

## CHAPTER 22

### STUDI KASUS PEMANFAATAN *ELECTRONIC NOSE* DAN KECERDASAN ARTIFISIAL DI INDONESIA

**Dedy Rahman Wijaya & Riyanarto Sarno**

Telkom University dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

#### ABSTRAK

Bahan makanan sangat penting bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan nutrisi untuk tumbuh serta menjalankan aktivitas sehari-hari. Tentunya, mengonsumsi bahan makanan yang masih dalam kondisi baik adalah faktor utama dalam mewujudkan tubuh yang sehat. Untuk bahan makanan hewani, diperlukan penanganan khusus karena termasuk bahan makanan yang mudah rusak jika tidak ditangani dengan baik. Bahan makanan hewani merupakan media yang ideal untuk pertumbuhan mikrob, khususnya bakteri yang berkembang biak dengan mengurai nutrisi dan menghasilkan gas dari proses dekomposisi. Dengan demikian, sistem pengujian bahan makanan sangat dibutuhkan untuk memastikan bahan makanan memiliki kondisi yang baik dan layak untuk dikonsumsi. Penelitian ini membahas tentang pengembangan dan potensi *electronic nose* (*e-nose*) dan kecerdasan artifisial untuk metode pengujian kualitas bahan makanan sumber protein yang populer di Indonesia, antara lain daging dan produk hasil laut. Rencana pengembangan meliputi perakitan perangkat keras (*hardware*), akuisisi *dataset*, *training model machine learning*, integrasi perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras, serta pengujian. Hasil eksperimen yang telah dilakukan selama ini menunjukkan bahwa *e-nose* dan kecerdasan artifisial memiliki akurasi tinggi. Pengembangan *e-nose* dan kecerdasan buatan ini bertujuan mewujudkan sistem pengujian yang cepat, akurat, murah, dan berpotensi untuk diterapkan dalam skala luas di Indonesia.

**Kata kunci:** *e-nose*, gas, kecerdasan artifisial, sistem pengujian, bahan makanan

#### A. PENDAHULUAN

Istilah *electronic nose* (*e-nose*) mulai dikenal pada era 1980-an, mengacu pada instrumen yang terdiri dari kumpulan *heterogeneous electrochemical gas sensors* yang berfungsi sebagai parameter masukan pada sebuah sistem pengenalan pola [1]. Mekanisme kerja *e-nose* ini mengadopsi cara kerja indra penciuman pada manusia. Indra penciuman manusia didasarkan pada interaksi kimia antara senyawa yang mengeluarkan bau dan reseptor penciuman di rongga hidung. Hasil penginderaan

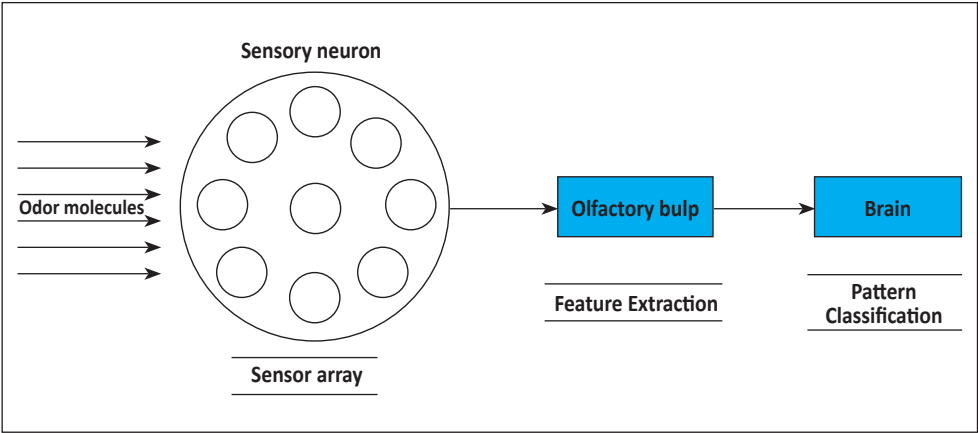
---

D. R. Wijaya & R. Sarno  
Telkom University, e-mail: dedyrw@telkomuniversity.ac.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN  
D. R. Wijaya and R. Sarno, "Studi kasus pemanfaatan *electronic nose* dan kecerdasan artifisial di Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 22, pp. 259-271, doi: 10.55981/brin.668.c558  
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

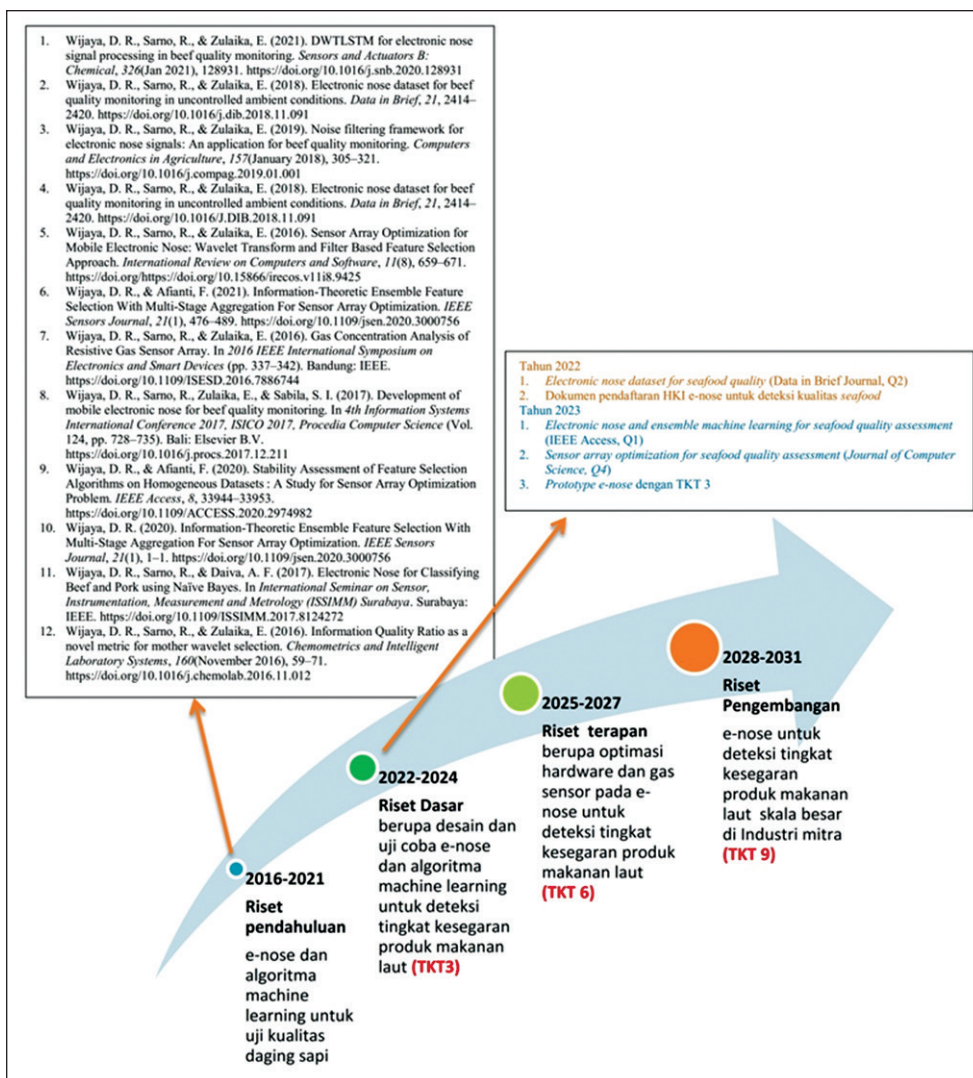
atau penciuman dikirim ke otak melalui sistem saraf untuk kemudian diproses dan diidentifikasi bau apa yang tercium oleh hidung. Menurut Gardner dan Bartlett, *e-nose* didefinisikan sebagai kumpulan sensor kimia gas yang memiliki kemampuan deteksi dan pengukuran senyawa volatil pada suatu sampel yang dikombinasikan dengan sistem pemrosesan data statistik multivariat terkomputerisasi [1]. Kemampuan *e-nose* untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas serta kemampuan model kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi pola dari suatu sinyal berpotensi menghasilkan sistem prediksi yang cepat dan akurat pada berbagai jenis sampel uji. Perbandingan komponen fungsional secara umum dari *e-nose* dan sistem penciuman pada manusia dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada sistem *e-nose*, molekul gas yang ada di udara atau ruang sampel dideteksi oleh *sensor array* yang terdiri dari kumpulan sensor gas dengan berbagai kepekaan (*selectivity*). Informasi kimiawi dari gas-gas tersebut dikonversi menjadi sinyal multidimensi. Sinyal mentah tersebut kemudian dikondisikan dan diproses oleh modul ekstraksi ciri (*feature extraction*). Sinyal yang sudah diekstrak akan diproses kembali oleh model *machine learning* untuk menentukan jenis bau apa yang terdeteksi. Perlu dicatat bahwa setiap sensor atau reseptor tidak memiliki kepekaan untuk semua jenis bau atau gas. Akan tetapi, cakupan kepekaan yang luas akan dapat diperoleh melalui perbedaan pola respons gabungan dari beberapa sensor. Melalui mekanisme inilah *e-nose* dapat melakukan tugas klasifikasi dan regresi, seperti deteksi kualitas daging [3][4][5][6][7][8][9], kualitas susu [10][11], klasifikasi teh dan kopi [12][13], dan level gula darah [14].



**Gambar 1.** Komponen Fungsional dari Sistem Penciuman Manusia dan *E-nose* [2]

Jenis sensor gas yang umum digunakan pada berbagai aplikasi *e-nose* adalah MOS dengan *sensing* material *tin dioxide* ( $\text{SnO}_2$ ). Perubahan konsentrasi gas tertentu akan menyebabkan nilai resistansi sensor berubah sehingga jenis sensor ini termasuk dalam jenis *resistive* sensor. Jenis sensor ini banyak digunakan untuk analisis gas dan berbagai jenis aplikasi *e-nose* karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain murah, respons yang cepat, dan kepekaan terhadap gas yang relatif luas [15]. Kelebihan tersebut tentu saja menjadi keunggulan jika dibandingkan menggunakan mesin *gas chromatography* dan *mass spectrometry* yang mahal, berukuran besar, dan sulit untuk dioperasikan. Oleh sebab itu, sensor gas MOS lebih sesuai dan memungkinkan digunakan secara masif untuk *sensing as a service* ( $\text{S}^2\text{aaS}$ ) [16].

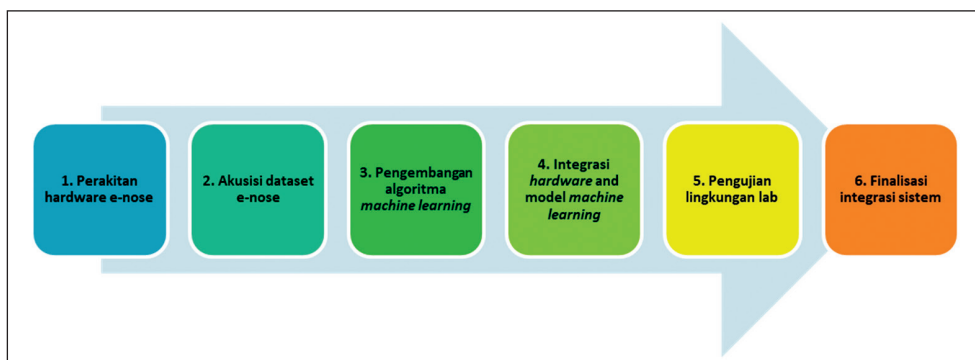


Gambar 2. Roadmap Penelitian

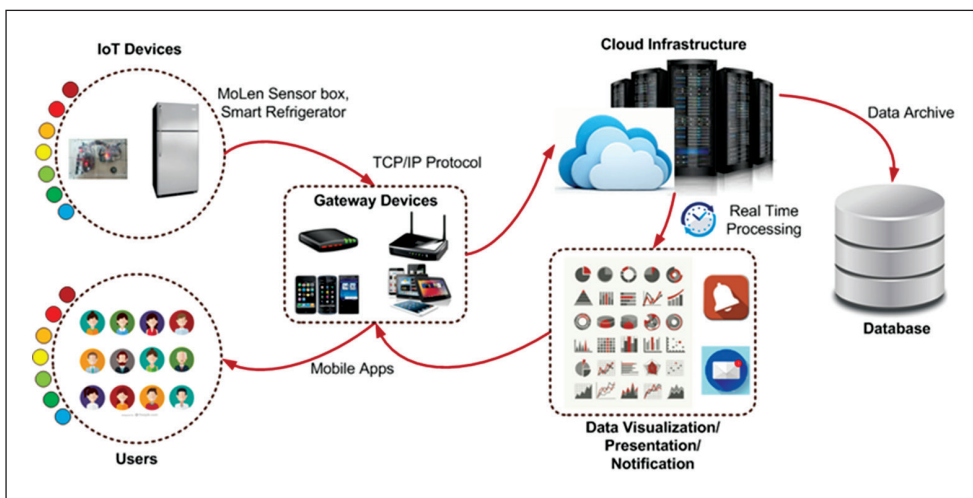
## B. METODE PENELITIAN

Gambar 2 menunjukkan *roadmap* dari penelitian, termasuk penelitian yang telah dilakukan, tahapan secara umum, dan luaran yang ditargetkan. Penelitian terdahulu dengan sampel daging sapi telah dilakukan untuk memecahkan beberapa permasalahan. Metode *noise filtering* dibutuhkan untuk mereduksi tingkat *noise* pada sinyal tanpa kehilangan informasi penting. Metrik untuk rekonstruksi sinyal *e-nose*, yaitu *information quality ratio*, diusulkan untuk meminimalisasi hilangnya informasi penting ketika proses *noise filtering* dilakukan [26]. Contoh *dataset* dari *e-nose* juga telah dipublikasikan sebagai *data article* pendukung berkembangnya penelitian di bidang *e-nose* [39][40]. Kerangka kerja untuk *e-nose noise filtering* juga berhasil dikembangkan dan diuji coba pada permasalahan klasifikasi dan regresi [25]. Selain itu, metode optimasi *sensor array* untuk menentukan kombinasi gas sensor terbaik diusulkan, khususnya pada kasus *dataset* homogen yang dihasilkan oleh *e-nose* [28] [30][41]. Metode klasifikasi daging sapi *multiclass* untuk membedakan empat jenis kualitas daging sapi, yaitu *excellent*, *good*, *acceptable*, dan *spoiled*, termasuk prediksi populasi mikroba pada sampel daging juga telah dikembangkan dan diintegrasikan dengan kerangka kerja *noise filtering* [25]. Selain itu, pendekatan *time-series* juga sudah diuji coba untuk monitoring kualitas daging atau protein, termasuk prediksi populasi mikroba [42]. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan membangun metode untuk uji kualitas atas kesegaran komoditas produk perikanan, termasuk prediksi populasi mikroba yang cepat, murah, dan mudah dioperasikan menggunakan *e-nose* dan algoritma kecerdasan buatan.

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang diusulkan dapat dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain perakitan perangkat keras *e-nose*, akuisisi *dataset e-nose*, pengembangan algoritma *machine learning*, pengujian lingkungan lab, dan finalisasi integrasi sistem. Gambar 3 menunjukkan metode dan alur penelitian yang diusulkan secara detail yang meliputi perakitan *hardware*, akuisisi *dataset*, pengembangan model *machine learning*, integrasi *hardware* dan model *machine learning*, pengujian lingkungan lab, dan finalisasi integrasi sistem.



**Gambar 3.** Metode dan Alur Penelitian



**Gambar 4.** Skema *E-nose* untuk  $S^2aaS$

Model klasifikasi dan regresi yang sudah dilatih akan dipasang pada lingkungan  $S^2aaS$ . Garis besar skema MoLen untuk  $S^2aaS$  dapat dilihat pada Gambar 4. Perangkat *sensor box* dapat berupa *stand-alone device* ataupun terintegrasi dengan lemari es pintar. Sinyal yang dihasilkan dari perangkat tersebut dikirimkan ke *smart gateway device* untuk diproses berdasarkan protokol TCP/IP. Perangkat *smart gateway device* yang digunakan bisa berupa komputer mini untuk membantu tugas komputasi *sensor node*. Dalam *smart gateway device*, terdapat *middleware* cerdas yang menjalankan semua tugas pemrosesan sinyal *e-nose*. Data hasil akhir pemrosesan dikirimkan ke *cloud server* untuk disimpan ke dalam basis data dan di-encode melalui *application programming interface* (API). Data yang telah ter-encoding diurai dan diinterpretasikan dalam grafis untuk ditampilkan kepada pengguna akhir sehingga pengguna akhir dapat mengakses visualisasi dan berinteraksi dengan sistem menggunakan *smartphone*.

## C. PEMBAHASAN

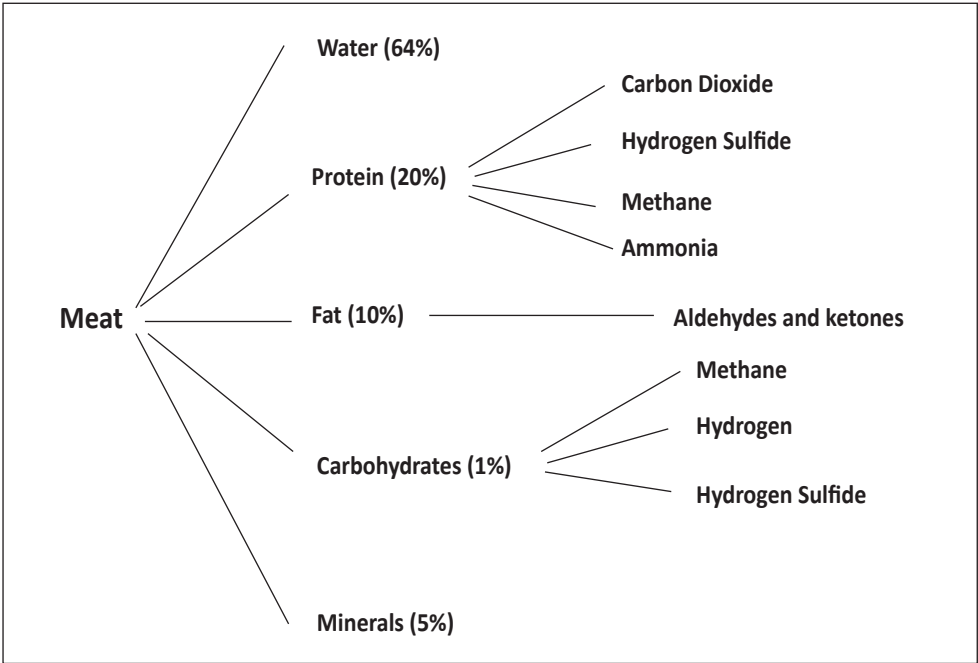
### 1. Pengembangan *E-nose* untuk Deteksi Kualitas Daging Sapi

Pengujian kualitas bahan makanan merupakan salah satu area paling potensial untuk penggunaan *e-nose*, misalnya penelitian *e-nose* untuk mendeteksi kontaminasi bakteri pada susu [10][11], uji aroma teh [12][17][18], klasifikasi kopi [13], deteksi kesegaran ikan [19], klasifikasi jenis ikan [20], dan klasifikasi kualitas daging sapi [3][6][7][8][9]. Penelitian tersebut menunjukkan hasil yang memuaskan, khususnya untuk klasifikasi kualitas daging sapi. Daging sapi merupakan salah satu sumber *animal-based protein* (ABP) yang paling populer untuk dikonsumsi. Kementerian Pertanian Republik Indonesia memproyeksikan rata-rata permintaan daging sapi tahun 2013–2019 tumbuh sebesar 0,86% per tahun. Sementara itu, Badan Pangan Dunia (*Food and Agriculture Organization*, FAO) merilis laporan dan proyeksi konsumsi daging di



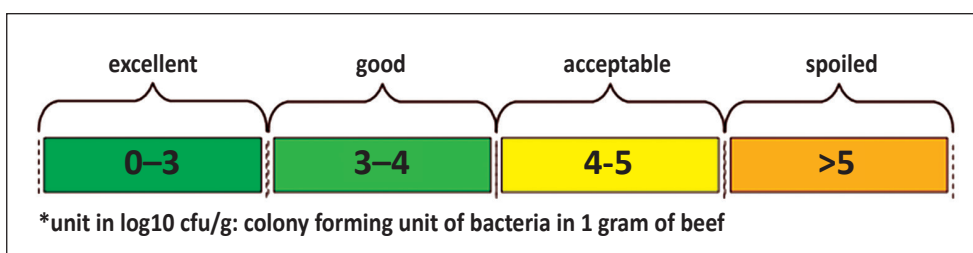
dunia akan terus mengalami kenaikan hingga tahun 2050. Pada kenyataannya, daging sapi adalah bahan makanan yang mudah rusak jika tidak ditangani dengan baik karena daging merupakan media yang ideal untuk pertumbuhan mikrob, khususnya bakteri yang berkembang biak dengan mengurai nutrisi pada daging. Penyimpanan daging yang kurang baik, seperti pada suhu kamar dan di udara terbuka, akan mempercepat degradasi kualitas daging sapi karena merupakan lingkungan paling optimal untuk pertumbuhan bakteri. Kondisi seperti inilah yang sering ditemukan pada penjual daging, terutama di Indonesia.

Pembusukan daging disebabkan infeksi oleh bakteri dan jamur yang tidak bisa dihindari pada saat pemrosesan atau penyimpanan daging. Infeksi dapat berasal dari hewan itu sendiri (*endogenous infections*), orang yang memproses daging, atau pun peralatan (*exogenous infections*). Mengonsumsi daging yang terinfeksi dapat menyebabkan beberapa penyakit, antara lain *anthrax*, *bovine tuberculosis*, *brucellosis*, *salmonellosis*, *listeriosis*, *trichinosis*, atau *taeniasis* [21]. Secara alami, urutan perubahan kualitas daging dipengaruhi oleh aktivitas biokimia dari spesies organisme tertentu. Pertama, daging agak mencair karena organisme mengeluarkan kolagen yang menghidrolisis jaringan ikat di antara serat yang menyebabkan daging agak hancur. Proses ini juga diikuti oleh produksi gas. Penguraian asam amino akan menghasilkan hidrogen, karbon dioksida, dan amonia. Bau busuk sebagian besar dihasilkan oleh bakteri anaerob melalui proses dekomposisi protein dan asam amino yang menghasilkan *indole*, *methylamine*, dan  $H_2S$ . Secara umum, kandungan yang ada pada daging mamalia beserta gas-gas hasil dekomposisinya ditunjukkan oleh Gambar 5.



**Gambar 5.** Kandungan Daging Beserta Gas Hasil Dekomposisi Daging Mamalia [22]

Sebagian besar penelitian tentang klasifikasi kualitas daging sapi membedakan daging sapi menjadi dua jenis (*binary classification*), yaitu segar dan busuk, dengan akurasi di atas 90%. Pada beberapa tahun terakhir, beberapa peneliti mencoba membedakan kualitas daging sapi menjadi tiga jenis, yaitu segar, agak segar, dan busuk. Sebagian besar akurasi yang dihasilkan pada penelitian tersebut kurang dari 90% [3][23]. Terdapat juga satu penelitian yang mengklaim menghasilkan akurasi 97,14%, tetapi dengan *dataset* yang sedikit [24]. Kualitas daging sapi berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh *Meat Standards Committee of ARMCANZ* dibagi menjadi empat kelas, yaitu *excellent*, *good*, *acceptable*, dan *spoiled* berdasarkan jumlah populasi mikroba ( $\log_{10}$  cfu/g) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada dasarnya, kompleksitas *multiclass classification* pasti lebih tinggi dibanding *binary classification* karena semakin banyak jumlah kelas, maka area perbatasan (*boundary*) antarkelas akan semakin banyak. Pada area perbatasan inilah kesalahan klasifikasi sering terjadi. Jika pada *binary classification* kemungkinan menghasilkan klasifikasi yang benar sebesar  $\frac{1}{2}$ , maka pada jumlah kelas  $m$  kemungkinannya adalah  $\frac{1}{m}$ . Dengan demikian, untuk menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi pada *multiclass* lebih sulit dibandingkan *binary classification* dengan kompleksitas yang lebih tinggi apabila sinyal terkontaminasi oleh *noise* [25][26][27]. Tantangan lainnya adalah *overlapping selectivity* pada *sensor array* yang menyebabkan kombinasi sensor gas menjadi tidak optimal sehingga menyebabkan boros listrik, ukuran perangkat keras yang besar, dan degradasi performansi algoritma *machine learning* [28][29][30][31].



**Gambar 6.** Standar Kualitas Daging Sapi [43]

## 2. Pengembangan Sistem Pengujian Kualitas Produk Hasil Laut

Industri perikanan merupakan sektor strategis yang diproyeksikan mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Berdasarkan Inpres Nomor 7 Tahun 2016, terwujudnya sektor perikanan yang mandiri, maju, kuat dan berbasis kepentingan nasional telah dituangkan secara jelas. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi sumber daya kelautan dan perikanan melimpah yang perlu dibarengi dengan sarana dan prasarana infrastruktur untuk mengoptimalkan sumber daya tersebut. Sebagaimana diketahui, produk kelautan dan perikanan merupakan komoditas yang mudah rusak (*perishable*) sehingga memerlukan perlakuan khusus dalam penanganannya. Tujuan dari kebijakan tersebut adalah meningkatkan kesejahteraan nelayan, pembudidaya, pengolah, dan pemasaran hasil perikanan; menyerap tenaga

kerja; dan meningkatkan devisa negara [32]. Dengan demikian, diperlukan suatu sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan stabilitas sistem produksi dan pemasaran, produksi hilir dan pemasaran secara efisien, penguatan konektivitas antara sentra produksi hulu, dan meningkatkan efisiensi manajemen rantai pasokan produk kelautan dan perikanan, serta informasi dari hulu hingga hilir yang melibatkan sinergi berbagai pihak. Contoh beberapa produk hasil laut berupa ikan, Chepalopoda (cumi-cumi), dan udang dapat dilihat pada Gambar 7.

Saat ini, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) terus melakukan berbagai usaha untuk meningkatkan nilai ekspor komoditas produk perikanan, baik hidup, segar, dingin, maupun olahan. Meningkatnya produksi perikanan tangkap disumbang oleh naiknya produksi perairan umum daratan sebesar 2,71% dan perikanan laut sebesar 2,23% [34]. Nilai ekspor hasil perikanan Indonesia sampai Desember 2020 mencapai USD 5,20 miliar. Hingga saat ini, Amerika Serikat (AS) masih menjadi pasar terbesar dengan kontribusi mencapai 40,30% atau USD 2,1 miliar. Standar kualitas ekspor yang ketat merupakan tantangan tersendiri dengan beberapa kendala yang dihadapi, antara lain [34]

- a. beberapa produk perikanan Indonesia dinyatakan belum memenuhi standar kualitas pasar di Jepang; serta
- b. Amerika Serikat semakin memperketat kriteria dan kualitas produk impornya, seperti jaminan keamanan produk perikanan dan non-IUU, *sustainability*, dan *traceability*.



**Gambar 7.** Ragam produk hasil laut [33]

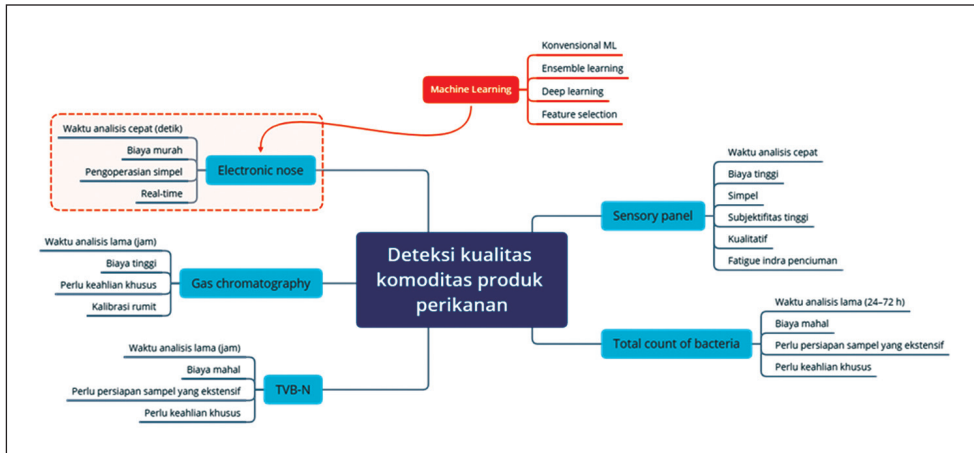


Beberapa upaya yang dilakukan oleh KKP, antara lain peningkatan mutu produk kelautan dan perikanan untuk komoditas ekspor yang bernilai ekonomis penting melalui sertifikasi kelayakan serta *Workshop Remote Assessment in Fisheries Inspection and Certification*. Standar resmi pengujian untuk menentukan kesegaran dan keamanan produk kelautan dan daging adalah *total viable count* (TVC) [35]. Proses uji laboratorium tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama, 24–72 jam, dengan biaya yang mahal untuk satu kali pengujian [36]. Untuk itu, diperlukan sebuah mekanisme pengujian produk makanan laut yang cepat, murah, dan mudah dioperasikan untuk melengkapi atau bahkan menggantikan uji laboratorium yang membutuhkan waktu yang lama dan biaya mahal sehingga frekuensi pengujian menjadi lebih mudah dan sering dilakukan untuk menjamin kualitas komoditas produk perikanan terutama untuk keperluan ekspor.

Komoditas produk laut atau perikanan yang terjamin kesegaran dan keamanan merupakan hal yang harus dipenuhi untuk menjamin produk yang berkualitas dan layak untuk diekspor. Namun, menjamin produk makanan laut berkualitas bukanlah sesuatu yang mudah. Seperti halnya sumber protein lain, produk makanan laut seperti ikan akan mudah mengalami degradasi kualitas jika tidak diperlakukan dengan baik. Berdasarkan panduan yang dirilis oleh FAO, proses pembusukan dimulai segera setelah ikan mati. Jutaan bakteri berpotensi merusak yang terdapat di permukaan lendir, di insang, dan di usus ikan hidup [35]. Bakteri mulai menyerang jaringan melalui insang, sepanjang pembuluh darah, dan langsung melalui kulit dan lapisan rongga perut [37]. Dengan demikian, pengujian kualitas produk secara berkala sangat diperlukan.

Saat ini, terdapat beberapa metode untuk evaluasi kualitas kesegaran produk daging dan komoditas produk perikanan, antara lain *sensory panel*, *total count of bacteria*, *total volatile basic nitrogen* (TVB-N), dan *gas chromatography*. Namun, metode tersebut membutuhkan waktu yang lama, mahal, dan perlu personel yang memiliki keahlian khusus [36][38]. Indikator umum untuk menentukan kualitas produk makanan laut atau daging biasanya ditentukan oleh bau yang disebabkan oleh produksi gas hasil penguraian bakteri.

Salah satu cara menguji bau adalah dengan menggunakan *sensory panel*, di mana beberapa orang diminta untuk menguji bau berdasarkan indra penciuman. Namun tentunya metode ini memiliki banyak kelemahan karena dilakukan secara manual, di antaranya subjektivitas tinggi dan kejenuhan indra penciuman. Pada umumnya, konsentrasi gas dapat diukur menggunakan mesin *gas chromatography*. Namun, kedua instrumen tersebut relatif mahal, berukuran besar, pengoperasian sulit, dan tidak cocok untuk analisis daring [36]. Saat ini, standar baku dalam penentuan status kualitas produk makanan laut dan daging adalah analisis jumlah total bakteri (*total count of bacteria*), tetapi diperlukan masa inkubasi hingga 72 jam dan proses analisis



**Gambar 8.** Kerangka Teoritis Deteksi Kualitas Produk Hasil Laut

yang lama dan berbiaya tinggi. Metode lain yang digunakan untuk evaluasi kesegaran daging adalah pengukuran *total volatile basic nitrogen* (TVB-N), di mana konsentrasi nitrogen dari basa nitrogen yang mudah menguap diukur dalam mg/100 g sampel. Metode ini lebih sering digunakan untuk evaluasi kesegaran ikan karena aroma ikan busuk sering dikaitkan dengan adanya senyawa nitrogen. Penggunaan *e-nose* pada penelitian ini dipilih karena waktu analisis yang cepat (dalam satuan detik), berbiaya murah, pengoperasian mudah, dan mendukung untuk pengembangan sistem *real-time*. Kombinasi sistem *e-nose* dan algoritma *machine learning* diperlukan untuk mengklasifikasikan kualitas produk makanan laut serta prediksi populasi mikrob pada sampel.

### C. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini, metode pengujian kualitas bahan makanan, khususnya daging dan produk hasil laut, dilakukan dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat beberapa tantangan pada pengembangan sistem *e-nose*, antara lain ketidakstabilan kondisi lingkungan, kontaminasi *noise* pada sinyal *e-nose*, *overlapping selectivity*, dan pola yang beragam dari sampel daging yang berbeda.
2. Untuk mengatasi tantangan tersebut, telah dikembangkan metode *noise filtering* untuk mereduksi *noise* pada sinyal, metode *sensor array optimization* untuk mengurangi *overlapping selectivity* dan menemukan kombinasi gas sensor paling optimal.

Saran untuk pengembangan selanjutnya sebagai berikut.

1. Model kecerdasan artifisial yang telah dilatih pada tahapan sebelumnya akan di-*deploy* pada lingkungan *cloud* untuk *sensing as a service* (S<sup>2</sup>aaS) sehingga manajemen model menjadi terpusat dan memudahkan pengembangan.
2. Sistem *e-nose* dan kecerdasan buatan dapat juga dikembangkan untuk pengujian sampel lain, seperti teh, kopi, dan rempah-rempah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. Gardner dan P. N. Bartlett, "A brief history of electronic noses," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 18, no. 1–3, pp. 210–211, 1994.
- [2] H. K. Patel, *The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology*. Ahmedabad: Springer, 2014.
- [3] O. S. Papadopoulou, E. Z. Panagou, F. R. Mohareb, dan G. J. E. Nychas, "Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis," *Food Research International*, vol. 50, no. 1, pp. 241–249, 2013.
- [4] S. A. Abdallah, L. A. Al-shatti, A. F. Alhajraf, N. Al-hammad, and B. Al-awadi, "The detection of foodborne bacteria on beef: The application of the electronic nose," *SpringerPlus*, vol. 2, pp. 1–9, 2013.
- [5] S. Balasubramanian, S. Panigrahi, C. M. Logue, H. Gu, dan M. Marchello, "Neural networks-integrated metal oxide-based artificial olfactory system for meat spoilage identification," *Journal of Food Engineering*, vol. 91, no. 1, pp. 91–98, 2009.
- [6] S. Balasubramanian, C. M. Logue, dan M. Marchello, "Spoilage identification of beef using an electronic nose system," *Transactions of the ASAE*, vol. 47, no. 5, pp. 1625–1633, 2004.
- [7] M. Ghasemi-Varnamkhasti, S. S. Mohtasebi, M. Siadat, dan S. Balasubramanian, "Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology)," *Sensors*, vol. 9, no. 8, pp. 6058–6083, 2009.
- [8] V. Y. Musatov, V. V. Sysoev, M. Sommer, dan I. Kiselev, "Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: A practical approach," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 144, no. 1, pp. 99–103, 2010.
- [9] N. El Barbri, E. Llobet, N. El Bari, X. Correig, dan B. Bouchikhi, "Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat," *Sensors*, vol. 8, no. 1, pp. 142–156, 2008.
- [10] Z. Ali, W. T. O. Hare, dan B. J. Theaker, "Detection of bacterial contaminated milk by means of a quartz crystal microbalance based electronic nose," *Journal of Thermal Analysis*, vol. 71, pp. 155–161, 2003.
- [11] S. Ampuero, T. Zesiger, V. Gustafsson, A. Lunden, dan J. O. Bosset, "Determination of trimethylamine in milk using an MS based electronic Nose," *European Food Research Technology*, vol. 214, pp. 163–167, 2002.
- [12] S. Borah, E. L. Hines, M. S. Leeson, D. D. Iliescu, M. Bhuyan, dan J. W. Gardner, "Neural network based electronic nose for classification of tea aroma," *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, vol. 2, pp. 7–14, 2008.

- [13] S. Omatu dan M. Yano, "E-nose system by using neural networks," *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 394–398, 2016.
- [14] D. Guo, D. Zhang, L. Zhang, dan G. Lu, "Non-invasive blood glucose monitoring for diabetics by means of breath signal analysis," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 173, pp. 106–113, 2012.
- [15] X. Liu dkk., "A Survey on Gas Sensing Technology," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, pp. 9635–9665, 2012.
- [16] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Gas concentration analysis of resistive gas sensor array," in *2016 IEEE International Symposium on Electronics and Smart Devices*, 2016, pp. 337–342.
- [17] I. Nouredinov dan G. Li, "Application of conformal predictors to tea classification based on electronic nose," in *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, 2010, pp. 303–310.
- [18] S. T. Sarkar dkk., "Towards biological plausibility of electronic noses: A spiking neural network based approach for tea odour classification," *Neural Networks*, vol. 71, pp. 142–149, 2015.
- [19] Najam ul Hasan, N. Ejaz, W. Ejaz, dan H. S. Kim, "Meat and fish freshness inspection system based on odor sensing," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, pp. 15542–15557, 2012.
- [20] S. Güney dan A. Atasoy, "Study of fish species discrimination via electronic nose," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 119, pp. 83–91, 2015.
- [21] R. A. Lawrie, "The eating quality of meat," in *Meat Science 7th edition*, 2006, pp. 157–158.
- [22] B. B. Dent, S. L. Forbes, dan B. H. Stuart, "Review of human decomposition processes in soil," *Environmental Geology*, no. 1997, pp. 576–585, 2003.
- [23] F. Mohareb, O. Papadopoulou, E. Panagou, G.-J. Nychas, dan C. Bessant, "Ensemble-based support vector machine classifiers as an efficient tool for quality assessment of beef fillets from electronic nose data," *Analytical Methods*, vol. 8, no. 18, pp. 3711–3721, 2016.
- [24] V. S. Kodogiannis dan A. Alshejari, "A fuzzy-wavelet neural network model for the detection of meat spoilage using an electronic nose," in *IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI)*, 2016.
- [25] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Noise filtering framework for electronic nose signals: An application for beef quality monitoring," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 157, no. January 2018, pp. 305–321, 2019.
- [26] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Information Quality Ratio as a novel metric for mother wavelet selection," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 160, 2017.
- [27] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "DWTTLSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 326, 2021.
- [28] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Sensor array optimization for mobile electronic nose: Wavelet transform and filter based feature selection approach," *International Review on Computers and Software*, vol. 11, no. 8, pp. 659–671, 2016.
- [29] D. R. Wijaya dan F. Afianti, "Stability assessment of feature selection algorithms on homogeneous datasets: A study for sensor array optimization problem," *IEEE Access*, vol. 8, 2020.

- [30] D. R. Wijaya, "Information-theoretic ensemble feature selection with multi-stage aggregation for sensor array optimization," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 1–1, 2020.
- [31] D. R. Wijaya, F. Afianti, A. Arifianto, D. Rahmawati, dan V. S. Kodogiannis, "Ensemble machine learning approach for electronic nose signal processing," *Sensing and Bio-Sensing Research*, vol. 36, no. March, p. 100495, 2022.
- [32] S. Burhanuddin, "Rencana Strategis 2020-2024 Deputy Bidang Koordinasi Sumber Daya Maritim," Jakarta, 2020.
- [33] PT Anugrah Laut Indonesia, "PT Anugrah Laut Indonesia," 2021. Diakses pada 6 Agustus 2021. [Daring]. <http://www.aliseafood.co.id/products/>
- [34] KKP, "Laporan Tahunan Kementrian Kelautan dan Perikanan 2020," 2020.
- [35] J. A. sciortino dan R. ravikumar, "Chapter 5: Fish quality assurance," in *Fishery Harbour Manual on the Prevention of Pollution - Bay of Bengal Programme*, Madras: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999.
- [36] W. Wojnowski, T. Majchrzak, T. Dymerski, J. Gębicki, dan J. Namieśnik, "Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment," *Meat Science*, vol. 131, no. February, pp. 119–131, 2017.
- [37] W. A. J. J. Graham dan F. J. Nicholson, "Preservative effect of chilling," in *Ice in fisheries*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
- [38] V. Preedy, *Electronic Noses and Tongues in Food Science*. London: Elsevier Inc., 2016.
- [39] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Electronic nose dataset for beef quality monitoring in uncontrolled ambient conditions," *Data in Brief*, vol. 21, pp. 2414–2420, 2018.
- [40] R. Sarno, S. I. Sabilla, D. R. Wijaya, D. Sunaryono, dan C. Fatichah, "Electronic nose dataset for pork adulteration in beef," *Data in Brief*, vol. 32, pp. 1–5, 2020.
- [41] D. R. Wijaya dan F. Afianti, "Stability assessment of feature selection algorithms on homogeneous datasets: A study for sensor array optimization problem," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 33944–33953, 2020.
- [42] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "DWTLSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 326, no. Jan 2021, p. 128931, 2021.
- [43] CSIRO Food and Nutritional Sciences, "Vacuum-packed meat : storage life and spoilage," 2003. [Online]. Available: <http://www.meatupdate.csiro.au/VPmeat-spoilage-storage.pdf>. [Accessed: 30-Jul-2022].