

INTEGRASI ANALISIS UJI CETAK NAPAS BERBASIS E-NOSE SEBAGAI SOLUSI BARU DETEKSI DINI PENYAKIT PARU OBSTRUKTIF KRONIK PADA MASA PANDEMI COVID-19

Ayers Gilberth Ivano Kalaij,¹

Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia,
Jakarta

ABSTRAK

Korespondensi:

Nathaniel Gilbert Dyson

Email Korespondensi:

ayers.gilberth@ui.ac.id

Riwayat Artikel

Diterima: 15 -Agustus- 2021
Selesai revisi: 11-Maret-
2021

DOI :

10.53366/jimki.v9i3.478

Pendahuluan: Sebanyak 64 juta orang telah menderita penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), dan penelitian menunjukkan bahwa 70% pasien PPOK di seluruh dunia tidak terdiagnosis. Deteksi yang adekuat dan cepat sangat krusial dalam menentukan prognosis dari penyakit ini. Namun demikian, berbagai tes fungsi paru masih memiliki berbagai kekurangan. Kondisi pandemi Covid-19 membatasi mobilitas dan meningkatkan resiko paparan polusi udara dalam rumah yang meningkatkan potensi PPOK. Maka demikian, diperlukan alternatif solusi cepat mendeteksi dan skrining terhadap PPOK akibat polusi udara di dalam rumah.

Pembahasan: Teknologi hidung elektronik (*e-nose*) telah terbukti dapat efektif dalam mendeteksi berbagai penyakit respirasi secara akurat. Hal ini dapat menjadi solusi untuk alternatif uji diagnosis PPOK yang selama ini menggunakan spirometri sebagai uji baku emas yang memiliki berbagai kekurangan. Deteksi uji cetak napas berbasis *volatile organic compound* (VOC) dapat menjadi biomarka sensor untuk penyakit pernapasan, bahkan PPOK. Jika diintegrasikan ke dalam sistem layanan kesehatan primer di Indonesia pada masa pandemi Covid-19, dapat menjadi solusi deteksi dini PPOK.

Simpulan: Integrasi sistem *e-nose* berpotensi menjadi solusi deteksi dini dan akurat PPOK yang non-invasif dan ramah bagi pasien dengan berbagai kelebihannya.

Kata Kunci: PPOK, Covid-19, Uji cetak napas, hidung elektronik (*e-nose*)

INTEGRATION OF E-NOSE BASED BREATH-PRINT TEST ANALYSIS: NOVEL SOLUTION FOR EARLY DETECTION OF COPD DURING THE COVID-19 PANDEMIC

Ayers Gilberth Ivano Kalaij, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

ABSTRACT

Background: As many as 64 million people have the chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and research shows that 70% of COPD patients worldwide are undiagnosed. Adequate and fast detection is crucial in determining the prognosis of this disease. However, many lungs function tests still have disadvantages and limitations. The covid-19 pandemic era has limited our mobility and increased the risk of household air-pollution exposure which increases the risk of COPD. Thus, alternative solutions are needed to detect and screen household air pollution-related COPD patients as fast as possible.

Discussion: E-nose technology has been proven to effectively detect various respiratory diseases. This could be the alternative solution to provide COPD diagnostic tests which usually use spirometry with its disadvantages. Breath-print-based VOC detection could be a sensor biomarker for respiratory diseases, even COPD. If this is integrated with primary care systems in Indonesia during the Covid-19 pandemic era, it could be the solution in the early detection of COPD..

Conclusion: Integration of e-nose based breath-print test is potential to be the solution of early and accurate detection of COPD which is non-invasive and patient-well with its advantages.

Keywords: COPD, Covid-19, breath-print test, e-nose

1. PENDAHULUAN

Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) merupakan salah satu penyakit tidak menular paling mematikan di dunia. Penyakit ini merupakan penyakit progresif pada paru yang dapat menyebabkan seseorang hilang napas dan merupakan faktor predisposisi utama terjadinya eksaserbasi dan penyakit yang lebih serius. Berdasarkan data *World Health Organization* (WHO), setidaknya terdapat total 251 juta kasus PPOK secara global hingga tahun 2016. Secara khusus, sekitar 64 juta orang menderita penyakit ini dan 3,2 juta diantaranya meninggal setiap tahunnya. Penyakit ini juga menyumbang 5% dari seluruh penyebab kematian secara global selama tahun 2015.^[1] Di Indonesia sendiri, menurut data RISKESDAS 2018, PPOK merupakan satu dari 4 penyakit tidak menular utama yang 60% menyebabkan kematian di Indonesia.^[2] Meskipun demikian, sebuah studi global oleh Diab *et al* menunjukkan bahwa 70% pasien PPOK di seluruh dunia tidak terdiagnosis akibat berbagai hal yang berkaitan dengan tenaga kesehatan dan faktor risiko terkait pasien.^[3] Hal ini didukung dengan sebuah studi epidemiologi yang menunjukkan bahwa terdapat kemungkinan yang tinggi tidak terdiagnosisnya PPOK pada pasien dengan jenis kelamin laki-laki, usia muda, tidak pernah merokok, pendidikan kurang, kurangnya data spirometri sebelumnya dan *inadequate airway*.^[4]

Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa PPOK sendiri merupakan sebuah penyakit tidak menular yang seringkali terjadi pada negara-negara dengan latar belakang ekonomi menengah ke bawah dengan 90% kematian pada negara-negara tersebut disebabkan oleh beberapa faktor risiko, yang mencakup polusi udara di dalam rumah, merokok baik secara aktif maupun pasif, pembakaran bahan bakar fosil, dan partikel-partikel yang terdapat pada lingkungan okupasional (PM 2.5, ozon, nitrit oksida, *benzopyrene*, dan partikel lainnya). Studi lain juga menunjukkan bahwa salah satu penyebab utama dari penyakit ini adalah polusi udara di dalam rumah.^[5,6]

Deteksi yang adekuat dan cepat pada pasien dengan PPOK merupakan salah satu langkah utama yang sangat krusial dalam rangka menentukan prognosis dari penyakit ini. Beberapa tes fungsi paru seperti spirometri saat ini banyak dilakukan sebagai standar baku emas diagnosis PPOK.^[7] Namun, tes fungsi ini belum memiliki parameter yang spesifik untuk mendeteksi kerusakan perifer untuk saluran udara yang kecil sehingga tidak mampu secara efisien dan akurat menentukan apakah seseorang mengalami PPOK atau tidak. Hal ini membuktikan bahwa metode deteksi dan skrining secara dini, cepat, dan mudah namun non-invasif dan ramah terhadap pasien PPOK masih belum ditemukan. Selain itu, spirometri juga tidak disarankan untuk dilakukan pada beberapa komorbiditas penyakit pernapasan atau metabolik lainnya yang akan memengaruhi hasil spirometri sehingga tidak adekuat untuk dijadikan standar skrining dan diagnosis.^[8,9]

Saat ini, seluruh dunia sedang menghadapi pandemi COVID-19 dimana penyakit hasil infeksi dari virus *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* (SARS-CoV-2) memiliki tingkat penularan yang cukup tinggi di berbagai belahan dunia. Hal ini mendorong beberapa negara menerapkan protokol kesehatan seperti *social distancing* yang mengharuskan segala aktivitas dilakukan di rumah untuk mencegah penyebaran virus ini, termasuk Indonesia.^[10] Hal ini menyebabkan potensi seseorang untuk terpapar pada polusi udara di dalam rumah semakin besar. Paparan yang meningkat akibat aktivitas yang banyak dilakukan di rumah akan meningkatkan potensi seseorang mengalami PPOK yang dapat menyebabkan komplikasi mematikan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif solusi yang lebih efektif dalam mendeteksi dan melakukan skrining terhadap PPOK akibat polusi udara di dalam rumah.

Metode skrining berbasis *Volatile Organic Compounds* (VOC) yang dapat ditemukan pada udara yang dihembuskan pasien dalam rangka menemukan diagnosis yang lebih akurat, mudah,

murah, dan cepat untuk evaluasi inflamasi saluran nafas dan skrining untuk penyakit PPOK, asma, kanker paru, dan penyakit pernapasan lainnya akhir-akhir ini diusulkan oleh berbagai penelitian terbaru. Adapun VOC ini merupakan produk dari metabolisme dan proses inflamasi yang berkaitan dengan perubahan patofisiologis pada saluran pernapasan. Salah satu solusi alternatif dalam skrining PPOK adalah mendeteksi komponen spesifik terhadap penyakit PPOK.^[11]

Selain penggunaan pada penyakit-penyakit tersebut, di era pandemi ini, pemerintah Indonesia baru saja memperbolehkan dan menganjurkan analisis uji cetak napas berbasis hidung elektronik dengan cara kerja yang sama dalam rangka mendiagnosis COVID-19 secara cepat. Tujuan utama dari penemuan alat ini adalah skrining diagnostik COVID-19 secara cepat untuk kemudian diintegrasikan dalam sistem pelayanan kesehatan primer dalam rangka melawan pandemi COVID-19. Oleh karena itu, penulis melihat adanya potensi pengembangan manfaat dari alat ini, yang dapat menjadi solusi untuk dua masalah sekaligus, yakni melawan pandemi COVID-19, sekaligus skrining akurat dan cepat terhadap penyakit PPOK.^[12]

Berdasarkan hal tersebut, penulis melihat adanya potensi integrasi analisis uji cetak napas berbasis hidung elektronik sebagai solusi baru deteksi dini PPOK akibat polusi udara di lingkungan rumah. Dengan mempertimbangan perkembangan-perkembangan pada penyakit saluran napas lainnya, penulis mengajukan gagasan integrasi metode uji cetak napas berbasis hidung elektronik pada layanan kesehatan primer di Indonesia. Sistem integrasi ini berpotensi untuk tidak hanya melakukan non-invasif dan skrining cepat, tetapi juga akurat dan tidak membutuhkan usaha pasien berlebih, terutama dengan adanya perkembangan alat serupa bernama GeNose pada kondisi pandemi COVID-19. Melalui gagasan ini, skrining dan diagnosis terhadap PPOK, terutama di tengah kondisi pandemi COVID-19 ini,

diharapkan dapat dilakukan dengan secara cepat dan lebih akurat.

2. PEMBAHASAN

2.1 Teknologi Hidung Elektronik (e-nose) dalam Mendeteksi Penyakit Respirasi

Hidung elektronik (e-nose) merupakan perangkat penginderaan dan sensor identifikasi kimiawi berbasis elektronik yang menangkap campuran *Volatile Organic Compound* (VOC) yang khas dan menyusun biologi tubuh manusia. Seperti namanya, teknologi ini meniru sistem penciuman mamalia untuk bau dalam mendeteksi VOC dari hasil pernapasan. Hal ini dilakukan melalui deteksi cetakan napas khas yang lebih dikenal dengan *breath-print*. Konsep hidung elektronik sendiri merupakan konsep yang banyak digunakan untuk diagnosis penyakit respirasi secara dini dan efektif berdasarkan patofisiologi penyakitnya. Berdasarkan konsep ini, penyakit-penyakit seperti asma, infeksi pada saluran respirasi, kanker paru (paling sering *Non-Small Cell Lung Cancer* (NSCLC)), *obstructive sleep apnea syndrome* (OSAS), dan penyakit saluran napas lainnya dapat didiagnosis dengan teknologi hidung elektronik. Teknologi ini juga didasarkan pada analisis pola VOC yang khas dari hembusan napas seseorang yang kemudian dideteksi oleh sensor nano dari perangkat ini untuk kemudian ditransmisikan menjadi diagnosis penyakit. Penulis merangkum sensitivitas dan spesifisitas diagnosis berbagai penyakit respirasi dalam **tabel 1**.^[11,13]

Tabel 1: Akurasi Teknologi e-Nose pada Penyakit Respirasi^{11,13}

Penyakit	Hasil Studi
Asma	Asma vs Kontrol (Akurasi 87%) dengan <i>Spironose</i> ; area dibawah kurva ROC 0.94±0.1
Infeksi pada Sistem Respirasi	Deteksi bakteri <i>Mycobacterium tuberculosis</i> (MTB) <i>in vitro</i> (Akurasi 100%);

	<i>In vivo</i> (spesifisitas 89% dan sensitivitas 88% dengan metode sistem <i>nanoarray</i> ; Pneumonia vs kontrol (Akurasi 100%) dengan Cyranose 320
Kanker Paru	<i>Non-Small Cell Lung Cancer</i> (NSCLC) vs Kontrol (Akurasi 80%) dengan Cyranose 320
Mesotelioma Pleural Malignan (MPM)	<i>Mesotelioma Pleural Malignan</i> (MPM) vs Kontrol (Akurasi 84.6%) dengan sensitivitas 92.3% dan spesifisitas 69.2%
Obstructive Sleep Apnea Syndrome (OSAS)	<i>Obstructive Sleep Apnea Syndrome</i> (OSAS) vs Kontrol (sensitivitas 93% dan spesifisitas 70%)
Penyakit Respirasi Lainnya	<i>E-nose breath profiling</i> terbukti dapat mendiagnosis penyakit fibrosis sistik, dyskinesia siliari primer, emboli paru, pasien transplantasi paru, hipertensi arteri pulmoner, sarcoidosis pulmoner, dan <i>acute respiratory syndrome</i> .

2.2 Standar Baku Emas Uji Diagnosis PPOK dan kekurangannya

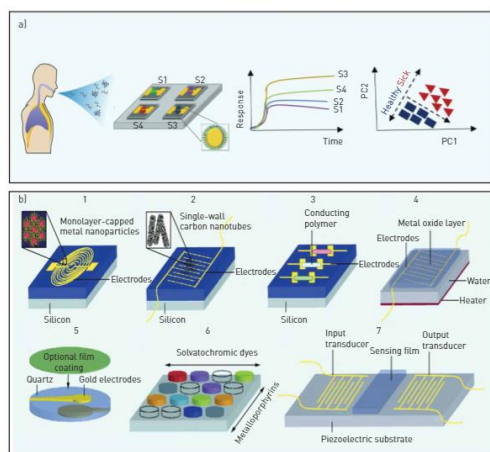
Tes fungsi paru merupakan standar baku emas dalam uji diagnosis PPOK hingga saat ini. Sebuah panduan dari GOLD *international* COPD yang digunakan berbagai negara menganjurkan penggunaan spirometri sebagai uji baku emas untuk melakukan pengukuran fungsi paru yang akurat dan dapat direpetisi.^[7] Namun, faktanya studi menunjukkan bahwa begitu banyak tenaga kesehatan yang hanya memiliki sedikit pelatihan formal mengenai penggunaan alat ini yang menciptakan keterbatasan dari sisi tenaga kesehatan untuk melakukan diagnosis yang akurat dan cepat.^[8] Padahal, studi epidemiologi menunjukkan bahwa diagnosis yang terlambat atau

pasien PPOK yang tidak terdiagnosis sangat umum terjadi, sehingga masih terdapat kekurangan pada penggunaan spirometri ini sebagai standar baku emas diagnosis PPOK.^[8] Selain itu, studi menunjukkan bahwa pemeriksaan algoritma interpretasi spirometri tidak cukup akurat untuk membedakan penyakit asma dengan PPOK misalnya, yang seringkali menghasilkan misklasifikasi penyakit akibat dari diagnosis yang bergantung pada *forced expiratory volume in 1 second* (FEV1) setelah proses bronkodilatasi.^[14] Kajian literatur terbaru juga menunjukkan bahwa spirometri tidak cukup untuk melakukan diagnosis klinis akibat dari kemampuan alat ini yang tidak cukup mampu membedakan antar penyakit respirasi secara spesifik sehingga dibutuhkan pemeriksaan spirometri serial yang membutuhkan waktu lama sehingga dapat menciptakan limitasi dari segi kenyamanan pasien.^[9]

2.3 Volatile organic compound (VOC) sebagai Biomarka Sensor untuk Penyakit Pernapasan berbasis Hembusan Napas

Senyawa organik yang mudah menguap, atau yang lebih dikenal dengan VOC menurut berbagai penelitian ditemukan sebagai metode baru diagnosis penyakit pernapasan yang cepat, bebas risiko, dan berpotensi memiliki harga terjangkau yang berdasarkan pada senyawa organik yang memiliki tekanan uap tinggi pada kondisi sekitarnya. VOC juga menunjukkan perubahan yang berbeda dan segera ketika suatu kondisi patologis muncul dengan mengubah biokimia tubuh dengan satu atau lebih kombinasi proses-proses berikut: stress oksidatif, sitokrom p450, enzim hati, metabolisme lipid, dan metabolisme karbohidrat.^[15] Bagian dari beberapa VOC ini, yang muncul baik dalam sel normal maupun abnormal, merupakan campuran dari berbagai macam komposisi ditambah dengan beberapa komponen sel-sel yang tidak normal.^[16] Setiap penyakit memiliki pola VOC-nya masing-masing, dan oleh karena itu keberadaan suatu penyakit dapat dideteksi melalui pola VOC dengan dua cara, yang meliputi deteksi langsung

dari *headspace* (misalnya campuran VOC yang terperangkap di atas sel-sel abnormal dalam suatu wadah tertutup) atau secara tidak langsung melalui napas yang dihembuskan, darah, atau cairan tubuh lainnya.^[16,17] Oleh karena itu, isolasi dan deteksi VOC pada cairan tubuh manusia dapat berfungsi sebagai jalur deteksi dini penyakit pernapasan dan penyakit lainnya. Pemantauan penyakit pernapasan dengan analisis napas noninvasif dan juga pengambilan sampel napas dapat dilakukan tanpa adanya kehadiran spesialis sebagai teknisi dan ahli yang menunjukkan keunggulan alat ini. Pengguna alat ini hanya dituntut untuk mengambil sampel hembusan napas pada kantung *inert* dan kemudian dianalisis dengan hidung elektronik yang sudah memiliki sensor *array*.^[15-18]



Gambar 1. a: Prinsip dasar *nanomaterial-based sensors array*; **b:** Berbagai macam sensor berbasis nanomaterial¹⁵

Berbagai metode digunakan untuk mengambil sampel, mendeteksi, dan menganalisis VOC yang dihembuskan oleh seseorang yang mengalami penyakit respirasi, salah satunya adalah dengan menggunakan prinsip spektrometri dan spektroskopi. Secara umum, prinsip kerja dari deteksi VOC berdasarkan hembusan didasari pada kedua prinsip tersebut yang diasosiasikan dengan sensor kimiawi yang lebih dikenal dengan *nanomaterial-based sensors array* yang menggunakan berbagai macam sensor berbasis nanomaterial, seperti: (1) resistor kimia berbasis nanopartikel yang bersifat

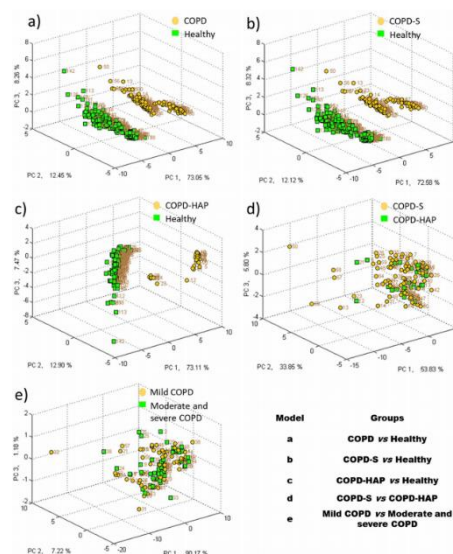
monolayer-capped, (2) resistor kimia berbasis tabung karbon nano dengan dinding satu (*single-wall carbon nanotubes*), (3) resistor kimia berbasis polimer konduksi, (4) resistor kimia berbasis *metal oxide film*, (5) keseimbangan mikro dari *quartz* dengan pelapis yang selektif, (6) sensor *colorimetric*, dan (7) sensor gelombang akustik permukaan.^[15,19]

Deteksi VOC dari hembusan napas dapat dicapai dengan dua strategi penginderaan kimia utama. Pertama, melalui mekanisme selektif dimana sensor kimia dirancang untuk berinteraksi dan mendeteksi keberadaan senyawa tunggal di dalam napas yang dihembuskan. Pendekatan ini, meskipun cukup sensitif, namun cukup rumit karena sintesis kompleks nanomaterial yang terpisah dan sangat selektif untuk deteksi setiap VOC, terutama terhadap target nonpolar. Selain itu, hingga saat ini, tidak ada VOC unik dalam setiap individu yang spesifik terhadap penyakit tertentu. Kedua, pendekatan yang melibatkan serangkaian sensor reaktif silang secara luas yang dikombinasikan dengan metode dari pengenalan pola (gambar 1a). Berbeda dengan metode penginderaan selektif, pendekatan sensor *array*, yang terinspirasi secara biologis dari indera penciuman, mampu mendeteksi komponen dari VOC. Setiap sensor pada pendekatan ini merespon terhadap berbagai VOC yang memungkinkan penginderaan dan analisis dari komponen individual pada setiap campuran senyawa. Mekanisme yang mendasari pendekatan ini tergantung pada sifat sensor yang digunakan (gambar 1b). Sebagai contoh, resistor kimia mengubah listrik mereka karena adanya proses VOC *sorption* pada film organik, atau dengan perubahan sterikal pada lapisan penginderaan yang mempengaruhi transfer muatan antar nanomaterial anorganik (gambar 1b). Sensor akustik mendeteksi perubahan dalam perambatan gelombang akustik melalui atau pada permukaan bahan pelapis sensor akibat adanya VOC *sorption*, sedangkan sensor kolometri didasarkan pada indikator, khususnya pewarna yang bersifat responsif terhadap

zat kimia yang secara kimia bereaksi dan mengubah warna pada paparan VOC, sehingga mampu mengidentifikasi penyakit pada spesies yang terpapar.^[15,18-19]

2.4 Volatile organic Compound (VOC) dan Penggunaannya dalam Mendeteksi PPOK

Penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) sendiri merupakan suatu penyakit yang memiliki hubungan dengan proses inflamasi dari saluran napas dan parenkim paru yang terjadi secara kronik. Proses kronik tersebut kemudian menjadi dasar dari determinasi profil yang spesifik dari VOC yang dihembuskan. Sebuah studi oleh Sibila et al.^[20] menunjukkan bahwa dengan menggunakan *Cyranose 320* (*e-nose* dengan 32 polimer reseptor kimia komposit karbon yang menyerap VOC dan menyebabkan peningkatan resistensi elektrik pada setiap sensor), cetak napas (*breathprint*), PPOK dapat dibedakan dengan seseorang yang sehat sebagai kontrol dengan akurasi 83%. Tidak hanya itu, *e-nose* yang sama juga dapat membedakan PPOK dari asma dengan akurasi 96% dan juga membedakan pasien PPOK dengan perokok yang sehat (akurasi 66%).^[21] Hal ini membuktikan bahwa akurasi PPOK dalam diagnosis dan membedakan dari penyakit lain cukup tinggi yang membuktikan bahwa alat ini sangat potensial untuk digunakan. Selain itu, studi juga menunjukkan bahwa profil hembusan napas dapat digunakan untuk menentukan subtipe PPOK yang beragam sehingga dapat dikaitkan dengan kluster klinis individu dengan gangguan fungsi paru, emfisema, dan bronkitis kronik.^[20,21]



Gambar 2. Analisis model komponen prinsipal dari hembusan napas pasien²⁰

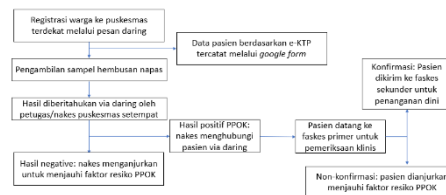
Sebuah studi terbaru oleh Aguilar et al.^[21] pada tahun 2020 menunjukkan bahwa deteksi PPOK melalui metode *e-nose* menunjukkan akurasi yang sangat menjanjikan dengan sensitivitas 100%, spesifisitas 97,8%, nilai prediksi negatif 100%, nilai prediksi positif 96,5%, dan akurasi 98.6% melalui analisis kurva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Analisis model komponen prinsipal dari hembusan napas pasien PPOK beserta subtipe juga menghasilkan hasil yang baik dimana *e-nose* mampu membedakan pasien PPOK dengan pasien sehat, pasien PPOK perokok dengan pasien sehat, dan pasien PPOK akibat polusi udara di dalam rumah dengan pasien sehat. Namun, tidak dapat membedakan secara signifikan pasien PPOK perokok dengan pasien PPOK akibat polusi udara di dalam rumah maupun pasien PPOK ringan dengan PPOK sedang atau berat karena memang tidak terdapat perbedaan hembusan napas pada kedua kelompok yang diuji.^[21]

2.5 Rencana Integrasi Sistem *e-nose* dalam Sistem Layanan Kesehatan Primer di Indonesia pada Masa Pandemi COVID-19

Berdasarkan uraian di atas, penulis merekomendasikan integrasi sistem *e-nose* ke dalam sistem layanan kesehatan primer di Indonesia pada masa pandemi sebagai berikut (Gambar 2). Pertama, warga Indonesia akan diregistrasikan melalui puskesmas terdekat via daring menggunakan *google form* untuk mendapatkan data pasien yang kemudian akan melakukan skrining menggunakan *e-nose* dalam rangka mendeteksi penyakit apa yang dialami, khususnya dalam rangka skrining penyakit COVID-19 di masa pandemi. Adapun pasien yang dapat diskriminasi dengan *e-nose* mencakup: (1) pasien dengan kecurigaan PPOK akibat infeksi bakteri atau virus, (2) pasien yang tidak dapat diperiksa menggunakan spirometri, (3) pasien yang stabil secara klinis, (4) pasien dengan kecurigaan beberapa penyakit pernapasan yang sulit dibedakan karena *overlapping* gejala, dan (5) pasien yang memerlukan hasil yang cepat. Skrining terhadap pasien yang akan diskriminasi menggunakan alat *e-nose* sendiri akan dilakukan menggunakan kuesioner. Kemudian, warga akan diminta untuk melakukan pengumpulan sampel dengan menghembuskan kantung sampel napas. Kemudian, analisis profil hembusan napas akan dilakukan oleh alat *GeNose* yang merupakan *e-nose* yang mampu mendeteksi berbagai penyakit saluran napas. Tahap selanjutnya adalah, pengguna akan dikontak melalui media pesan seperti *whatsapp* untuk memberitahu hasil pemeriksaan dengan *e-nose* pada puskesmas setempat. Jika terdapat warga yang terdeteksi memiliki indikasi mengalami PPOK dari hasil pemeriksaan *e-nose*, maka tenaga kesehatan setempat akan menghubungi pasien via daring untuk datang ke fasilitas kesehatan primer untuk melakukan pemeriksaan klinis lebih lanjut. Jika memang pasien dikonfirmasi mengidap PPOK, maka pasien akan langsung dikoneksikan dengan dokter spesialis

penyakit paru atau penyakit dalam untuk penanganan yang lebih lanjut.

ALGORITMA INTEGRASI SISTEM E-NOSE DALAM SISTEM LAYANAN KESEHATAN PRIMER DI INDONESIA PADA MASA PANDEMI COVID-19



Gambar 2: Algoritma integrasi *e-nose* di Indonesia pada masa pandemi

2.6 Kolaborasi dan Pengembangan Lanjutan

Guna merealisasi rancangan integrasi sistem ini, kolaborasi dengan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia sebagai pembuat kebijakan kesehatan tertinggi di Indonesia dapat dilakukan. Selain itu, kolaborasi dengan mahasiswa Ilmu Komputer maupun Teknik juga diperlukan khususnya dalam mengembangkan alat ini, khususnya pencipta *e-nose* yang akan diintegrasikan ke dalam sistem layanan kesehatan. Ke depannya, kerjasama dengan Pemerintah dapat dilakukan untuk mempromosikan penggunaan alat ini agar dapat digunakan masyarakat secara luas.

3. KESIMPULAN

Integrasi sistem *e-nose* berpotensi menjadi solusi deteksi dini dan akurat PPOK yang non-invasif dan ramah bagi pasien dengan berbagai kelebihannya. Sistem ini menggunakan sistem berbasis deteksi VOC berdasarkan sensor *array* yang sudah disusun dari komposit karbon untuk kemudian meningkatkan resistensi elektrik yang spesifik untuk setiap VOC yang khas terhadap suatu penyakit. Integrasi sistem ini ke dalam sistem kesehatan layanan primer di Indonesia khususnya di masa pandemi diharapkan mampu melakukan diagnosis berbagai penyakit pernapasan hanya dengan satu kali intervensi.

Gagasan ini didukung oleh penelitian-penelitian yang menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan dalam hal penggunaan *e-nose* untuk deteksi dini

pasien PPOK yang non-invasif dan ramah bagi pasien walau belum banyak penelitian yang dilakukan terkait efektivitas alat ini pada berbagai sosiodemografik, khususnya di Indonesia. Dengan penerapan gagasan ini, efisiensi dan keterjangkauan diagnosis pasien PPOK di Indonesia akan dapat ditingkatkan dan pasien PPOK dapat segera ditangani, sehingga dapat menekan angka kematian akibat PPOK.

DAFTAR PUSTAKA

1. World Health Organization (WHO). Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). WHO. 2020 [Cited 30 Jan 2021]. Available from: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructivepulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructivepulmonary-disease-(copd))
2. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian RI. Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas). 2018
3. Diab N, Gershon AS, Sin DD, Tan WC, Bourbeau J, Boulet LP, Aaron SD. Underdiagnosis and Overdiagnosis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018 Nov 1;198(9):1130-1139.
4. Lamprecht B, Soriano JB, Studnicka M, Kaiser B, Vanfleteren LE, Gnatiuc L, et al. Determinants of Underdiagnosis of COPD in National and International Surveys. *Chest*. 2015; 148 (4): 971-985
5. G.B.D.C.R.D. Collaborators. Global, regional, and national deaths, prevalence, disability-adjusted life years, and years lived with disability for chronic obstructive pulmonary disease and asthma, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet Respir Med*. 2017; 5(9): 691-706.
6. Diette GB, Accinelli RA, Balmes JR, Buist AS, Checkley W, Garbe P, et al. Obstructive lung disease and exposure to burning biomass fuel in the indoor environment. *Global Heart*. 2012; 7(3): 265-270
7. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). *GOLD Guideline 1: Spirometry for health care providers*. United States: GOLD Initiative. 2010. [cited June 15, 2021]. Available from: <https://goldcopd.org/gold-spirometry-guide/>
8. Andreeva E, Pokhaznikova M, Lebedev A, et al. Spirometry is not enough to diagnose COPD in epidemiological studies: a follow-up study. *Prim Care Resp Med*. 2017; 27: 62. 12
9. Brusasco V, Barisione G, Crimi E. Pulmonary physiology: future directions for lung function testing in COPD. *Respirology*. 2015; 20(2): 209-218.
10. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. *Pedoman Kesiapsiagaan Menghadapi Infeksi Novel Coronavirus (2019-nCov)*. Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit. 2020. pp. 0-74
11. Dragonieri S, Pennazza G, Carratu P, Resta O. Electronic Nose Technology in Respiratory Diseases. *Lung*. 2017;195(2):157-165.
12. Satgas Klaim GeNose Ampuh Deteksi Covid-19. *CNN Indonesia*. 2020 Jan 28 [cited 30 Jan 2021]. Available from: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20210128095400-20-599378/satgas-klaim-genose-ampuh-deteksi-covid-19>
13. Wilson AD, Baietto M. Advances in electronic-nose technologies developed for biomedical applications. *Sensors*. 2011; 11: 1105-1176.
14. D'Urzo AD, Tamari I, Bouchard J, Jhirad R, Jugovic P. Limitations of a spirometry interpretation algorithm. *Can Fam Physician*. 2011; 57(10): 1153-1156.
15. Broza YY, Haick H. Nanomaterial-based sensors for detection of disease by volatile organic compounds. *Nanomedicine*. 2013; 8: 785-806.

16. Nakhleh MK, Amal H, Jeries R, et al. Diagnosis and classification of 17 diseases from 1404 subjects via pattern analysis of exhaled molecules. *ACS Nano*. 2017; 11: 112–125.
17. Montuschi P, Mores N, Trove A, et al. The electronic nose in respiratory medicine. *Respiration*. 2013; 85: 72–84.
18. Nakhleh MK, Haick H, Humbert M, et al. Volatolomics of breath as an emerging frontier in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir J*. 2017; 49: 1601897
19. Tang Z, Yang J, Yu J, et al. A colorimetric sensor for qualitative discrimination and quantitative detection of volatile amines. *Sensors*. 2010; 10: 6463–6476 13
20. Sibila O, Garcia-Bellmunt L, Giner J et al. Identification of airway bacterial colonization by an electronic nose in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med*. 2014; 108:1608–1614
21. Rodríguez-Aguilar M, Díaz de León-Martínez L, Gorocica-Rosete P, et al. Identification of breath-prints for the COPD detection associated with smoking and household air pollution by electronic nose. *Respir Med*. 2020; 163:105901.