≤ 30 menit dengan kecepatan transport mukus sekitar 5–10 mm/menit.

Perpanjangan waktu atau retensi $>30\text{--}60$ menit menunjukkan gangguan mukosiliar yang dapat berkaitan dengan disfungsi silia primer, inflamasi mukosa kronik (misalnya rinosinusitis kronik atau rinitis alergi), paparan iritan, infeksi saluran napas atas, atau perubahan viskoelastisitas mukus. Clearance yang sangat lambat atau stagnan mengindikasikan disfungsi mukosiliar berat dan sering berkorelasi dengan kondisi genetik atau inflamasi kronik berat.³⁶

Metode Penilaian Patensi Nasal

Metode Subjektif

1. Visual Analog Scale (VAS)

Visual Analog Scale (VAS) patensi nasal merupakan metode subjektif untuk menilai persepsi pasien terhadap kelapangan jalan napas hidung, yang secara fisiologis berkaitan dengan resistensi aliran udara nasal dan interaksi sensorik mukosa. Persepsi patensi dipengaruhi oleh aliran udara melalui kavum nasi, aktivasi mekanoreseptor dan termoreseptor mukosa, distribusi tekanan serta turbulensi udara, dan status mukosa seperti edema, sekret, serta kongesti vaskular. Meskipun tidak mengukur resistensi atau diameter anatomi secara langsung, VAS merefleksikan integrasi antara fungsi respirasi nasal dan persepsi sensorik pasien sehingga relevan dalam evaluasi gejala klinis dan respons terapi. Penilaian dilakukan dengan meminta pasien memilih angka pada skala 1–10 yang merepresentasikan kondisi hidung saat itu, dengan nilai rendah menunjukkan hidung sangat lapang dan nilai tinggi menunjukkan sumbatan berat (Gambar 9). Penilaian dapat dilakukan unilateral atau bilateral serta sebelum–sesudah intervensi seperti dekongestan atau pembedahan.³⁷



Gambar 9. *Visual Analog Scale*³⁷

Metode ini mudah, cepat, non-invasif, tidak memerlukan alat, berbiaya rendah, dan sensitif terhadap perubahan gejala, namun bersifat subjektif, dipengaruhi faktor psikologis dan ekspektasi pasien, tidak selalu sejalan

dengan resistensi objektif, serta memiliki variabilitas antar individu.³⁸ Secara klinis, skor VAS <2 menunjukkan patensi sangat baik, 2–3 baik, 4–5 sedang, 6–7 buruk, dan 8–10 obstruksi berat. Nilai <6 umumnya mencerminkan patensi adekuat, sedangkan ≥ 6 mengindikasikan peningkatan resistensi aliran udara yang dapat berkaitan dengan edema mukosa inflamasi, kongesti vaskular (misalnya rinitis alergi atau vasomotor), sekret kental, deviasi septum, atau hipertrofi konka. Perubahan skor ≥ 1 –2 poin dianggap bermakna secara klinis dan sering digunakan sebagai parameter keberhasilan terapi medikamentosa maupun bedah pada gangguan obstruksi nasal.³⁸

2. Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE)

Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) merupakan instrumen subjektif terstandar untuk menilai derajat gangguan patensi nasal berdasarkan persepsi pasien dalam aktivitas sehari-hari.³⁹ Secara fisiologis, skor NOSE merefleksikan dampak peningkatan resistensi jalan napas hidung terhadap fungsi respirasi, yang dipengaruhi oleh diameter anatomis kavum nasi, kondisi mukosa (edema dan kongesti vaskular), dinamika aliran udara dan turbulensi, serta aktivasi dan adaptasi neurosensorik mukosa terhadap obstruksi kronik (Tabel 1).⁴⁰

Tabel 1. Instrumen NOSE⁴²

	Not a problem	Mild problem	Moderate problem	Fairly bad problem	Severe problem
Nasal congestion	0	1	2	3	4
Nasal blockage	0	1	2	3	4
Trouble breathing through nose	0	1	2	3	4
Trouble sleep	0	1	2	3	4
Obstruction during exertion	0	1	2	3	4

Berbeda dengan metode objektif yang mengukur parameter fisik, NOSE menangkap konsekuensi fungsional obstruksi nasal terhadap kenyamanan bernapas, tidur, dan aktivitas harian sehingga relevan dalam penilaian kualitas hidup pasien dengan sumbatan hidung.⁴¹ Instrumen ini terdiri dari lima pertanyaan mengenai hidung tersumbat atau mampet,

kesulitan bernapas melalui hidung, gangguan tidur akibat masalah hidung, dan keterbatasan bernapas saat aktivitas atau olahraga. Setiap item dinilai skala 0–4, kemudian skor dijumlahkan (0–20) dan dikalikan lima untuk memperoleh skor akhir 0–100.⁴²

NOSE mudah digunakan, cepat, valid dan reliabel secara internasional, sensitif terhadap perubahan klinis, serta sesuai untuk evaluasi pra- dan pasca intervensi.⁴³ Namun, seperti instrumen subjektif lain, hasilnya bergantung pada persepsi dan kondisi psikologis pasien, tidak mengukur resistensi nasal secara langsung, tidak menentukan lokasi atau etiologi obstruksi, dan memiliki variabilitas antar individu. Secara klinis, skor 0–25 menunjukkan tidak ada atau obstruksi ringan, 26–50 ringan–sedang, 51–75 sedang–berat, dan 76–100 obstruksi berat. Skor ≤ 25 umumnya mencerminkan patensi relatif normal, sedangkan > 50 menunjukkan obstruksi bermakna yang sering berkaitan dengan deviasi septum, hipertrofi konka, rinitis kronik, atau kelainan katup nasal. Penurunan skor ≥ 20 –30 poin setelah terapi medikamentosa atau pembedahan dianggap sebagai perbaikan klinis signifikan.

Metode Objektif

1. Peak Nasal Inspiratory Flow

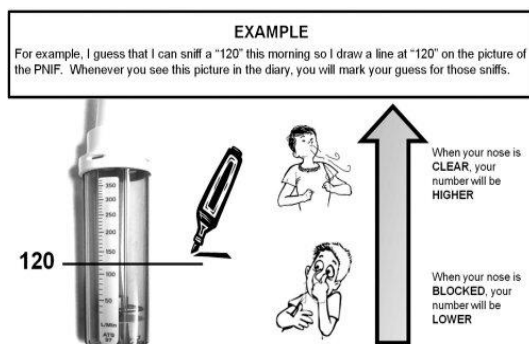
Peak Nasal Inspiratory Flow (PNIF) merupakan metode objektif non-invasif untuk menilai patensi nasal berdasarkan laju aliran inspirasi maksimum melalui hidung.⁴⁴ Secara fisiologis, nilai PNIF mencerminkan interaksi antara diameter dan bentuk anatomi kavum nasi, resistensi jalan napas hidung, kepatuhan dinding nasal, fungsi katup nasal, serta kondisi mukosa seperti edema, kongesti vaskular, dan sekret.⁴⁵ Besarnya aliran inspirasi bergantung pada kemampuan pasien menghasilkan tekanan inspirasi negatif dan pada hambatan aliran sepanjang jalan napas hidung, sehingga penurunan PNIF merefleksikan peningkatan resistensi nasal. Pemeriksaan dilakukan pada posisi duduk atau berdiri dengan masker PNIF menutup rapat hidung sementara mulut tertutup; setelah ekspirasi maksimal, pasien melakukan inspirasi cepat dan kuat melalui hidung (Gambar 10). Manuver diulang tiga

kali dengan jeda singkat, dan nilai tertinggi dicatat sebagai hasil PNIF. Pengukuran dapat dilakukan bilateral serta sebelum–sesudah dekongestan untuk menilai reversibilitas obstruksi.



Gambar 10. Ilustrasi Pemakaian PNIF⁴⁴

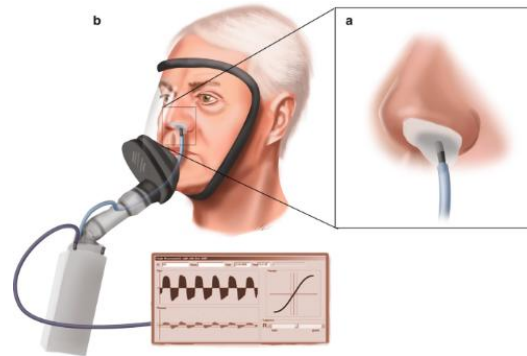
PNIF bersifat objektif, kuantitatif, aman, mudah, cepat, dan berbiaya rendah serta bermanfaat untuk memantau respons terapi, namun bergantung pada usaha dan teknik pasien, dipengaruhi kapasitas paru dan kekuatan inspirasi, tidak spesifik menentukan lokasi obstruksi, serta tidak membedakan penyebab struktural dan fungsional dengan pasti.⁴⁶ Nilai normal bervariasi menurut usia dan jenis kelamin; pada dewasa sehat umumnya sekitar 120–180 L/menit pada laki-laki dan 90–140 L/menit pada perempuan, sedangkan pada anak lebih rendah dan meningkat seiring pertumbuhan (Gambar 11).⁴⁷ PNIF normal atau tinggi menunjukkan patensi nasal baik, sedangkan penurunan nilai mengindikasikan peningkatan resistensi akibat edema mukosa, kongesti vaskular, sekret berlebih, deviasi septum, atau hipertrofi konka. Peningkatan PNIF $\geq 20\%$ setelah dekongestan menunjukkan komponen obstruksi yang bersifat reversibel (vaskular/fungsional).⁴⁸



Gambar 11. Prosedur Penggunaan PNIF⁴⁴

2. Rhinomanometri

Rhinomanometri merupakan metode objektif yang digunakan untuk menilai patensi nasal dengan mengukur hubungan antara tekanan dan aliran udara selama respirasi melalui hidung.⁴⁹ Secara fisiologis, pemeriksaan ini merefleksikan resistensi jalan napas hidung yang dipengaruhi oleh diameter dan konfigurasi anatomi kavum nasi, kondisi mukosa nasal seperti edema atau kongesti vaskular, dinamika aliran udara (laminar maupun turbulen), serta fungsi katup nasal internal dan eksternal. Berdasarkan prinsip aliran fluida, peningkatan resistensi nasal akan menurunkan aliran udara pada tekanan inspirasi atau ekspirasi tertentu; fenomena ini dapat dikuantifikasi secara *real time* melalui rhinomanometri (Gambar 12).



Gambar 12. Prosedur Rhinomanometri⁴⁹

Prosedur rhinomanometri umumnya dilakukan dengan teknik rhinomanometri anterior aktif.⁵⁰ Pasien diposisikan duduk tegak dan nyaman, kemudian salah satu lubang hidung ditutup menggunakan adaptor khusus sementara lubang hidung kontralateral dibiarkan terbuka untuk bernapas normal. Sensor tekanan ditempatkan di vestibulum nasal atau nasofaring, dan pasien diminta bernapas tenang tanpa usaha maksimal. Tekanan serta aliran udara direkam selama fase inspirasi dan ekspirasi, kemudian pemeriksaan diulang pada sisi hidung yang berlawanan. Nilai resistensi nasal dihitung pada tekanan referensi standar, umumnya 150 Pa. Untuk menilai komponen obstruksi yang bersifat reversibel, pemeriksaan dapat diulang setelah pemberian dekongestan.

Sebagai metode evaluasi fungsi hidung, rhinomanometri memiliki sejumlah kelebihan. Pemeriksaan ini bersifat objektif

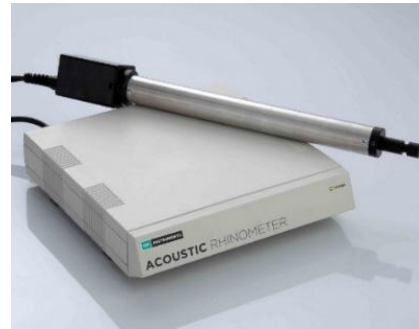
dan kuantitatif karena mengukur resistensi nasal secara langsung, memungkinkan penilaian masing-masing sisi hidung secara terpisah, serta sensitif terhadap perubahan kondisi mukosa nasal. Selain itu, rhinomanometri bermanfaat untuk evaluasi pra- dan pasca intervensi serta membantu membedakan obstruksi yang bersifat struktural dan fungsional.⁵¹ Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan, antara lain kebutuhan alat khusus dan operator terlatih, biaya yang relatif lebih tinggi dibanding metode sederhana, serta hasil yang dapat dipengaruhi oleh teknik pemeriksaan dan kooperasi pasien. Pemeriksaan juga kurang akurat pada obstruksi total, tidak memberikan informasi morfologi anatomi, dan memiliki variabilitas antarindividu yang cukup tinggi.

Nilai resistensi nasal normal pada tekanan referensi 150 Pa secara umum berkisar sekitar 0,20–0,30 Pa/cm³/detik untuk resistensi total dan 0,15–0,25 Pa/cm³/detik untuk resistensi unilateral. Resistensi dalam batas normal menunjukkan patensi nasal adekuat dengan aliran udara relatif lancar. Sebaliknya, peningkatan resistensi nasal mengindikasikan adanya obstruksi yang dapat disebabkan oleh edema mukosa, kongesti vaskular, hipertrofi konka, deviasi septum, atau kelainan katup nasal. Penurunan resistensi setelah pemberian dekongestan menunjukkan bahwa komponen obstruksi terutama bersifat vaskular atau fungsional, bukan struktural.⁵¹

3. Akustik Rhinometri

Akustik rinometri merupakan metode objektif non-invasif yang digunakan untuk mengevaluasi geometri kavum nasi berdasarkan analisis refleksi gelombang suara yang dipancarkan ke dalam rongga hidung (Gambar 13).⁵² Secara fisiologis, pemeriksaan ini mengukur luas penampang melintang (cross-sectional area) dan volume kavum nasi pada segmen tertentu. Gelombang suara yang dipancarkan akan dipantulkan kembali ketika terjadi perubahan diameter atau impedansi akustik di sepanjang kavum nasi; waktu dan amplitudo pantulan kemudian dianalisis untuk merekonstruksi profil anatomi rongga hidung. Dengan

demikian, akustik rinometri memberikan gambaran patensi nasal secara struktural, terutama pada segmen anterior hidung.



Gambar 13. *Acoustic Rhinometer*⁵¹

Prosedur akustik rinometri dilakukan dengan pasien dalam posisi duduk tegak dan bernapas normal. Probe akustik ditempatkan rapat di vestibulum nasal tanpa menekan dinding hidung, kemudian pasien diminta menahan napas sejenak untuk mencegah gangguan suara respirasi. Gelombang suara singkat dipancarkan ke dalam kavum nasi dan pantulan gelombang direkam serta dianalisis oleh perangkat lunak. Pemeriksaan dilakukan pada kedua sisi hidung dan dapat diulang sebelum serta sesudah pemberian dekongestan untuk menilai perubahan mukosa. Parameter utama yang diperoleh meliputi minimal cross-sectional area (MCA) dan volume nasal pada jarak tertentu dari lubang hidung.

Sebagai metode evaluasi anatomi hidung, akustik rinometri memiliki beberapa kelebihan, yaitu bersifat objektif dan non-invasif, tidak memerlukan usaha aktif pasien, cepat dan relatif mudah dilakukan, memiliki reproduksibilitas yang baik, serta memberikan informasi anatomi secara kuantitatif. Namun, pemeriksaan ini juga memiliki keterbatasan, antara lain tidak mengukur aliran udara atau resistensi secara langsung, kurang akurat untuk segmen posterior kavum nasi, dipengaruhi oleh teknik penempatan probe, serta tidak selalu merefleksikan persepsi subjektif pasien terhadap sumbatan hidung.

Nilai normal akustik rinometri bervariasi menurut populasi dan metode, tetapi secara umum minimal cross-sectional area (MCA) pada katup nasal (MCA1) berkisar sekitar 0,5–0,7 cm² dan pada daerah konka inferior (MCA2) sekitar 0,6–

1,0 cm².⁵² Volume nasal pada segmen 0–5 cm dari nares umumnya sekitar 4–6 cm³ per sisi. Nilai MCA dan volume yang berada dalam batas normal menunjukkan patensi nasal struktural yang adekuat. Sebaliknya, penurunan MCA atau volume nasal mengindikasikan obstruksi struktural atau mukosa, seperti deviasi septum, hipertrofi konka, atau edema mukosa. Peningkatan nilai setelah pemberian dekongestan menunjukkan bahwa komponen obstruksi terutama bersifat reversibel atau vaskular.

Metode Penilaian Patensi Nasal

Sensitivitas dan spesifisitas metode penilaian transport mukosiliar dan patensi nasal bervariasi karena masing-masing mengevaluasi aspek fisiologis yang berbeda, baik subjektif, fungsional, maupun struktural.⁵⁵ Uji sakarin memiliki sensitivitas cukup baik untuk mendeteksi gangguan mukosiliar bermakna, tetapi spesifisitasnya rendah karena dipengaruhi persepsi pasien dan tidak dapat membedakan komponen penyebab gangguan.⁵⁶ Sebaliknya, metode objektif seperti scintigraphy radioisotope clearance dan high-speed video analysis menunjukkan sensitivitas dan spesifisitas lebih tinggi dalam menilai fungsi mukosiliar secara kuantitatif, meskipun tidak selalu merefleksikan dampak klinis yang dirasakan pasien. Pada patensi nasal, metode subjektif seperti VAS dan skor NOSE sensitif terhadap perubahan gejala tetapi kurang spesifik terhadap derajat obstruksi anatomis, sedangkan rhinomanometri dan akustik rinometri lebih spesifik terhadap resistensi dan geometri kavum nasi. PNIF berada di antara keduanya, cukup sensitif terhadap perubahan patensi global namun kurang spesifik dalam menentukan lokasi atau etiologi obstruksi.

Ketersediaan alat sangat memengaruhi pemilihan metode dalam praktik. Metode sederhana seperti uji sakarin, VAS, dan NOSE memiliki aksesibilitas tinggi karena tidak memerlukan peralatan khusus dan dapat digunakan di hampir semua fasilitas kesehatan, sehingga sering menjadi alat skrining dan pemantauan terapi. PNIF juga relatif mudah diakses karena alat portabel dan biaya rendah. Sebaliknya,

rhinomanometri dan akustik rinometri memerlukan perangkat khusus dan operator terlatih sehingga umumnya tersedia di pusat rujukan. Metode kompleks seperti scintigraphy dan analisis video silia berkecepatan tinggi memiliki keterbatasan ketersediaan terbesar karena membutuhkan fasilitas kedokteran nuklir atau laboratorium khusus, sehingga lebih banyak digunakan dalam penelitian daripada praktik klinis rutin.

Perbedaan karakteristik tersebut tercermin pada aplikasinya. Dalam praktik klinis, metode yang praktis dan cepat seperti uji sakarin, VAS, NOSE, dan PNIF lebih sering digunakan karena cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan bermakna dan memantau respons terapi. Rhinomanometri dan akustik rinometri berperan pada layanan spesialisik untuk mengklarifikasi penyebab obstruksi dan evaluasi pra-/pasca intervensi.⁵⁷ Sementara itu, metode berteknologi tinggi seperti scintigraphy dan high-speed video analysis terutama digunakan dalam penelitian fisiologi mukosiliar karena mampu memberikan data kuantitatif rinci mengenai kecepatan transport mukus dan aktivitas silia.

Relevansi fisiologis tiap metode ditentukan oleh kedekatannya dengan mekanisme biologis yang diukur. Metode yang secara langsung menilai pergerakan mukus atau aktivitas silia memiliki relevansi fisiologis tertinggi terhadap sistem mukosiliar. Uji sakarin memiliki relevansi fisiologis global tetapi terbatas karena tidak memisahkan komponen penyusun MCC. Dalam penilaian patensi, rhinomanometri berkaitan langsung dengan dinamika aliran dan resistensi nasal, sedangkan akustik rinometri merepresentasikan geometri struktural kavum nasi. Sebaliknya, VAS dan NOSE merefleksikan aspek fisiologis integratif berupa persepsi respirasi nasal yang merupakan hasil interaksi aliran udara, reseptor mukosa, dan adaptasi neurosensorik. Dengan demikian, tidak ada satu metode yang sepenuhnya merepresentasikan seluruh fisiologi hidung; kombinasi metode subjektif dan objektif sering diperlukan untuk memperoleh gambaran fungsi nasal yang komprehensif.



Metode Penilaian Patensi Nasal

Pemilihan metode penilaian transport mukosiliar dan patensi nasal perlu disesuaikan dengan tujuan evaluasi, karena setiap metode merepresentasikan aspek fisiologis yang berbeda. Dalam praktik klinis, tujuan utama adalah mendeteksi gangguan yang bermakna dan memantau respons terapi, sehingga metode sederhana dan mudah diakses seperti uji sakarin, VAS, skor NOSE, dan PNIF umumnya sudah memadai untuk memberikan gambaran fungsi nasal secara global dan relevan terhadap keluhan pasien. Bila diperlukan analisis yang lebih spesifik, terutama untuk membedakan komponen obstruksi struktural dan fungsional, metode objektif seperti rhinomanometri dan akustik rinometri lebih sesuai karena mampu mengkuantifikasi resistensi dan geometri kavum nasi secara lebih rinci. Dalam penelitian, tujuan evaluasi biasanya berfokus pada mekanisme fisiologis dan perubahan fungsi kuantitatif, sehingga metode dengan objektivitas dan reproduibilitas tinggi seperti scintigraphy radioisotope clearance dan high-speed video analysis lebih diutamakan meskipun kompleks.

Mengingat kompleksitas fisiologi hidung, kombinasi beberapa metode sering memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan satu uji tunggal. Dalam praktik klinis, integrasi uji subjektif (VAS, NOSE) dengan metode objektif (PNIF, rhinomanometri, akustik rinometri) membantu menghubungkan keluhan pasien dengan temuan fisiologis. Pada evaluasi transport mukosiliar, uji sakarin dapat digunakan sebagai skrining awal, sedangkan pemeriksaan objektif lanjutan seperti scintigraphy atau analisis video silia memberikan pemahaman mekanisme gangguan secara lebih rinci. Pendekatan multimodal ini meningkatkan akurasi interpretasi dan relevansi klinis. Dalam penelitian, kombinasi data subjektif dan objektif juga meningkatkan validitas hasil serta keterkaitan dengan praktik klinis.

Perkembangan ilmu fisiologi hidung membuka peluang pengembangan metode penilaian yang lebih integratif dan representatif. Arah potensial mencakup integrasi penilaian struktural, resistensi aliran, dan aktivitas mukosiliar dalam satu

platform, sehingga fungsi nasal dapat dievaluasi secara simultan dan tidak terfragmentasi. Kemajuan pencitraan resolusi tinggi dan analisis digital berbasis komputasi atau kecerdasan buatan berpotensi meningkatkan objektivitas serta standarisasi evaluasi gerak silia. Selain itu, pengembangan perangkat portabel untuk pemantauan fungsi nasal secara berkelanjutan dalam kondisi aktivitas sehari-hari dapat memberikan gambaran fisiologis yang lebih realistis dibandingkan pemeriksaan statis. Ke depan, metode yang menggabungkan ketepatan fisiologis, kemudahan penggunaan, dan ketersediaan alat diharapkan mampu menjembatani kebutuhan penelitian dan praktik klinis dalam evaluasi transport mukosiliar serta patensi nasal.

KESIMPULAN

Transport mukosiliar dan patensi nasal merupakan dua komponen fisiologis utama yang saling berkaitan dalam menjaga fungsi respirasi dan pertahanan saluran napas atas. Gangguan pada salah satu mekanisme tersebut dapat memengaruhi keseimbangan fisiologis hidung secara keseluruhan dan berkontribusi terhadap berbagai kondisi patologis, baik akut maupun kronik.

Berbagai metode penilaian transport mukosiliar dan patensi nasal telah dikembangkan dengan prinsip fisiologis, tingkat objektivitas, serta aplikasi klinis yang berbeda. Metode klinis sederhana dan penilaian subjektif memiliki nilai praktis tinggi dalam praktik sehari-hari, sementara metode objektif memberikan gambaran fisiologis yang lebih akurat dan terukur. Namun, tidak terdapat satu metode yang mampu merepresentasikan seluruh aspek fungsi nasal secara utuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. Freeman SC, Karp DA, Kahwaji CI. Physiology, Nasal. *StatPearls*. 2023.
2. Aji YGT, Silaban MDP, Irawati D, Siagian NRN, Siringoringo SN, Manoppo ESA, et al. Dasar-Dasar Ilmu Biomedik- Struktur Dan Fungsinya. *Yayasan Kita Menulis*, 2023.
3. Adivitiya, Kaushik MS, Chakraborty S, Veleri S., Kateriya S. Mucociliary Respiratory Epithelium Integrity in



- Molecular Defense and Susceptibility to Pulmonary Viral Infections. *Biology (Basel)*. 2021;10(2):95.
4. Kuek LE, Lee RJ. First contact: the role of respiratory cilia in host-pathogen interactions in the airways. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2020;319(4):L603.
 5. Advin T, Hafiz A, Revilla G. Hubungan Nasal Index dengan Fungsi Respiratori Hidung : Sebuah Tinjauan Sistematis. *SJSTK*. 2025;2(1):33-41.
 6. Dumitru CS, Zara F, Novacescu D, Szekely D, Iovanescu D, Iovanescu G, et al. Pregnancy Rhinitis: Pathophysiological Mechanisms, Diagnostic Challenges, and Management Strategies-A Narrative Review. *Life (Basel)*. 2025;15(8):1166.
 7. Lestari WS, Maulina N, Zachraeni I. Waktu Laju Transportasi Mukosiliar Hidung pada Penderita Rinosinusitis Kronik di RSUD Cut Meutia. *GALENICAL: JKKMM*. 2024;3(1):1-14.
 8. Guo TJF, Singhera GK, Leung JM, Dorscheid DR. Airway Epithelial-Derived Immune Mediators in COVID-19. *Viruses*. 2023;15(8):1655.
 9. Irfandy D. Transpor Mukosiliar pada Septum Deviasi. *Fakultas Kedokteran Universitas Andalas*. 2021;1-15.
 10. Abrami M, Biasin A, Tescione F, Tierno D, Dapas B, Carbone A, et al. Mucus Structure, Viscoelastic Properties, and Composition in Chronic Respiratory Diseases. *Int J Mol Sci*. 2024;25(3):1933.
 11. Ginoski V, Cortés Sánchez JL, Kahlert S, Holthausen JS, Grześkowiak Ł, Zentek J, et al. Goblet Cells and Mucus Composition in Jejunum and Ileum Containing Peyer's Patches and in Colon: A Study in Pigs. *Animals (Basel)*. 2025;15(19):2852.
 12. Cell Biology Term. Ciliary Movement. 2026. Available from: <https://fiveable.me/key-terms/cell-biology/ciliary-movement>.
 13. Biology Exams 4 U. Cilia and Flagella Movement. 2026. Available from: <https://www.biologyexams4u.com/2013/10/cilia-and-flagella-movement.html>.
 14. Ambrogi M, Vezina CM. Roles of airway and intestinal epithelia in responding to pathogens and maintaining tissue homeostasis. *Front Cell Infect Microbiol*. 2024;14:1346087.
 15. Khadijah S, Astuti T, Widaryanti R, Ratnaningsih E. Buku Ajar Anatomi & Fisiologi Manusia. *Respati Press*. 2020;(September):1-342.
 16. Cao Y, Chen M, Dong D, Xie S, Liu M. Environmental pollutants damage airway epithelial cell cilia: Implications for the prevention of obstructive lung diseases. *Thorac Cancer*. 2020;11(3):505.
 17. Carlier FM, de Fays C, Pilette C. Epithelial Barrier Dysfunction in Chronic Respiratory Diseases. *Front Physiol*. 2021;12:691227.
 18. Johnsen SG. Computational Rhinology: Unraveling Discrepancies between In Silico and In Vivo Nasal Airflow Assessments for Enhanced Clinical Decision Support. *Bioengineering (Basel)*. 2024;11(3):239.
 19. Sobiesk JL, Munakomi S. Anatomy, Head and Neck, Nasal Cavity. *StatPearls*. 2023.
 20. Carrick FR, Daniels P, Pelletier S, Prymakova S, Hankir A, Abdulrahman M, et al. The Exchange Breathing Method for Seizure Intervention: A Historical and Scientific Review of Epilepsy and Its Evolving Therapeutic Paradigms. *J. Pers. Med*. 2025;15(8):385.
 21. Franco I. Anatomy, physiology, and evaluation: Bowel, bladder, and sexual disorders. *Handb Clin Neurol*. 2023;196:403-423.
 22. Leader P, Geiger Z. Vasomotor Rhinitis. *StatPearls*. 2023.
 23. Balansa DM, Wowor VNS, Gosai SM. Pengaruh Kebiasaan Bernapas Melalui Mulut terhadap Terjadinya Maloklusi. *e-GiGi*. 2023;11(2):170-175.
 24. Atishkumar G, Yogesh P, Kumar D. Study of Mucociliary Clearance by Use of Saccharin Test in Nasal Pathologies. *Int. J. Pharm. Clin. Res*. 2024;16(9):1130-1138.



25. Ramesh C, Ramesh C. The Impact of Smoking on Nasal Mucociliary Clearance Time. Smoking - A Public Health Concern [Working Title] 2025.
26. Guy RC. Saccharin. Encyclopedia of Toxicology, Fourth Edition. 2023;1-9 (8):377-379.
27. Maharani I, Tallane ST. The saccharin test in chronic rhinosinusitis at Dr. Saiful Anwar General Hospital Malang. *ORLI*. 2025;55(1):14–18.
28. Reula A, Pitarch-Fabregat J, Milara J, Cortijo J, Mata-Roig M, Milian L, et al. High-Speed Video Microscopy for Primary Ciliary Dyskinesia Diagnosis: A Study of Ciliary Motility Variations with Time and Temperature. *Diagnostics*. 2021;11(7):1381.
29. Roth D, Şahin AT, Ling F, Tepho N, Senger CN, Quiroz EJ, et al. Structure and function relationships of mucociliary clearance in human and rat airways. *Nat. Commun*. 2025;16(1):2446.
30. Cleveland Clinic. Primary Ciliary Dyskinesia (PCD): Symptoms & Treatment. 2026. Available from: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22585-primary-ciliary-dyskinesia>.
31. Fawcett LK, Turgutoglu N, Allan KM, Belessis Y, Widger J, Jaffe A, et al. Comparing Cytology Brushes for Optimal Human Nasal Epithelial Cell Collection: Implications for Airway Disease Diagnosis and Research. *J. Pers. Med*. 2023;13(5):864.
32. Chen Y, Du L, Tian Y, Zhu P, Liu S, Liang D, et al. Progress in the Development of Detection Strategies Based on Olfactory and Gustatory Biomimetic Biosensors. *Biosensors (Basel)*. 2022;12(10):858.
33. Kapania EM, Stern BM, Sharma G. Primary Ciliary Dysfunction. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.
34. Uzeloto JS, Ramos D, Silva BS, Lima MBP, Silva RN, Camillo CA, et al. Mucociliary Clearance of Different Respiratory Conditions: A Clinical Study. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2020;25(1):e35.
35. Marthin JK, Nielsen KG, Mortensen J. Quantitative ^{99m}Tc-albumin colloid nasal mucociliary clearance as an outcome in primary ciliary dyskinesia. *ERJ Open Res*. 2023;9(5):00345–02023.
36. Anonymous. Aging Diminishes Mucociliary Clearance of the Lung. *Adv Geriatr Med Res*. 2022.
37. Rathore HS, Mukhtar A, Saeed S, Ijaz U, Javaid M, Ghaus I. Application of autologous serum eye drops after pterygium surgery. *Pak. Armed Forces Med. J*. 2021;71(5):1563–1566.
38. Shukla RH, Nemade SV, Shinde KJ. Comparison of visual analogue scale (VAS) and the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) score in evaluation of post septoplasty patients. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2020;6(1):53.
39. Pachebat N, Mcheik JN, Fieux M, Favier V, Binet A, Dufour X, et al. Objective Evaluation of Nasal Obstruction in Cleft Lip and Palate Patients: A Preliminary Study. *J Pers Med*. 2025;15(9):403.
40. Portillo-Vásquez AM, Jiménez-Chobillón MA, Santillán-Macias A, Cristerna-Sánchez L, Castorena-Maldonado AR. Validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation Scale in Mexican Adults. *Arch Med Res*. 2022;53(3):329–335.
41. Guevara FL, Peláez AR, Soto-Junco EJ, Araya DS, Torres ES, Orias SD. Clinical Impact of Nasal Obstructive Syndrome and Its Current Management Strategies. *Cureus*. 2025;17(8):e90762.
42. Sunnergren O, Pakpour AH, Bergquist H, Sahlstrand-Johnson P, Stjärne P, Broström A. Validation and psychometric evaluation of the Swedish version of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation scale. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2023;8(2):357-366.
43. Riyanti N, Huriyati E. Rinitis Gustatori. *JOKLI*. 2023;2(1):94-103.
44. Xavier R. Peak Nasal Inspiratory Flow (PNIF) for Nasal Breathing Evaluation. *FPS*. 2024;40(3):310–313.



45. Faathira KR, Asyari A, Afdal A. Analisis Nilai Peak Nasal Inspiratory Flow pada Kejadian Rinitis Alergi. *JOKLI*. 2023;2(1):40-45.
46. Wise SK, Damask C, Roland LT, Ebert C, Levy JM, Lin S, et al. International consensus statement on allergy and rhinology: Allergic rhinitis-2023. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2023;13(4):293–859.
47. Hendradewi S. Correlation between Nasal Patency and Chronic Rhinosinusitis based on Peak Nasal Inspiratory Flow and Sino-Nasal Outcome Test-22. *IBEHS*. 2024;13(1):7–10.
48. Kirtsreesakul V, Leelapong J, Ruttanaphol S. Correlation Between Peak Nasal Flow Reversibility and Mucociliary Clearance in Allergic Rhinitis. *Laryngoscope*. 2020;130(6):1372–1376.
49. Castellanos MFI, Silva HJD, Moura SRC, Fontes LBC, Lima NS, Bezerra TFP, et al. The Use of Rhinomanometry in Mouth Breathing: A Systematic Review of the Literature. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2024;28(4):e720-e727.
50. Patil N, Jain S. Rhinomanometry: A Comprehensive Review of Its Applications and Advancements in Rhinology Practice. *Cureus*. 2024;16(5):e61370.
51. Aghayarov ÖY, Çukurova İ. Acoustic Rhinometry and Rhinomanometry. *Airway Diseases*. 2023;3(1):115–127.
52. Krzych-Fałta E, Szczęsnowicz-Dąbrowska P, Samoliński B, Grzanka A, Wojas O. The normal ranges of selected acoustic rhinometry parameters depending on age and sex-component of standarization in nasal provocation test. *Postepy Dermatol Alergol*. 2021;39(1):171.
53. Xi J, Si XA, Malvè M. Nasal anatomy and sniffing in respiration and olfaction of wild and domestic animals. *Front Vet Sci*. 2023;10:1172140.
54. Chegini Z, Noei M, Hemmati J, Arabestani MR, Shariati A. The destruction of mucosal barriers, epithelial remodeling, and impaired mucociliary clearance: possible pathogenic mechanisms of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* in chronic rhinosinusitis. *Cell Commun. Signal*. 2023;21(1):306.
55. Hill DB, Button B, Rubinstein M, Boucher RC. Physiology and pathophysiology of human airway mucus. *Physiol Rev*. 2022;102(4):1757–1836.
56. Julianda W, Huriyati E. Rinitis Alergi pada Anak. *JOKLI*. 2023;2(1):55-64.
57. Naito K, Horibe S, Tanabe Y, Kato H, Yoshioka S, Tateya I. Objective assessment of nasal obstruction. *Fujita Med J*. 2022;9(2):53.

