

Multichannel Intraluminal Impedance-pH: Tinjauan Naratif tentang Peran dan Aplikasinya dalam Diagnosis Penyakit Refluks Gastroesofagus pada Anak

Mega Septiana, Badriul Hegar

Departemen Ilmu Kesehatan Anak Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/Rumah Sakit Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta

Latar belakang. Pemeriksaan pH-metri konvensional terbatas karena hanya mendeteksi refluks asam, sedangkan MII-pH mampu mendeteksi refluks asam maupun non-asam serta mengaitkannya dengan gejala.

Tujuan. Merangkum bukti terkini mengenai prinsip, indikasi, teknik, serta kelebihan dan keterbatasan MII-pH pada anak.

Metode. Penelusuran pustaka dilakukan melalui PubMed, Embase, The Cochrane Library, dan portal jurnal pediatrik nasional. Artikel yang relevan ditelaah secara naratif.

Hasil. MII-pH dapat mendeteksi berbagai jenis refluks, menentukan arah dan ketinggian refluks, serta mengevaluasi klirens bolus esofagus. Meskipun demikian, pemeriksaan ini masih terbatas karena ketersediaan alat, kebutuhan keahlian interpretasi, dan ketidaknyamanan prosedur.

Kesimpulan. MII-pH merupakan modalitas yang lebih akurat dibandingkan pH-metri konvensional dan dapat berperan menjadi teknologi diagnostik yang mengubah cara memahami dan mengobati penyakit refluks gastroesofagus pada anak. **Sari Pediatri** 2025;27(3):202-10

Kata kunci: refluks, gastroesofageal, pH-impedans, anak

Multichannel Intraluminal Impedance-pH: A Narrative Review on Its Role and Application in the Diagnosis of Gastroesophageal Reflux Disease in Children

Mega Septiana, Badriul Hegar

Background. Conventional pH monitoring is limited as it only detects acid reflux, whereas MII-pH can detect both acid and non-acid reflux and correlate them with symptoms.

Objective. To summarize current evidence regarding the principles, indications, techniques, and the strengths and limitations of MII-pH in children.

Method. Literature searches were conducted through PubMed, Embase, The Cochrane Library, and national pediatric journal portals. Relevant articles were narratively reviewed.

Results. MII-pH can detect various types of refluxes, determine reflux direction and height, and evaluate esophageal bolus clearance. This examination is useful, but its use remains limited due to equipment availability, the need for expert interpretation, and patient discomfort.

Conclusion. MII-pH is a more accurate modality compared to conventional pH-metry and may serve as a diagnostic technology that changes the way gastroesophageal reflux disease in children is understood and managed. **Sari Pediatri** 2025;27(3):202-10

Keywords: gastroesophageal, reflux, pH-impedance, children

Alamat korespondensi: Mega Septiana. Departemen Ilmu Kesehatan Anak Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia/ Rumah Sakit Dr. Cipto Mangunkusumo. Jalan Salemba Raya No. 6, Jakarta. Email: mega.septiana01@ui.ac.id

Refluks gastroesofageal (RGE) adalah salah satu gangguan motilitas esofagus yang sering dijumpai pada anak. Secara definisi, refluks adalah kembalinya isi lambung berupa makanan, minuman, asam lambung, pepsin, asam empedu dan tripsin ke dalam esofagus secara pasif tanpa usaha dari anak. Ini berbeda dengan muntah, yang merupakan pengeluaran isi lambung secara aktif. Jika isi lambung terus masuk ke rongga mulut dan dikeluarkan, itu disebut regurgitasi.

Refluks terjadi karena sfingter esofagus bawah tidak berfungsi dengan baik dan motilitas esofagus tidak mampu membersihkan bolus dengan baik. Pada sebagian besar bayi sehat, refluks ini bersifat fisiologis dan membaik seiring dengan perkembangan sistem gastrointestinal. Namun, pada beberapa kasus, refluks yang menetap dan menyebabkan gejala yang berat dapat berkembang menjadi *gastroesophageal reflux disease* (GERD), yang ditandai dengan kerusakan pada mukosa esofagus.¹

Selama ini, pH-metri konvensional digunakan sebagai standar pemeriksaan objektif untuk menilai refluks. Namun, teknik ini memiliki keterbatasan karena hanya dapat mendeteksi episode refluks yang bersifat asam. Refluks non-asam, yang sering terjadi pada anak, tidak teridentifikasi. Hal ini menyebabkan banyak kasus dengan gejala persisten, tetapi hasil pH-metri menunjukkan nilai normal, sehingga sulit untuk dijelaskan.² Oleh karena itu, saat ini telah dikembangkan pemeriksaan refluks yang menggunakan *multichannel intraluminal-pH* (MII-pH).

Multichannel Intraluminal Impedance-pH (MII-pH) *monitoring* adalah alat pemeriksaan yang mengombinasikan pengukuran impedans dengan *pH-metry* untuk mengevaluasi secara menyeluruh kejadian refluks gastroesofagus. Prinsip kerja MII-pH didasarkan pada perubahan impedans listrik yang terjadi saat bolus refluks, baik yang mengandung cairan atau gas, melintas di sepanjang esofagus. Saluran impedans yang dipasang secara *multichannel* memungkinkan penentuan arah (*antegrade* vs *retrograde*) dan lokasi bolus secara presisi.³⁻⁴

Beberapa keunggulan MII-pH berupa kemampuan deteksi arah pergerakan bolus, jenis komponen refluks (cair, gas, atau campuran), serta menilai keasaman setiap episode refluks. Selain itu, MII-pH juga memberikan gambaran tentang efektivitas klirens bolus esofagus, sehingga secara tidak langsung dapat memberikan petunjuk adanya gangguan motilitas lain, seperti akalasia atau spasme esofagus.³⁻⁶

Suatu studi oleh Iskandar dkk,⁷ menggunakan MII-pH pada 36 anak dengan kecurigaan GERD di Jakarta menunjukkan bahwa sebagian besar episode refluks yang terdeteksi justru bersifat non-asam atau asam lemah. Hal ini terutama terlihat pada kelompok bayi dan anak yang mengonsumsi makanan cair yang sering. Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi refluks pada anak tidak dapat hanya bergantung pada pH-metri konvensional, karena mayoritas refluks yang terjadi tidak bersifat asam.

Meskipun pH-metri konvensional dan MII-pH sama-sama efektif mendeteksi refluks asam, pemantauan MII-pH menawarkan kemampuan deteksi yang jauh lebih komprehensif. Sementara pemantauan pH hanya mengukur keasaman, MII-pH dapat mendeteksi berbagai jenis refluks, termasuk refluks asam superimposisi, non-asam, dan bahkan gas, yang tidak dapat terdeteksi oleh pemantauan pH biasa.

Selain itu, MII-pH memberikan informasi yang lebih detail tentang karakteristik refluks, seperti arah aliran, ketinggian refluks, dan pembersihan bolus dari esofagus. Kemampuan ini sangat penting untuk memahami mekanisme refluks secara keseluruhan.

Berbeda dengan pemantauan pH-metri konvensional yang hanya dapat mengonfirmasi refluks asam dan pembersihan kimiawi, MII-pH mampu memberikan gambaran lengkap tentang setiap episode refluks. Namun, keunggulan ini datang dengan konsekuensi bahwa pemantauan MII-pH secara signifikan lebih mahal dan interpretasinya lebih sulit dibandingkan dengan pemantauan pH-metri yang relatif murah dan mudah. Dengan demikian, pemantauan MII-pH menawarkan diagnosis yang lebih akurat dan menyeluruh, meskipun dengan biaya dan kompleksitas yang lebih tinggi.

Kemampuan MII-pH untuk membedakan antara refluks asam dan non-asam juga berimplikasi pada tata laksana, karena dapat mencegah penggunaan obat penekan asam secara berlebihan pada pasien dengan gejala yang tidak disebabkan oleh refluks asam. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi dalam terapi, tetapi juga menurunkan risiko efek samping jangka panjang dan beban biaya medis.⁵⁻⁶

Meskipun berbagai penelitian telah mendemonstrasikan keunggulan MII-pH dibandingkan pH-metri konvensional, penerapannya dalam praktik klinis sehari-hari masih menghadapi tantangan. Ketersediaan alat yang terbatas, perbedaan protokol di tiap rumah sakit, serta variasi interpretasi hasil membuat pemanfaatan MII-pH belum optimal, khususnya pada populasi pediatrik.

Di sisi lain, bukti ilmiah mengenai profil refluks non-asam pada anak, hubungan refluks dengan gejala respiratorik, serta implikasi hasil MII-pH terhadap keputusan terapi terus berkembang. Oleh karena itu, *narrative review* ini disusun untuk merangkum bukti terkini mengenai prinsip, indikasi, teknik pemeriksaan serta temuan klinis MII-pH pada anak sebagai salah satu panduan pemanfaatan MII-pH pada praktik sehari-hari.

Prinsip kerja dan Komponen Alat MII-pH

Pemantauan dengan MII-pH memadukan pencatatan impedans intraluminal dengan pengukuran pH untuk mengevaluasi kejadian refluks gastroesofagus secara komprehensif. Perangkat MII-pH terdiri dari kateter fleksibel dengan 6-8 pasang elektroda impedans dan 1-2 sensor pH, data *logger* portabel, dan perangkat lunak analisis yang terpasang di komputer atau laptop (Gambar 1).⁸

Impedans intraluminal bekerja berdasarkan prinsip perubahan hambatan listrik yang timbul ketika bolus cairan atau gas melintasi esofagus. Penempatan beberapa elektroda pada kateter memungkinkan penentuan arah pergerakan bolus (antegrad maupun retrograd), jenis komponen refluks (cairan, gas, atau campuran), serta jarak penetrasi bolus di sepanjang esofagus.³⁻⁴

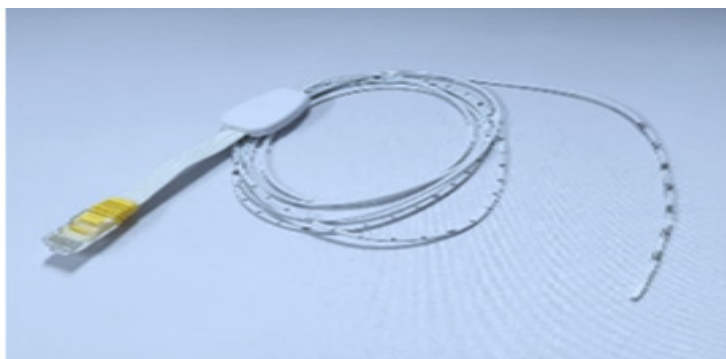
Perubahan impedans ketika bolus makanan melewati esofagus akan terekam melalui serangkaian elektroda logam silindris radiopak yang ditempatkan di area tertentu pada sebuah kateter intraluminal. Elektroda-elektroda tersebut dihubungkan melalui

kabel halus di dalam kateter menuju transduser tegangan dan alat perekam eksternal. Impedans diukur secara bipolar menggunakan pasangan elektroda, di mana setiap pasangan membentuk satu kanal impedans. Setiap kanal ini mengevaluasi impedans pada segmen tertentu, dan panjang total area yang dapat diukur bergantung pada jumlah elektroda serta jarak antar elektroda.³

Konduktivitas udara hampir mendekati nol, sedangkan konduktivitas bolus makanan (susu, saliva, atau isi lambung) relatif tinggi. Sementara itu, konduktivitas dinding otot esofagus berada di antara keduanya. Nilai impedans akan bervariasi sesuai konduktivitas bolus maupun fase kontraksi dinding otot. Impedans menurun saat bolus dengan konduktivitas tinggi (seperti susu, saliva, atau isi lambung) melewati esofagus, dan meningkat saat bolus berupa udara lewat atau saat dinding otot berkontraksi.³

Dengan demikian, perjalanan bolus dapat dibedakan ke dalam lima fase berbeda:³

1. Keadaan istirahat: keadaan impedans basal yang ditentukan oleh dinding otot yang tidak berkontraksi dan memiliki konduktivitas rendah.
2. Peningkatan impedans sementara: keadaan yang terjadi akibat lewatnya sedikit udara yang mendahului bolus.
3. Penurunan impedans mencapai puncak: keadaan saat bolus makanan dengan konduktivitas tinggi melewati segmen pengukuran.
4. Peningkatan impedans kembali: keadaan yang terjadi setelah bolus selesai lewat dan otot esofagus berkontraksi.
5. Kembali ke keadaan istirahat: keadaan saat otot relaksasi.



Gambar 1. Perangkat MII-pH
(kiri: data logger portabel; Kanan: kateter fleksibel dengan 6 elektroda impedans dan 1 sensor pH)

Ilustrasi gelombang impedans selama perjalanan bolus melalui esofagus tertera pada Gambar 2.

Pada MII-pH, pola aliran bolus juga dapat membedakan antara proses menelan dan refluks, dengan penjelasan sebagai berikut:¹⁰⁻¹²

- Menelan (*swallowing*): aliran bolus bergerak dari atas ke bawah (orofaring menuju esofagus distal). Pada grafik impedans, hal ini tampak sebagai penurunan nilai impedans yang muncul berurutan dari kanal proksimal ke distal, seiring masuknya bolus cair/padat. Panah pada gambar menandakan arah aliran menurun (*antegrade*).
- Refluks: aliran bolus bergerak dari bawah ke atas (dari lambung naik kembali ke esofagus). Pada grafik, terlihat penurunan impedans yang muncul lebih dahulu pada kanal distal kemudian diikuti kanal proksimal, menunjukkan arah aliran *retrograde*. Panah mengarah ke atas menegaskan pergerakan isi lambung menuju proksimal esofagus.

Dengan demikian, arah urutan penurunan impedans antar kanal adalah kunci untuk membedakan menelan (*antegrade*) dari refluks (*retrograde*) seperti tertera pada Gambar 3. Pemeriksaan ini sangat membantu dalam menilai frekuensi, sifat, dan hubungan refluks dengan gejala klinis pada anak.

Sementara itu, sensor pH yang terintegrasi akan mendeteksi tingkat keasaman setiap episode refluks.³⁻⁴ Kombinasi kedua parameter yang bekerja secara simultan ini memungkinkan MII-pH tidak hanya

mengidentifikasi refluks asam, tetapi juga non-asam, sekaligus menilai efektivitas klirens esofagus.⁸⁻⁹ Dengan demikian, setiap episode refluks yang terdeteksi melalui analisis impedans dapat dinilai pH minimum yang dicapai selama refluks.

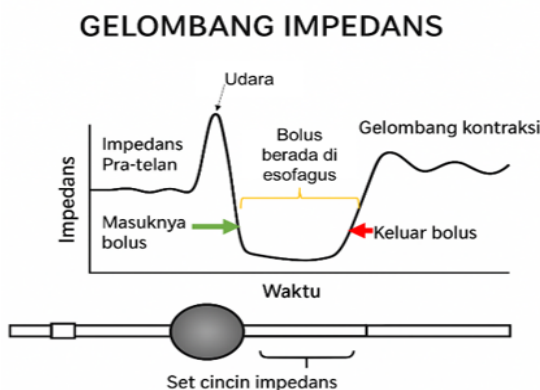
Hal ini memungkinkan klasifikasi refluks menjadi tiga kategori, yaitu asam ($\text{pH} < 4$), asam lemah ($4 \leq \text{pH} \leq 7$), dan basa lemah ($\text{pH} > 7$).³

Indikasi dan Kontraindikasi Pemeriksaan MII-pH

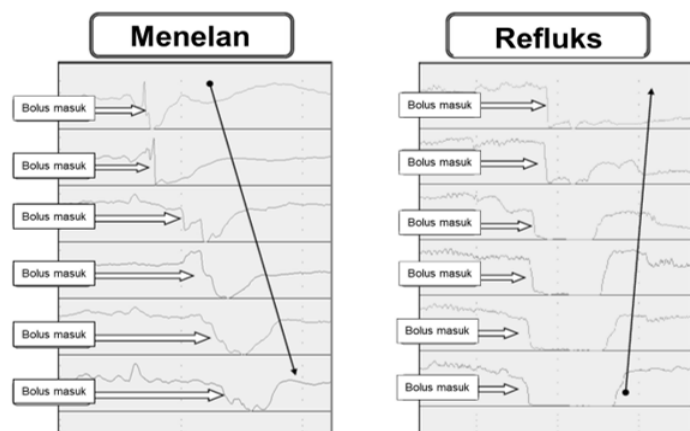
Pemeriksaan MII-pH merupakan metode paling komprehensif saat ini untuk mendeteksi refluks gastroesofageal, baik asam maupun non-asam, serta menilai hubungan temporal antara refluks dan gejala klinis. Selain untuk membantu menegaskan diagnosis terkait keluhan regurgitasi berlebihan, gejala refluks persisten atau atipikal, serta keluhan respirasi kronik, MII-pH juga dapat menjadi pemeriksaan untuk evaluasi respons terapi antirefluks atau mengevaluasi pasien pasca fundoplikasi.^{1-4,7,13} Bahkan, alat ini juga dapat digunakan untuk tujuan penelitian fisiologi esofagus dan karakterisasi refluks asam, non-asam, maupun gas.^{5,6,8-10}

Beberapa keadaan yang dapat menjadi indikasi untuk pemeriksaan MII-pH meliputi:^{2,9,13}

- Gejala refluks gastroesofageal yang tidak khas atau tidak responsif terhadap terapi standar.



Gambar 2. Gelombang impedans selama perjalanan bolus melalui esofagus¹⁰⁻¹²



Gambar 3. Perbedaan pola grafik impedans pada proses menelan dan refluks¹⁰⁻¹²

- Gejala refluks tidak spesifik, seperti batuk kronik, suara serak, mengi, apnea, nyeri dada non-kardiak, atau tangisan berlebihan yang dicurigai berkaitan dengan refluks.
- Bayi dengan regurgitasi atau muntah berulang yang menetap (>12 bulan) atau bila disertai anemia, periode apneu berulang maupun gagal tumbuh.
- Pasien yang tidak menunjukkan perbaikan setelah terapi PPI selama minimal 4 minggu, untuk menilai apakah gejalanya disebabkan refluks asam, refluks non-asam, atau bukan refluks sama sekali.
- Membedakan antara GERD, *hypersensitive esophagus*, dan *functional heartburn*.
- Penilaian pra-operatif sebelum fundoplikasi untuk menilai beban refluks dan hubungannya dengan gejala.
- Penegakkan diagnosis GERD pada anak dengan gangguan neurologis atau penyakit kronik kompleks.
- Gejala respiratorik atau saluran napas atas kronik yang sulit dikontrol seperti asma, laringitis, dan *sleep-disordered breathing* terutama bila dicurigai berkaitan dengan refluks.

Kontraindikasi pemeriksaan MII-pH umumnya bersifat relatif dan prosedur dilakukan dengan pertimbangan risiko serta manfaat. Sejauh ini, tidak ada kontraindikasi absolut pemeriksaan MII-pH yang disebutkan dalam literatur. Meskipun demikian, terdapat beberapa keadaan yang meningkatkan risiko pemasangan kateter, seperti obstruksi atau striktur esofagus, kelainan anatomi berat, serta adanya varises esofagus.^{5-6,10} Pada bayi atau anak dengan instabilitas pernapasan signifikan, indikasi perlu dipertimbangkan secara hati-hati.³⁻⁴ Gangguan koagulasi berat, dan intoleransi berat terhadap kateter transnasal juga menjadi kontraindikasi relatif.⁹

Teknik Pelaksanaan MII-pH

Pemeriksaan MII-pH membutuhkan waktu 24 jam untuk pemantauan refluks pada pasien. Kooperasi pasien dan orang tua menjadi pertimbangan penting terutama pada anak usia dini.

1. Sebelum pelaksanaan MII-pH monitoring

Agar pelaksanaan MII-pH dapat berlangsung dengan

lancar dan hasil dapat diinterpretasi secara akurat serta representatif, maka terdapat persiapan yang harus dilakukan sebelum pemeriksaan, meliputi

- a. Persiapan dan kalibrasi alat
Kalibrasi terhadap sensor pH dan impedans wajib dilakukan dengan mencelupkan kateter ke dalam larutan berskala pH 4 dan pH 7 mengikuti panduan perangkat lunak alat MII-pH yang terpasang pada komputer.¹⁴ Saat melakukan kalibrasi, kateter sudah dihubungkan dengan data *logger* portabel maka ukuran kateter sudah harus dipilih yang sesuai dengan pasien. Pemilihan kateter disesuaikan dengan usia dan tinggi badan anak.¹¹ Kateter MII-pH tersedia dalam berbagai ukuran diameter luar yang umumnya dinyatakan dalam satuan French (Fr) atau milimeter, meskipun dalam praktiknya produsen sering kali membedakan berdasarkan kategori “pediatric” dan “adult catheter” alih-alih menyebutkan ukuran Fr secara eksplisit. Pada populasi pediatrik, kateter dengan diameter kecil (sekitar 6 Fr) digunakan pada bayi untuk meminimalkan ketidaknyamanan dan risiko trauma, sedangkan anak yang lebih besar dapat menggunakan ukuran 7–8 Fr dengan lumen lebih besar untuk meningkatkan kualitas sinyal. Selain ukuran, panjang efektif kateter juga bervariasi untuk menyesuaikan dengan panjang esofagus pada berbagai kelompok usia dan tinggi badan.^{3-4,12,15}

Pemilihan ukuran kateter yang sesuai sangat penting karena akan memengaruhi kenyamanan pasien, kualitas sinyal, serta akurasi interpretasi hasil. Oleh karena itu, rekomendasi internasional menekankan bahwa pemilihan kateter sebaiknya mempertimbangkan usia, tinggi badan, dan indikasi klinis, dengan tetap memastikan bahwa jumlah kanal impedans dan posisi sensor pH dapat memberikan data yang optimal untuk evaluasi refluks gastroesofageal pada anak maupun dewasa.^{2,3,11-12} Sebaiknya, pemeriksaan MII-pH menggunakan kateter sekali pakai untuk mencegah risiko infeksi.^{6,9,11} Panduan pemilihan kateter untuk MII-pH tertera pada Tabel 1.

- b. Persiapan pasien
Sebelum pemeriksaan dilakukan, penjelasan mengenai prosedur dan persetujuan harus dilakukan. Kemudian pasien dipuasakan 4-6 jam sebelum tindakan untuk mencegah muntah

Tabel 1. Panduan memilih kateter MII-pH^{11,12}

Kelompok usia/tinggi badan	Ukuran Kateter (French)	Diameter luar ± (mm)	Panjang (cm)	Jumlah kanal impedans	Jumlah sensor pH
Bayi (<1 th/<75 cm)	6 Fr	2,0 mm	35-45 cm	6-8	1-2
Anak kecil (1-6 th/75-120 cm)	7-8 Fr	2,3-2,7 mm	55-75 cm	6-8	1-2
Anak besar (≥7 th/120-150 cm)	8-10 Fr	2,7-3,3 mm	75-100 cm	6-8	1-2
Remaja/dewasa (>150cm)	10 Fr	3,3 mm	100-120 cm	6-8	1-2

pada saat pemasangan serta menghindari makan makanan atau minuman yang dapat memengaruhi pH esofagus.¹³ Obat supresi asam sebaiknya dihentikan sementara. Golongan antasida dihentikan minimal 24 jam sebelum pemeriksaan, golongan prokinetik dan H₂ blocker minimal 48-72 jam sebelum pemeriksaan sedangkan golongan PPI (*proton pump inhibitor*) minimal 7 hari sebelum pemeriksaan.¹³

2. Pemasangan/insersi kateter MII-pH

Prosedur dilakukan dalam keadaan sadar dengan teknik transnasal seperti melakukan pemasangan selang nasogastrik.^{11,15} Pemasangan kateter dilakukan melalui lubang hidung (nostril), kemudian diarahkan ke esofagus hingga sensor pH elektroda berada sekitar 2 cm di atas sfingter esofagus bawah, atau sekitar dua vertebra di atas diafragma.¹⁴ Letak sensor pH ini tergantung pada tinggi badan pasien.

- Anak dengan tinggi badan <80 cm; sensor pH berada sekitar 2 cm di atas LES.
- Anak dengan tinggi badan 80–120 cm; sensor pH berada sekitar 3 cm di atas LES.
- Anak dengan tinggi 120–150 cm; sensor pH berada sekitar 3–5 cm di atas LES.^{11,15}
- Letak sensor pH ini dapat dievaluasi secara per endoskopi, fluoroskopi maupun konfirmasi posisi menggunakan modalitas foto polos.^{11,15}

Untuk memperkirakan kedalaman penempatan sensor pH ini, Strobel dkk¹⁶ mengembangkan formula yaitu $0,252 \times (\text{panjang badan [cm]} + 5)$, yang telah direkomendasikan oleh ESPGHAN.¹⁷ Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa akurasi formula ini menurun pada ukuran tubuh yang lebih besar, karena cenderung lebih dalam dari seharusnya. Oleh karena itu, penempatan sensor pH yang tepat harus tetap dikonfirmasi secara radiologis melalui fluoroskopi atau sinar-X.¹³

Sampai saat ini, belum ada satu formula yang

terbukti akurat secara universal untuk menghitung kedalaman kateter MII-pH sehingga lokasi sensor pH terletak tepat di posisi yang diinginkan.¹⁸ Meskipun demikian, terdapat estimasi kedalaman kateter MII-pH berdasarkan rentang tinggi badan anak seperti tertera pada Tabel 2. Estimasi kedalaman ini dapat dijadikan sebagai panduan praktis dalam pemasangan kateter MII-pH di lapangan.

Tabel 2. Estimasi kedalaman kateter MII-pH berdasarkan tinggi badan¹⁹

Tinggi badan (cm)	Kedalaman kateter (cm)
56-68	15-17,5
68-80	17,5-20
80-86	20-22,5
86-92	22,5-25
92-98	25-26
98-116	26-27,5
116-128	28-30
128-140	30-32
140-152	32-35
152-176	35-40

3. Selama pemantauan MII-pH

Setelah kateter terpasang, alat tersebut disambungkan ke mesin perekam portabel dan data direkam selama 24 jam. Pastikan alat sudah dalam mode merekam sesuai panduan pada manual alat terkait. Pasien diminta menjalani aktivitas harian normal dan makan sesuai kebiasaan.¹⁵ Orang tua/pengasuh mencatat waktu makan, posisi tubuh, jadwal dan jenis obat harian yang rutin diminum serta gejala yang muncul menggunakan tombol di perangkat dan/atau di buku harian.

4. Setelah pemantauan MII-pH

Setelah 24 jam, kateter MII-pH dapat dilepas dari pasien dan data dari *logger portabel* dipindahkan ke komputer untuk dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus.⁸ Pasien dapat beraktivitas seperti biasa, tidak ada perlakuan khusus pasca pemeriksaan.

Perangkat lunak analisis pada pemeriksaan MII-pH telah dilengkapi dengan fungsi deteksi otomatis episode refluks berdasarkan pola perubahan impedans dan pH. Fitur ini mempermudah proses analisis awal, terutama pada rekaman jangka panjang. Namun demikian, interpretasi hasil sebaiknya tidak hanya bergantung pada analisis otomatis, karena perangkat lunak masih berpotensi mengidentifikasi artefak atau pola non-refluks sebagai episode refluks. Oleh karena itu, setiap hasil yang diperoleh perlu ditinjau ulang secara manual oleh klinisi berpengalaman untuk memastikan bahwa pola yang terdeteksi benar-benar merepresentasikan refluks gastroesofageal.

Selain itu, hasil analisis perlu disesuaikan dengan catatan harian pasien terkait gejala, posisi tubuh, serta waktu makan, sehingga hubungan temporal antara episode refluks dan gejala dapat dievaluasi dengan lebih akurat. Pendekatan ini memungkinkan interpretasi yang lebih komprehensif dan meningkatkan validitas diagnostik pemeriksaan MII-pH.^{2,11-12}

Parameter Refluks pada MII-pH

Beberapa parameter utama dalam pemeriksaan MII-pH tertera pada Tabel 3. Refluks cairan akan terdeteksi bila terdapat penurunan impedans $\geq 50\%$ dari *baseline* pada ≥ 2 kanal distal. Refluks asam bila $\text{pH} < 4$, non asam bila $\text{pH} \geq 4$, asam lemah bila $\text{pH } 4 \leq \text{pH} < 7$ dan basa lemah bila $\text{pH} \geq 7$. Refluks gas akan terdeteksi dari Peningkatan cepat impedans $> 3.000 \Omega$ pada ≥ 2 kanal MII-pH. Nilai ambang normal bervariasi menurut usia. Pada bayi, jumlah episode refluks fisiologis lebih tinggi dan perlu ditafsirkan secara hati-hati.^{4,10-12}

Selain jumlah episode, parameter penting lain adalah *reflux index* (RI), yaitu persentase waktu pH esofagus < 4 selama periode pemantauan. Pada awalnya, RI $> 5\%$ digunakan sebagai batas abnormal pada anak.²⁰ Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa nilai antara 5-10% sering kali bersifat “*intermediate*” dan tidak selalu berkorelasi dengan gejala atau temuan patologis. Oleh karena itu, pedoman terkini menetapkan RI $\geq 10\%$ sebagai ambang yang lebih spesifik untuk paparan asam abnormal, sedangkan RI 5-10% memerlukan interpretasi klinis lebih hati-hati.^{2,21} Penyesuaian ambang ini diharapkan dapat meningkatkan spesifisitas diagnosis serta mengurangi risiko *overdiagnosis*.

Pemeriksaan dengan MII-pH juga dapat

membedakan jenis-jenis GORD (*Gastro-Oesophageal Reflux Disease*). Pada GERD klasik, temuan ditandai dengan adanya kelainan mukosa pada endoskopi/biopsi, paparan asam meningkat pada MII-pH, serta asosiasi gejala yang positif (SAP). Sementara itu, pada NERD (*non-erosive reflux disease*) tidak menunjukkan kelainan endoskopi, tetapi terdapat paparan asam abnormal dengan SAP positif.

Pada refluks hipersensitivitas, hasil endoskopi dan paparan asam normal, tetapi terdapat korelasi temporal signifikan antara gejala dengan refluks (SAP positif). Sementara itu, pada *heartburn* fungsional, tidak ditemukan kelainan baik pada endoskopi, paparan asam, maupun asosiasi gejala.

Dengan demikian, pemeriksaan MII-pH memberikan nilai tambah diagnostik dibandingkan endoskopi atau pH-metri konvensional, karena mampu mengidentifikasi pasien dengan NERD maupun refluks hipersensitivitas yang sebelumnya sulit dibedakan dari *heartburn* fungsional.^{2,19}

Keterbatasan dan Pengembangan di Masa Depan

Multichannel intraluminal impedance-pH (MII-pH) telah menjadi alat penting untuk evaluasi refluks gastroesofageal pada anak, karena mampu memberikan informasi detail mengenai refluks asam maupun non-asam.²⁻⁴ Namun, penggunaan alat ini masih menghadapi beberapa keterbatasan, yaitu

Pertama, interpretasi rekaman MII-pH membutuhkan keahlian khusus dan korelasi dengan gejala pasien atau catatan orang tua, karena analisis otomatis oleh perangkat lunak dapat salah mengklasifikasikan kejadian refluks.^{3,5,12}

Kedua, data normal untuk berbagai kelompok usia masih terbatas sehingga sulit membedakan refluks fisiologis dan patologis.^{6,7,15}

Ketiga, pemasangan kateter untuk jangka panjang dapat menyebabkan ketidaknyamanan yang memengaruhi pola makan dan tidur selama pemantauan.^{4,7}

Keempat, alat MII-pH tidak tersedia secara merata di berbagai pusat kesehatan, sehingga akses untuk pasien terbatas.^{3,6}

Kelima, prosedur ini relatif sulit digunakan, terutama pada bayi dan anak kecil, dan memerlukan staf terlatih untuk akuisisi dan interpretasi data.^{4,7}

Meski dengan segala keterbatasan, studi terbaru menunjukkan bahwa MII-pH memiliki potensi besar untuk mendukung penerapan *precision medicine* dalam penanganan refluks gastroesofageal pada anak. *Precision medicine* adalah pendekatan medis yang menyesuaikan diagnosis dan pengobatan berdasarkan karakteristik individu pasien, termasuk faktor genetik, biomarker, dan pola refluks spesifik.²⁻³ Hal ini termasuk penggunaan protokol standar untuk pengambilan data dan interpretasi hasil, sehingga evaluasi menjadi lebih konsisten dan akurat.^{11-14,17}

Di masa depan, pengembangan teknologi dapat mencakup penggunaan sensor non-invasif atau minimal invasif (misalnya sensor yang menempel di kulit atau mini sensor di rongga mulut untuk mendeteksi pH dan refluks), algoritma perangkat lunak yang lebih canggih untuk analisis otomatis, serta penelitian multisenter yang lebih luas untuk menetapkan data normal yang lebih lengkap pada berbagai kelompok usia anak.^{3,6,12} Kemajuan ini diharapkan dapat meningkatkan manfaat klinis MII-pH dan memperluas penggunaannya, baik untuk penelitian maupun praktik klinik rutin.

Tabel 3. Definisi dan referensi parameter refluks pada pemeriksaan MII-pH

Parameter	Definisi	Referensi
Jumlah total episode refluks ¹⁰⁻¹²	Total seluruh episode refluks (asam dan non-asam) yang terekam selama 24 jam	Bayi <1 tahun: <100 Anak ≥1 tahun: <70
Proporsi refluks non-asam ¹⁰⁻¹²	Persentase episode refluks dengan pH ≥4 dibanding total refluks	Belum ada nilai standar; sering meningkat pada pasien dengan terapi PPI
Jumlah episode refluks asam ¹⁰⁻¹²	Total episode refluks yang bersifat asam	Bayi <1 tahun: 80 Anak ≥1 tahun: 50
Episode refluks mencapai esofagus proksimal ²	Jumlah episode yang mencapai bagian proksimal esofagus (2–3 cincin paling atas)	Belum ada nilai standar; bila tinggi, bisa berkaitan dengan gejala respiratori
Durasi episode refluks terlalu lama ¹³	Lamanya satu episode refluks terpanjang	Belum ada nilai standar; >5 menit dianggap signifikan
Indeks refluks (<i>Reflux Index/RI</i>) ¹⁰⁻¹²	Persentase total waktu paparan esofagus terhadap pH <4 selama 24 jam	Bayi <1 tahun: <10% Anak ≥1 tahun: <6%
Waktu pembersihan bolus ¹⁰⁻¹²	Waktu yang dibutuhkan untuk pembersihan bolus dari esofagus dihitung dari onset penurunan impedans ≥50% pada kanal distal sampai kembali ke <i>baseline</i> .	Panjang episode normal: umumnya <20 detik Abnormal bila memanjang >20 detik
Indeks paparan bolus (<i>bolus exposure index/BEI</i>) ^{2,10-12}	Persentase total waktu esofagus terpapar bolus refluks (asam maupun non-asam)	Normal bila <1%.
<i>Symptom Index (SI)</i> ¹³	Persentase gejala dalam 2 menit dari episode refluks: SI = (jumlah gejala terkait refluks / total gejala) × 100%	SI ≥50% menunjukkan korelasi signifikan
<i>Symptom Sensitivity Index (SSI)</i> ¹³	Persentase episode RGE yang diikuti oleh gejala dalam jendela waktu tertentu.	SSI ≥10% korelasi signifikan
<i>Symptom Association Probability (SAP)</i> ¹³	Probabilitas statistik bahwa gejala berkaitan dengan refluks	SAP ≥95: hubungan yang signifikan secara statistik

Tabel 4. Fenotipe GORD berdasarkan temuan pemeriksaan^{2,19}

Fenotipe	Endoskopi/ Biopsi	pH-MII Paparan Asam	pH-MII SAP
GERD	+	+	+
NERD	—	+	+
Refluks hipersensitivitas	—	—	+
Heartburn fungsional	—	—	—

Kesimpulan

Pemeriksaan MII-pH merupakan modalitas diagnostik esensial untuk mengevaluasi gangguan motilitas esofagus pada anak. Dengan kemampuan mendeteksi refluks asam dan non-asam serta mengaitkan dengan gejala, pemeriksaan ini menjadi teknologi yang mengubah cara memahami dan mengobati penyakit RGE pada anak. Perluasan akses, pelatihan tenaga medis, dan pemanfaatan teknologi analitik lanjutan akan meningkatkan peranannya dalam praktik klinis.

Daftar pustaka

1. Hegar B. Regurgitasi pada bayi: masalah sehari-hari dalam praktik klinis. *Sari Pediatri* 2022;23:365-72.
2. Rosen R, Vandenplas Y, Singendonk M, Cabana M, Di Lorenzo C, Gottrand F, dkk. Pediatric gastroesophageal reflux clinical practice guidelines: joint recommendations of NASPGHAN and ESPGHAN. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2018;66:516-54.
3. Cresi F, Marinaccio C, Maggiora E, Savino F. Multichannel intraluminal impedance and pH monitoring: a step towards precision medicine in pediatric gastroesophageal reflux disease. *Children (Basel)* 2020;7:58.
4. Shin MS. Esophageal pH and impedance monitoring in children. *Pediatr Gastroenterol Hepatol Nutr* 2014;17:13-22.
5. Loots CM, van Wijk MP, Smits MJ, Benninga MA, Omari TI. Measurement of impedance characteristics in the evaluation of esophageal function in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2012;54:748-54.
6. Zerbib F, Roman S, Bruley Des Varannes S, Gourcerol G, Coffin B, Ropert A, dkk. Normal values and day-to-day variability of 24-h ambulatory esophageal impedance-pH monitoring in a Belgian-French cohort of healthy subjects. *Aliment Pharmacol Ther* 2005;22:1011-21.
7. Iskandar SD, Hegar B, Ifran EK, Roeslani RD, Dewi R, Sari TT. Gastroesophageal reflux in premature infants and the incidence of apnea, desaturation, and bradycardia events. *Paediatr Indones* 2025;65:224-31.
8. Sifrim D, Castell D, Dent J, Kahrilas PJ. Gastro-oesophageal reflux monitoring: review and consensus report on detection and definitions of acid, non-acid, and gas reflux. *Gut* 2004;53:1024-31.
9. Bostrom RM, Olsson GL, Stenström P, Abrahamsson H. Clinical value of wireless pH-monitoring of gastroesophageal reflux in children before and after proton pump inhibitors. *World J Gastroenterol*. 2014;20:5143-8. Doi:10.3748/wjg.v20.i17.5143.
10. Vandenplas Y, Salvatore S, Vieira MC, Hauser B. Will esophageal impedance replace pH monitoring? *Pediatrics* 2007;119:118-22.
11. Wenzl TG, Benninga MA, Loots CM, Salvatore S, Vandenplas Y. Indications, methodology, and interpretation of combined esophageal impedance-pH monitoring in children: ESPGHAN EURO-PIG standard protocol. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2012;55:230-4.
12. Mutalib M, Rawat D, Borrelli O, Lindley K, Afzal N, Saliakellis E, dkk. Pediatric multichannel intraluminal pH-impedance monitoring: indications, methods, and interpretation. *Frontline Gastroenterol* 2017;8:225-30.
13. Mousa H, Woodley FW, Metheney M, Hayes J. Testing for GERD in children with chronic respiratory symptoms. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2010;50:305-11.
14. Singendonk MMJ, Jaime F, Salvatore S, Tabbers MM, Benninga MA, Vandenplas Y. Multichannel intraluminal impedance and pH monitoring (pH-MII) in infants and children. Dalam: Vandenplas Y, penyunting. *Gastroesophageal reflux in children*. Cham: Springer; 2017. h.89-110.
15. Omari TI, Barnett CP, Benninga MA, dkk. Mechanisms of gastroesophageal reflux in preterm and term infants with reflux disease. *Gastroenterology* 2002;122:754-61.
16. Strobel D, Widhalm K, Fendel H, dkk. A new formula for the determination of the correct position of the pH sensor in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 1993;17:444-5.
17. Vandenplas Y, Salvatore S, Hauser B. Guidelines for the use of multichannel intraluminal impedance-pH monitoring in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2012;54:151-64.
18. Kim HR, Lee HJ, Kim JY. Clinical characteristics of children with *Helicobacter pylori* gastritis diagnosed by gastrointestinal endoscopy. *Pediatr Gastroenterol Hepatol Nutr* 2025;28:160-5.
19. Mutalib M, Sintusek P, Punpanich D, Thapar N, Lindley K. A new method to estimate catheter length for esophageal multichannel intraluminal impedance monitoring in children. *Neurogastroenterol Motil* 2015;27:728-33.
20. Ghezzi M, Thompson N, Di Lorenzo C. Acid and weakly acid gastroesophageal refluxes and type of reflux disease in infants and children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2011;53:261-7.
21. Yang J, Lee H, Lee J, Youn YM, Choi JH, Kim YJ, dkk. Is the diagnostic trial with proton pump inhibitors a useful approach in children with suspected gastroesophageal reflux disease? *Pediatr Gastroenterol Hepatol Nutr* 2019;22:511-9.