

# Tinjauan Sistematis: Penilaian Kelayakan Meta-Analisis Klasifikasi untuk Deteksi Keaslian Minyak Atsiri Sebagai Bahan Parfum

Yoga Aji Sukma<sup>1\*</sup>, Desi Permata Sari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sains Data, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35365, Indonesia

<sup>2</sup>Rekayasa Kosmetik, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

yoga.sukma@sd.itera.ac.id, desi.sari@kos.itera.ac.id

## ABSTRAK

Keaslian minyak atsiri sebagai bahan parfum memerlukan *quality control* yang mampu mengubah data sensorik, kromatografik, dan spektroskopik menjadi keputusan yang dapat diaudit. Penelitian ini menyintesis *evidence* mengenai algoritma klasifikasi untuk deteksi keaslian, diskriminasi, mutu, asal, dan indikasi adulterasi minyak atsiri dari sudut pandang informatika. Metode yang digunakan adalah *systematic review* berbasis PRISMA/PRISMA-DTA melalui *literature search* OpenAlex dan PubMed/PMC, *screening* berbasis *eligibility criteria*, verifikasi *full text*, serta *data extraction* atas *data modality/instrumen*, algoritma, *validation design*, dan *performance metric*. Dari 160 rekaman awal, 36 studi masuk calon *qualitative synthesis* dan 5 studi memiliki *quantitative classifier-performance data*. Lima studi tersebut melibatkan *electronic nose*, HS-GC-MS, GC-FID, dan FTIR dengan algoritma LDA/QDA, SVM, ANN/MLP, Fuzzy ARTMAP, O2PLS-DA, dan HCA. Akurasi/CCR berada pada kisaran 82% hingga 100%, tetapi tidak digabungkan sebagai *pooled accuracy estimate* karena tujuan klasifikasi, *data modality/instrumen*, *validation design*, *validation sample*, dan *risk of bias* tidak sebanding. Sintesis menunjukkan bahwa algoritma klasifikasi berpotensi mendukung autentikasi minyak atsiri apabila penelitian berikutnya melaporkan *external validation*, *confusion matrix*, jumlah *independent validation sample*, dan *AI-based quality-control workflow* secara transparan.

**Kata kunci:** klasifikasi, *machine learning*, autentikasi minyak atsiri, bahan parfum, sintesis naratif terstruktur

---

## 1. PENDAHULUAN

Keaslian minyak atsiri merupakan isu penting dalam kendali mutu bahan parfum karena komposisi, asal bahan, dan kemungkinan adulterasi dapat memengaruhi konsistensi produk. Studi terhadap minyak atsiri yang dibeli secara daring menunjukkan bahwa non-compliance dan adulterasi ditemukan pada produk komersial [1]. Dalam konteks teknologi informasi, masalah tersebut dapat dirumuskan sebagai klasifikasi berbasis data: sinyal sensorik atau profil kimia diterjemahkan menjadi keputusan autentik, terindikasi mengalami adulterasi, berbeda asal, berbeda mutu, atau berbeda kelompok bahan. Dengan rumusan ini, domain parfum menjadi konteks penerapan, sedangkan objek analisis utama adalah *data-processing workflow* dan model klasifikasi.

Perkembangan *electronic nose*, sensor gas, kromatografi, dan spektroskopi memperluas peluang penggunaan data digital untuk *quality control* minyak atsiri. Studi yang dipertahankan dalam sintesis ini menunjukkan penggunaan MOS *electronic nose* untuk klasifikasi minyak atsiri herbal dan buah [2], HS-GC-MS untuk klasifikasi minyak atsiri bitter orange berdasarkan tahap kematangan buah [3], perangkat sensor gas untuk mendeteksi adulterasi minyak atsiri *Cistus ladanifer* [4], serta kombinasi GC-FID dan FTIR untuk



analisis asal geografis dan varietas minyak atsiri Eucalyptus [5]. Keragaman *data modality*/instrumen tersebut menunjukkan bahwa fokus informatika tidak berada pada kimia minyak atsiri semata, tetapi pada data workflow, *feature extraction*, pemilihan model, *model validation*, dan *performance reporting*. Dengan demikian, perbandingan *data modality*/instrumen perlu dilihat sebagai perbandingan *data-processing workflow*, bukan sebagai klaim superioritas instrumen tertentu.

Berbagai algoritma klasifikasi telah digunakan untuk mengubah data sensorik atau profil volatil menjadi keluaran keputusan. LDA, QDA, dan SVM digunakan pada data *electronic nose* [2]; ANN/MLP digunakan pada data profil kimia HS-GC-MS [3]; ANN juga digunakan dalam perangkat sensor gas untuk indikasi adulterasi [4]; sedangkan Fuzzy ARTMAP dan LDA dibandingkan pada klasifikasi mutu minyak atsiri Rosa damascena berbasis *electronic nose* [6]. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan potensi pendekatan *machine learning*, tetapi perbandingan antaralgoritma harus tetap ditempatkan dalam konteks *dataset*, *data modality*/instrumen, *validation design*, dan *risk of bias* masing-masing studi. Oleh karena itu, pendahuluan ini tidak menempatkan satu algoritma sebagai kandidat terbaik menyeluruh sebelum sintesis metodologis dilakukan.

Kesenjangan utama artikel ini adalah *evidence* yang belum memadai untuk *pooled accuracy estimate* lintas studi. Meskipun beberapa studi melaporkan akurasi atau *correct classification rate* (CCR) yang tinggi, tujuan klasifikasi, *data modality*/instrumen, jumlah *validation sample*, kemandirian sampel, dan *validation design* tidak seragam. Penilaian *classifier-performance synthesis* juga perlu mengikuti standar *systematic review* dan *risk of bias* model prediktif, termasuk PRISMA-DTA dan PROBAST+AI [7], [8]. Karena itu, sintesis diarahkan untuk memetakan *evidence*, batas metodologis, dan *meta-analysis feasibility* secara transparan.

Penelitian ini bertujuan menyajikan *systematic review* dan *meta-analysis feasibility assessment* terhadap algoritma klasifikasi untuk deteksi keaslian minyak atsiri sebagai bahan parfum. Pertanyaan penelitian meliputi algoritma yang digunakan, *data modality*/instrumen, cara pelaporan *performance*, faktor metodologis yang memengaruhi variasi *performance*, serta hubungan algoritma-data modality dan *validation design* yang relevan untuk *quality control* berbasis informatika. Kontribusi artikel ini adalah *structured narrative synthesis* mengenai keluarga algoritma, *data modality*/instrumen, praktik *validation*, *risk of bias*, dan rekomendasi *AI-based quality-control workflow*. Rumusan tersebut membatasi pembahasan pada ranah informatika dan teknologi informasi, bukan klaim kimia murni atau penetapan algoritma terbaik menyeluruh.

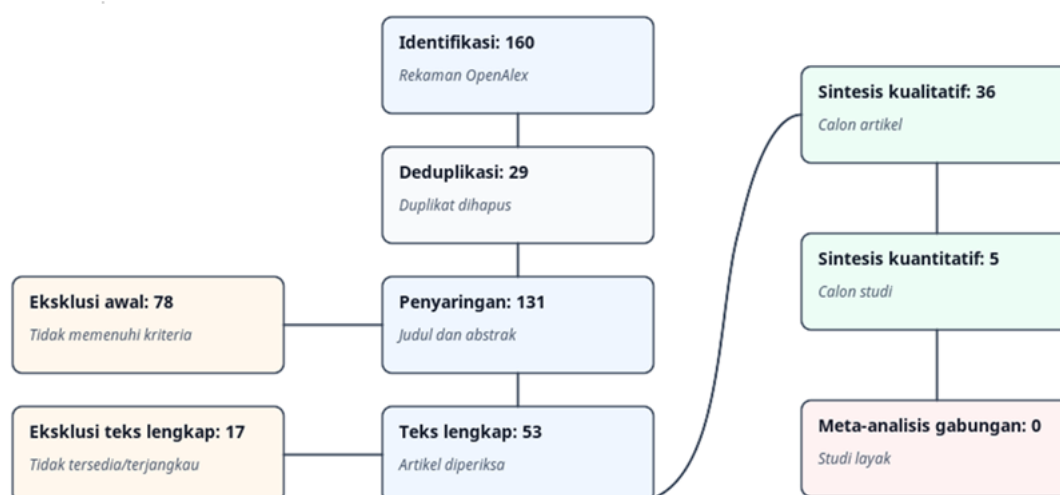
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai *systematic review* dengan *meta-analysis feasibility assessment* terhadap studi algoritma klasifikasi untuk autentikasi minyak atsiri sebagai bahan parfum. Alur pelaporan mengikuti prinsip PRISMA-DTA karena fokus sintesis berkaitan dengan *classifier performance* atau diagnosis berbasis model [7]. Unit analisis awal adalah artikel primer yang membahas minyak atsiri, fragrance material, atau bahan aroma yang



relevan dengan parfum dan menggunakan data digital dari sensor atau instrumen. Unit *data extraction* model adalah kombinasi studi, *data modality*/instrumen, algoritma, *validation design*, dan *performance metric*.

*Literature search* dilakukan pada 20 Mei 2026 melalui OpenAlex dan PubMed/PMC. Kedua sumber ini dipilih karena kebutuhan telaah tidak hanya menemukan artikel parfum, tetapi juga studi komputasional pada minyak atsiri yang tersebar di jurnal sensor, kimia analitik, dan informatika terapan. Pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2010 sampai 2026 dalam bahasa Inggris atau Indonesia. *Query* menggabungkan istilah domain, seperti *essential oil*, *fragrance*, *perfume raw material*, dan *volatile compounds*, dengan istilah metode, seperti *classification*, *machine learning*, *chemometrics*, *electronic nose*, GC-MS, FTIR, NIR, Raman, sensor, *adulteration*, *authenticity*, dan *origin*. Kombinasi istilah dicatat agar jalur identifikasi artikel dapat ditelusuri kembali sesuai prinsip transparansi *systematic review* [7].

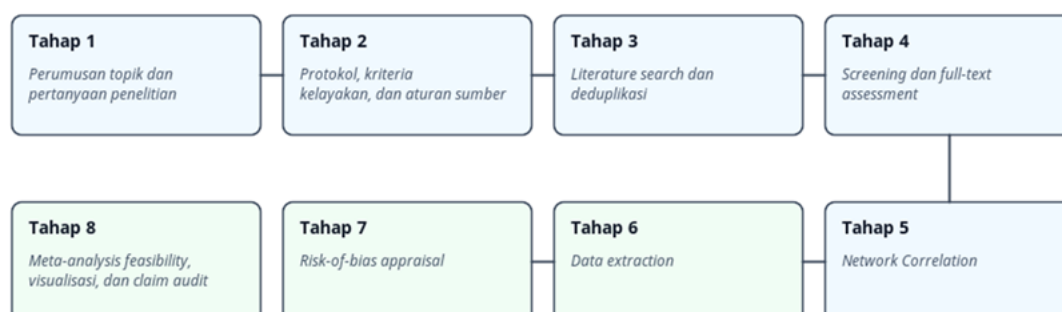


Gambar 1. Alur seleksi studi berdasarkan PRISMA.

Artikel dinilai layak apabila memenuhi tiga syarat pokok: membahas minyak atsiri atau bahan *fragrance*, memakai data digital dari sensor atau instrumen, dan melaporkan *performance metric* dari algoritma klasifikasi atau *chemometrics classification*. DOI, URL stabil, dan *full text* yang dapat dibuka digunakan sebagai syarat keterlacakan. Studi dikeluarkan apabila berupa *review*, *editorial*, artikel populer, kajian kimia murni tanpa model klasifikasi, studi farmakologi atau klinis tanpa tujuan autentikasi bahan, studi pemasaran, atau artikel tanpa angka *performance* yang dapat diekstrak. Aturan ini memastikan bahwa angka akurasi, *correct classification rate*, atau metrik terkait dapat diperiksa langsung pada tabel, gambar, atau uraian metode. Dengan demikian, kontribusi artikel tetap berada pada klasifikasi berbasis data, bukan pada telaah komposisi kimia tanpa model.

Seleksi studi dimulai dari deduplikasi DOI, judul, dan metadata bibliografis, kemudian dilanjutkan dengan *title-abstract screening* dan *full-text assessment*. Dari 160 rekaman awal pada kelompok hasil *literature search* OpenAlex, 29 duplikat dihapus sehingga 131 rekaman diperiksa pada judul dan abstrak. Pada tahap ini, 78 rekaman dikeluarkan karena tidak sesuai domain, tidak memuat klasifikasi, atau tidak relevan dengan autentikasi bahan. Pemeriksaan

*full text* dilakukan pada 53 artikel; 17 artikel dikeluarkan karena *full text* tidak tersedia atau tidak dapat dijangkau pada pemeriksaan awal. Hasil akhir tahap ini adalah 36 artikel calon *qualitative synthesis* sebelum *classifier-performance extraction*.

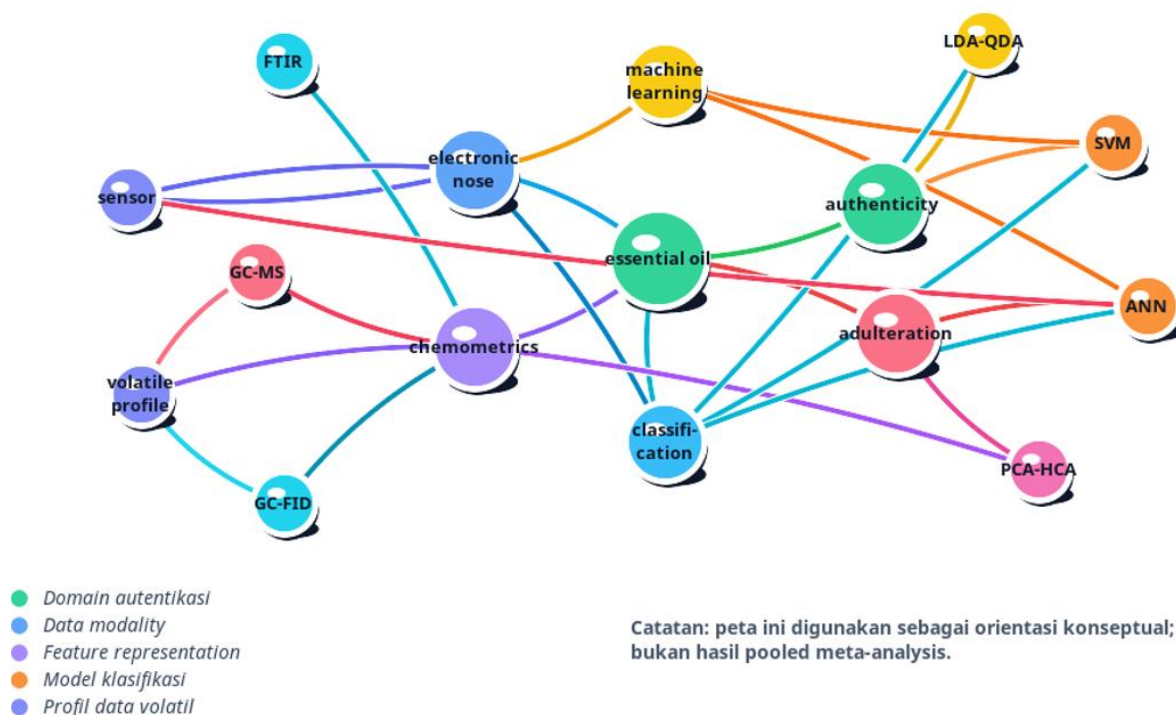


Gambar 2. Alur protokol penelitian.

Gambar 2 memperlihatkan urutan protokol penelitian secara menyeluruh. Empat tahap pertama digunakan untuk membangun dasar penelusuran, yaitu perumusan topik, penetapan kriteria, *literature search*, deduplikasi, dan *full-text assessment*. Tahap berikutnya bergerak dari pemetaan *Network Correlation* menuju *data extraction*, *risk-of-bias appraisal*, dan keputusan *meta-analysis feasibility*. Dengan urutan tersebut, pembaca dapat melihat bahwa *Network Correlation* berperan sebagai jembatan antara seleksi studi dan ekstraksi data, bukan sebagai hasil akhir sintesis.

Setelah alur umum pada Gambar 2 ditetapkan, *Network Correlation* digunakan sebagai tahap penghubung sebelum *data extraction*. Node disusun dari istilah dominan yang muncul pada kandidat *full text* dan matriks ekstraksi, sedangkan *edge* merepresentasikan keterkaitan konseptual antarterm yang digunakan untuk orientasi sintesis. Peta pada Gambar 3 membaca hubungan *data modality*, instrumen, algoritma, target autentikasi, dan *performance metric*, termasuk *electronic nose*, *chemometrics*, *machine learning*, *adulteration*, *authenticity*, dan *essential oil*. Pembacaan dimulai dari domain *essential oil* sebagai pusat konteks, kemudian bergerak ke cabang *data modality*, *feature representation*, dan model klasifikasi. Urutan ini membantu pembaca memahami mengapa *data extraction* berikutnya dikelompokkan menurut instrumen, algoritma, *validation design*, dan *performance metric*. Dengan demikian, Gambar 3 diposisikan sebagai peta konseptual pendukung, bukan sebagai analisis *network* kuantitatif atau hasil meta-analisis.

*Data extraction* dilakukan menggunakan matriks literatur dan tabel *classifier-performance extraction*. Variabel yang dicatat dikelompokkan menjadi metadata bibliografis, domain minyak atsiri, target klasifikasi, *data modality*/instrumen, *preprocessing*, *feature extraction*, algoritma, ukuran *dataset*, *validation design*, dan *performance metric*. Jika satu studi melaporkan beberapa model, model dicatat terpisah; model representatif dipilih dengan memprioritaskan *external validation* atau *train-test split*, kesesuaian dengan tujuan studi, dan penandaan *risk of bias* pada *perfect performance*. Informasi yang tidak tersedia pada *full text* diberi penanda keterbatasan agar tidak berubah menjadi asumsi numerik.



Gambar 3. Peta *Network Correlation* sebelum *data extraction*.

*Risk-of-bias assessment* disusun dari PROBAST, PROBAST+AI, QUADAS-2, dan PRISMA-DTA, lalu disesuaikan dengan karakter studi klasifikasi minyak atsiri [9], [8], [10], [7]. Penilaian diarahkan pada pertanyaan yang relevan untuk data instrumental: apakah label sampel jelas, apakah *dataset* representatif, bagaimana *preprocessing* dilakukan, apakah *validation design* mencegah *data leakage*, dan apakah *metric reporting* cukup untuk dibandingkan. Setiap studi diberi kategori risiko rendah, beberapa perhatian metodologis, atau risiko tinggi. Studi berisiko tinggi tidak dihapus otomatis, tetapi ditandai untuk *sensitivity analysis*. Cara ini dipilih karena konteks minyak atsiri tetap memuat persoalan *index test*, *reference label*, *validation workflow*, dan *applicability*, meskipun bukan uji diagnostik klinis.

Sintesis dirancang dengan akurasi atau *correct classification rate (CCR)* sebagai *primary metric* karena dua ukuran ini paling sering muncul dalam studi kandidat. Metrik lain, seperti sensitivitas, spesifisitas, presisi, skor F1, dan AUC, dipakai sebagai *secondary metric* apabila tersedia. *Statistical meta-analysis* hanya akan dilakukan bila minimal dua studi memiliki tujuan klasifikasi, *data modality*, *risk of bias*, serta jumlah *validation sample* atau *confusion matrix* yang sebanding. Pemeriksaan kelayakan menunjukkan bahwa syarat tersebut tidak terpenuhi. Oleh karena itu, hasil utama dilaporkan sebagai *structured narrative synthesis*, sedangkan *subgroup analysis* dan *sensitivity analysis* digunakan untuk menjelaskan batas keterbandingan studi [7].

Rencana sintesis kuantitatif disusun dengan rumus ukuran efek berikut, tetapi hanya digunakan apabila subkelompok studi memenuhi syarat penggabungan statistik.

$$p_i = \frac{x_i}{n_i}$$

Keterangan:

- $p_i$  = proporsi klasifikasi benar pada studi ke-i.
- $x_i$  = jumlah klasifikasi benar pada *validation sample*.
- $n_i$  = jumlah seluruh *validation sample* pada studi ke-i.
- Fungsi *equation* mengubah hitungan klasifikasi benar menjadi akurasi atau *correct classification rate* (CCR) per studi.

$$y_i = \ln\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right)$$

Keterangan:

- $y_i$  = nilai logit dari  $p_i$ .
- $p_i$  = proporsi klasifikasi benar yang diperoleh dari *equation* sebelumnya.
- Fungsi *equation* menempatkan proporsi akurasi pada skala kontinu untuk *statistical meta-analysis*.

$$SE(y_i) = \sqrt{\frac{1}{x_i} + \frac{1}{n_i - x_i}}$$

Keterangan:

- $SE(y_i)$  = standard error dari logit *accuracy*.
- $x_i$  = jumlah klasifikasi benar.
- $n_i - x_i$  = jumlah klasifikasi tidak benar.
- Fungsi *equation* menjelaskan ketidakpastian ukuran efek pada level studi.

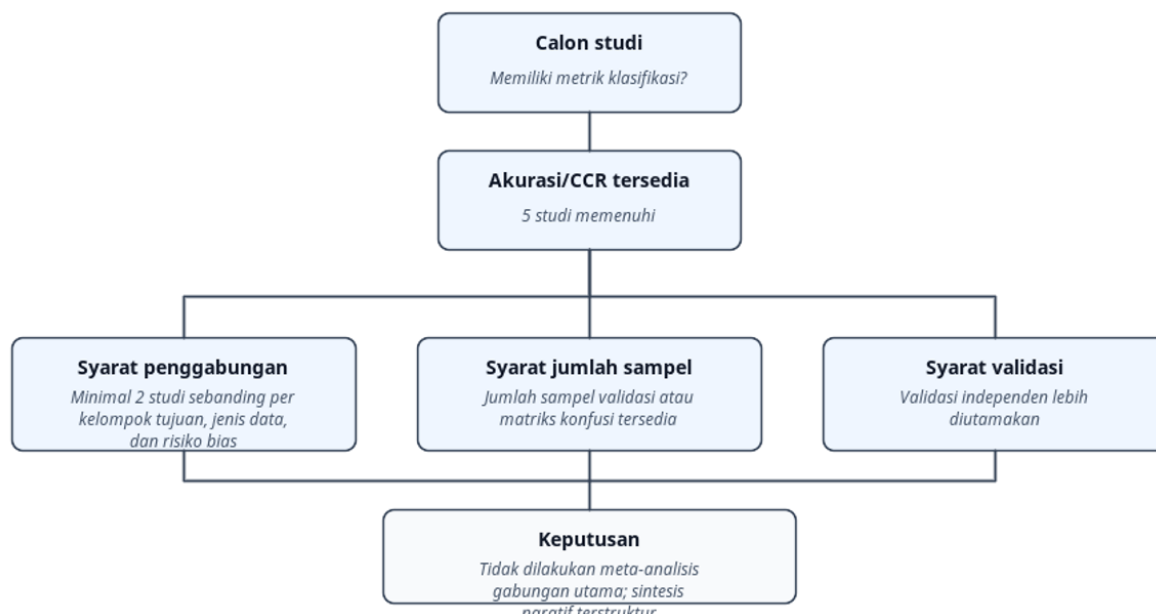
$$w_i^* = \frac{1}{SE_i^2 + \tau^2}$$

Keterangan:

- $w_i^*$  = bobot studi pada random-effects model.
- $SE_i^2$  = varians dalam-studi.
- $\tau^2$  = ragam antarstudi.
- Fungsi *equation* menentukan bobot studi apabila *quantitative pooling* layak dilakukan.

Penggabungan statistik hanya dipertimbangkan jika minimal dua studi berada dalam subkelompok yang sebanding, memiliki metrik yang sama, melaporkan jumlah sampel validasi atau matriks konfusi, dan tidak terhalang oleh risiko bias yang tinggi.





Gambar 4. Bagan keputusan kelayakan meta-analisis.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil seleksi menunjukkan bahwa *literature search* OpenAlex menghasilkan 160 rekaman awal. Setelah 29 duplikat dihapus, 131 rekaman masuk *title-abstract screening*; 78 rekaman dikeluarkan pada tahap tersebut, 53 artikel diperiksa pada tahap *full text*, dan 17 artikel dikeluarkan karena *full text* tidak tersedia atau tidak dapat dijangkau. Sebanyak 36 artikel menjadi calon *qualitative synthesis*, sedangkan 5 studi memiliki *classifier-performance data* yang cukup untuk *structured narrative synthesis*. Proporsi ini menunjukkan bahwa literatur autentikasi minyak atsiri sudah luas secara topik, tetapi masih terbatas untuk sintesis performa klasifikasi yang sebanding.

Tabel 1. Ringkasan alur seleksi studi

Tahap	Jumlah	Catatan
Rekaman awal	160	Kelompok hasil penelusuran OpenAlex
Duplikat dihapus	29	Deduplikasi DOI dan judul
Penyaringan judul/abstrak	131	Berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi
Dikeluarkan judul/abstrak	78	Salah domain, tanpa klasifikasi, atau tidak relevan
Teks lengkap dinilai	53	Artikel lolos penyaringan awal
Teks lengkap dikeluarkan	17	Teks lengkap tidak tersedia/terjangkau
Kandidat sintesis kualitatif	36	Masuk ekstraksi lanjutan
Kandidat performa kuantitatif	5	Masuk sintesis naratif terstruktur
Meta-analisis kuantitatif utama	0	Tidak layak karena heterogenitas dan jumlah sampel validasi

Lima studi kuantitatif yang dipertahankan memperlihatkan keragaman target klasifikasi dan *data modality*/instrumen. Studi tersebut mencakup MOS *electronic nose* untuk klasifikasi jenis minyak atsiri [2], HS-GC-MS untuk tahap kematangan bitter orange [3], sensor gas untuk deteksi adulterasi *Cistus ladanifer* [4], *electronic nose* untuk mutu *Rosa damascena* [6],

serta GC-FID dan FTIR untuk asal geografis dan varietas Eucalyptus [5]. Keragaman ini menegaskan bahwa setiap studi membangun workflow dari *data acquisition, feature extraction, modelling, validation*, hingga *metric reporting*. Dengan demikian, tabel karakteristik tidak hanya merangkum studi, tetapi juga memperlihatkan variasi workflow yang menjadi sumber heterogenitas.

Tabel 2. Karakteristik studi kuantitatif

Citation Key	Tujuan klasifikasi	Jenis data/instrumen	Model Representatif	Risk of Bias
mansourrasekh2021_07	Klasifikasi jenis minyak atsiri	E-nose MOS	SVM; LDA/QDA	Beberapa perhatian metodologis
saeedehtaghadomisa2018_19	Klasifikasi tahap kematangan	HS-GC-MS	ANN/MLP	Beberapa perhatian metodologis
sandravicianotudel2023_22	Deteksi adulterasi	Sensor gas MQ	ANN	Risiko tinggi
abbasgorjichakespa2016_53	Klasifikasi mutu	E-nose MOS	Fuzzy ARTMAP	Risiko tinggi
aimenelorche2024_69	Klasifikasi asal dan varietas	GC-FID; FTIR	O2PLS-DA; HCA	Risiko tinggi

Algoritma yang ditemukan meliputi LDA/QDA, SVM, ANN/MLP, Fuzzy ARTMAP, O2PLS-DA, dan HCA. Pada cabang *electronic nose*, LDA/QDA dan SVM muncul pada klasifikasi minyak atsiri herbal dan buah, sedangkan ANN dan Fuzzy ARTMAP muncul pada deteksi adulterasi atau klasifikasi mutu. Pada cabang kromatografi dan spektroskopi, ANN/MLP digunakan untuk data HS-GC-MS, sedangkan O2PLS-DA dan HCA digunakan pada GC-FID dan FTIR. Pola ini menunjukkan bahwa pilihan algoritma tidak dapat dilepaskan dari *data modality/instrumen* dan tujuan klasifikasi.

Tabel 3. Ringkasan algoritma dan metrik performa

Citation Key	Algoritma	Akurasi/CCR yang dilaporkan	Keputusan Sintesis
mansourrasekh2021_07	SVM; LDA/QDA	hingga 98,9%; beberapa metrik mendekati/menjadi 100%	Tidak digabungkan secara statistik
saeedehtaghadomisa2018_19	ANN/MLP	82 +/- 1% untuk model 15 peak	Tidak digabungkan secara statistik
sandravicianotudel2023_22	ANN	100% pada model dua sensor terpilih	Sintesis naratif risiko tinggi
abbasgorjichakespa2016_53	Fuzzy ARTMAP; LDA	Fuzzy ARTMAP 99%; LDA terbaik 82%	Sintesis naratif risiko tinggi
aimenelorche2024_69	O2PLS-DA; HCA	FTIR CCR 95,83%; beberapa metrik 100%	Sintesis naratif bersyarat

Akurasi atau *correct classification rate* (CCR) yang dilaporkan berada pada kisaran sekitar 82% hingga 100%. Rentang tersebut memperlihatkan bahwa beberapa model bekerja baik pada konteks uji masing-masing, tetapi belum membentuk satu *pooled accuracy estimate* karena target klasifikasi, *data modality/instrumen, validation scheme*, dan jumlah *validation sample* tidak seragam. *Risk-of-bias assessment* menunjukkan dua studi berada pada kategori beberapa perhatian metodologis dan tiga studi masuk kategori risiko tinggi untuk keperluan



sintesis. Dengan demikian, akurasi tinggi lebih tepat dibaca sebagai sinyal kelayakan pengembangan sistem, bukan sebagai dasar perbandingan langsung antar algoritma.

Heterogenitas kualitatif ditemukan pada tujuan klasifikasi, *data modality*/instrumen, algoritma, *validation design*, dan *risk of bias*. Target studi mencakup jenis minyak atsiri, tahap kematangan, adulterasi, mutu, asal, dan varietas; instrumen mencakup MOS *electronic nose*, sensor gas MQ, HS-GC-MS, GC-FID, dan FTIR. *Validation design* juga bervariasi dari *repeated split*, *train-test split*, *jackknifing*, LOOCV, hingga pelaporan kalibrasi/validasi yang terbatas. Pola ini menjadi dasar metodologis untuk tidak melakukan *quantitative pooling* lintas seluruh studi.



Gambar 5. Rentang akurasi/CCR yang dilaporkan pada calon studi kuantitatif.

*Subgroup analysis* memperlihatkan bahwa kombinasi tujuan klasifikasi dan *data modality*/instrumen belum berulang pada lebih dari satu studi. Kondisi ini membuat *random-effects model* tidak memiliki dasar perbandingan yang memadai. Hasil *sensitivity analysis* juga konsisten: setelah studi berisiko tinggi, *perfect performance*, jumlah *validation sample* tidak lengkap, atau tanpa *external validation* dikeluarkan, *evidence* yang tersisa tetap tidak membentuk subkelompok sebanding. Dengan demikian, *structured narrative synthesis* menjadi bentuk pelaporan yang paling sesuai untuk *dataset* saat ini.

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa *high performance* pada klasifikasi minyak atsiri perlu dibaca sebagai indikasi potensi, bukan *evidence* final bahwa satu pendekatan unggul untuk seluruh konteks bahan parfum. Lima studi kuantitatif melaporkan CCR tinggi, tetapi bekerja pada tujuan klasifikasi, *data modality*/instrumen, dan *validation design* yang berbeda. Karena itu, interpretasi hasil berorientasi pada pola metodologis dan batas sintesis, bukan pada satu *pooled performance estimate*.

Klaim mengenai *best-performing algorithm* harus diberi konteks karena *model performance* dipengaruhi oleh *data modality*/instrumen dan *validation design*. SVM dan LDA/QDA muncul pada *electronic nose* [2], ANN/MLP pada profil HS-GC-MS [3], ANN pada sensor gas untuk indikasi adulterasi [4], dan Fuzzy ARTMAP pada klasifikasi mutu *Rosa damascena* [6]. Pola ini menekankan kecocokan hubungan algoritma-data modality untuk skenario *quality control* tertentu.

Algoritma 1. Penyusunan *sensor-to-decision workflow* untuk autentikasi minyak atsiri

1. Input: data instrumental dari *electronic nose*, GC-MS/GC-FID, atau FTIR; metadata sampel; label autentikasi; dan *performance metric* yang dilaporkan.
2. Tentukan *data modality*, target klasifikasi, dan unit observasi yang akan dibandingkan agar setiap studi memiliki konteks analisis yang jelas.
3. Lakukan *preprocessing* dan *feature extraction* sesuai karakter data, kemudian catat *feature set* yang digunakan oleh model.
4. Pilih model klasifikasi yang dilaporkan studi, misalnya LDA/QDA, SVM, ANN/MLP, Fuzzy ARTMAP, O2PLS-DA, atau HCA.
5. Evaluasi *validation design*, jumlah *validation sample*, *confusion matrix* jika tersedia, serta indikasi *data leakage* atau *overfitting*.
6. Bandingkan *performance metric* dalam subkelompok *data modality* dan target klasifikasi yang sebanding.
7. Output: ringkasan hubungan data modality-algoritma-validation-performance sebagai dasar interpretasi *quality control*.

Algoritma 1 menjelaskan *sensor-to-decision workflow* yang mengurutkan data instrumental, representasi fitur, model klasifikasi, *validation design*, dan *performance metric*. Tahap tersebut membuat performa model dibaca bersama *data modality*, *feature set*, dan skema validasi yang membentuknya. Dengan demikian, pembahasan *quality control* diarahkan pada keterlacakan proses klasifikasi: data apa yang masuk, fitur apa yang digunakan, model apa yang diuji, validasi apa yang dipakai, dan keluaran performa apa yang dapat dibandingkan.

Dibandingkan dengan literatur yang dipertahankan, sintesis ini memperlihatkan bahwa studi individual cenderung menonjolkan *model performance* pada *dataset* tertentu, sedangkan kebutuhan review adalah menilai keterbandingan lintas studi. Studi adulterasi berbasis sensor gas dekat dengan isu autentikasi, tetapi memiliki *risk of bias* tinggi karena sampel sempit dan *internal validation* [4]. Studi klasifikasi kualitas dan diskriminasi jenis minyak atsiri menunjukkan *high performance*, tetapi masih memerlukan kehati-hatian terhadap validasi berbasis replikasi atau jumlah *validation sample* yang belum lengkap [2], [6]. Sintesis ini menggeser fokus dari besaran akurasi menuju keterbandingan dan replikasi *evidence* performa model.

Sumber *full text* yang belum menjadi inti *quantitative synthesis* memperkuat argumen bahwa autentikasi minyak atsiri merupakan masalah *multimodal data*. ATR-FTIR dengan *chemometrics* digunakan untuk kuantifikasi *adulterant* pada Rosa damascena dan evaluasi kualitas minyak atsiri melalui pola spektral [11], [12]. MAU-9 *electronic nose* dengan ANN memperlihatkan peran *sensor selection* dalam klasifikasi aroma, sedangkan GC-MS dengan PCA pada minyak nilam dan chiral GC-FID pada Pinus sylvestris menunjukkan pemanfaatan *compound profile* dan rasio enansiomerik [13], [14], [15]. Kelima sumber tersebut memperluas dasar literatur bahwa workflow informatika perlu menangani variasi instrumen, *feature representation*, target autentikasi, dan *reporting standard*.

Limitasi utama penelitian ini berasal dari *data heterogeneity*, *reporting limitation*, dan *risk of bias* studi primer. Tidak semua studi menyediakan jumlah *independent validation sample*,



*confusion matrix* lengkap, atau *external validation* yang memungkinkan perhitungan ukuran efek sebanding. Beberapa studi juga melaporkan *perfect performance* atau mendekati sempurna, sehingga interpretasinya perlu mempertimbangkan *overfitting*, *feature selection*, dan kemungkinan ketergantungan antar replikasi. Karena itu, keputusan untuk tidak melakukan *pooled quantitative meta-analysis* merupakan konsekuensi metodologis.

Rekomendasi riset lanjut adalah membangun *open dataset* minyak atsiri dengan metadata bahan, asal, instrumen, *preprocessing*, dan label autentikasi yang terdokumentasi. Studi berikutnya perlu melaporkan *confusion matrix*, jumlah *validation sample* per kelas, *class balance*, *train-test split* independen, dan *external validation* lintas kelompok data atau laboratorium. Perbandingan algoritma sebaiknya dilakukan pada *dataset* dan *validation protocol* yang sama agar klaim peringkat model lebih dapat dipertanggungjawabkan. Dengan langkah tersebut, penelitian masa depan dapat bergerak dari *structured narrative synthesis* menuju *quantitative meta-analysis* yang lebih kuat.

#### 4. KESIMPULAN

*Systematic review* ini menunjukkan bahwa algoritma klasifikasi berpotensi mendukung autentikasi dan evaluasi kualitas minyak atsiri sebagai bahan parfum, terutama melalui *electronic nose*, GC-MS/GC-FID, dan FTIR. *Evidence* yang tersedia belum mendukung *pooled quantitative meta-analysis* karena studi primer berbeda dalam *data modality/instrumen*, jenis minyak atsiri, *validation scheme*, satuan *metric reporting*, dan kelengkapan jumlah *validation sample*. Karena itu, *classifier performance* yang tinggi perlu dipahami sebagai *preliminary evidence*, bukan *pooled performance estimate* atau dasar untuk menetapkan algoritma terbaik menyeluruh.

Kontribusi informatika penelitian ini terletak pada pemetaan hubungan antara *data modality/instrumen*, algoritma klasifikasi, *validation practice*, *risk of bias*, dan *reporting requirement* untuk *AI-based quality-control workflow* pada bahan parfum. Sintesis ini menegaskan perlunya *open dataset*, *confusion matrix*, jumlah *validation sample* per kelas, *independent validation protocol*, dan perbandingan algoritma pada *dataset* yang sama. Arah tersebut menjadi dasar metodologis bagi penelitian lanjutan yang menghubungkan bahan parfum dengan model klasifikasi yang transparan, terukur, dan dapat direplikasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Type and magnitude of non-compliance and adulteration in neroli, mandarin and bergamot essential oils purchased on-line: potential consumer vulnerability, *Scientific Reports*, 2021. doi: 10.1038/s41598-021-90307-2.
- [2] Classification and Identification of Essential Oils from Herbs and Fruits Based on a MOS Electronic-Nose Technology, *Chemosensors*, 2021. doi: 10.3390/chemosensors9060142.
- [3] Classification of Bitter Orange Essential Oils According to Fruit Ripening Stage by Untargeted Chemical Profiling and Machine Learning, *Sensors*, 2018. doi: 10.3390/s18061922.



- [4] Proposal of a Gas Sensor-Based Device for Detecting Adulteration in Essential Oil of *Cistus ladanifer*, *Sustainability*, 2023. doi: 10.3390/su15043357.
- [5] Integration of FTIR Spectroscopy, Volatile Compound Profiling, and Chemometric Techniques for Advanced Geographical and Varietal Analysis of Moroccan Eucalyptus Essential Oils, *Sensors*, 2024. doi: 10.3390/s24227337.
- [6] Performance Comparison of Fuzzy ARTMAP and LDA in Qualitative Classification of Iranian *Rosa damascena* Essential Oils by an Electronic Nose, *Sensors*, 2016. doi: 10.3390/s16050636.
- [7] Preferred Reporting Items for a Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic Test Accuracy Studies: The PRISMA-DTA Statement, *JAMA*, 2018. doi: 10.1001/jama.2017.19163.
- [8] PROBAST+AI: an updated quality, risk of bias, and applicability assessment tool for prediction models using regression or artificial intelligence methods, *BMJ*, 2025. doi: 10.1136/bmj-2024-082505.
- [9] PROBAST: Prediction model study Risk Of Bias Assessment Tool, PROBAST, 2019. URL: [https://www.probast.org/wp-content/uploads/2020/02/PROBAST\\_20190515.pdf](https://www.probast.org/wp-content/uploads/2020/02/PROBAST_20190515.pdf).
- [10] QUADAS-2 Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies, NCBI Bookshelf, 2015. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK333349/>.
- [11] Cebi, Nur, Quantification of the Geranium Essential Oil, Palmarosa Essential Oil and Phenylethyl Alcohol in *Rosa damascena* Essential Oil Using ATR-FTIR Spectroscopy Combined with Chemometrics, *Foods*, vol. 10, no. 8, pp. 1848, 2021. doi: 10.3390/foods10081848.
- [12] Agatonovic-Kustrin, Snezana et al., Essential Oil Quality and Purity Evaluation via FT-IR Spectroscopy and Pattern Recognition Techniques, *Applied Sciences*, vol. 10, no. 20, pp. 7294, 2020. doi: 10.3390/app10207294.
- [13] Rasekh, Mansour et al., Performance Analysis of MAU-9 Electronic-Nose MOS Sensor Array Components and ANN Classification Methods for Discrimination of Herb and Fruit Essential Oils, *Chemosensors*, vol. 9, no. 9, pp. 243, 2021. doi: 10.3390/chemosensors9090243.
- [14] Nurani, Laela Hayu et al., Authentication of Patchouli Oil from Various Growing Regions Using GC-MS Method with Chemometric Combination on the Products in the Market, *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, pp. 90--96, 2024. doi: 10.31603/pharmacy.v10i1.10523.
- [15] Allenspach, Martina et al., Authenticity Control of Pine Sylvestris Essential Oil by Chiral Gas Chromatographic Analysis of Alpha-Pinene, *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, 2021. doi: 10.1038/s41598-021-96356-x.

