



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI

PITRAM 2026

Pertandingan Inovasi Antara Asasi Malaysia

Extended Abstract Book



11 dan 12 APRIL 2026

Dewan Berlian

Universiti Teknologi MARA

Cawangan Selangor

Kampus Puncak Alam



UNIVERSITI
TEKNOLOGI
MARA

Pusat
Asasi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI



MAJLIS DEKAN/PENGARAH ASASI
UNIVERSITI AWAM MALAYSIA

Smart Cram: Pendekatan Statistik Untuk Menilai Konsistensi Kromatografi

Gan Jye Ern, Pavan Shashi Kumar Naidu, Nur Arissa Irdina Syariman, Nur Marsya Zafirah Abdullah Muhammad Shukri, Wan Nur Atikah Wan Mohd Adnan, Wan Nor Adira Wan Khalit*

Pusat Asasi Sains Universiti Putra Malaysia, 43400 Upm Serdang, Selangor, Malaysia

*noradira@upm.edu.my

ABSTRACT

Kromatografi merupakan teknik analitik yang penting dalam menentukan komposisi dan ketulenan sesuatu bahan. Walau bagaimanapun, penilaian konsistensi kromatografi sering bergantung kepada parameter individu seperti masa penahanan dan luas puncak, serta pemerhatian visual yang bersifat subjektif. Kajian ini memperkenalkan SMART CRAM (Statistical Mapping for Analysis of Reproducibility Tools in Chromatographic Reliability Assessment Method) sebagai pendekatan statistik bersepadu untuk menilai konsistensi profil kromatografi secara menyeluruh. Kaedah ini menggabungkan analisis pekali korelasi dan indeks keserupaan bagi membina matriks keserupaan antara sampel. Data dianalisis melalui beberapa peringkat termasuk penormalan data, penjajaran masa, dan pengiraan metrik statistik. Hasil kajian menunjukkan bahawa SMART CRAM berjaya mengelaskan sampel kepada kumpulan yang konsisten dan serupa secara kuantitatif. Kumpulan 1: Ni₂₀AC (KS1 – KS4) menunjukkan korelasi yang sangat tinggi antara sampel dan indeks keserupaan melebihi 0.90. Manakala Kumpulan 2: Ni₂₀Zn₂₀AC (KS5 – KS6) menunjukkan korelasi hampir sempurna (≈ 0.98) dengan indeks keserupaan tinggi (~ 0.96) yang menunjukkan kestabilan sistem yang baik dan Kumpulan 3: Ni₂₀La₂₀AC (KS7 – KS10) menunjukkan variasi yang lebih ketara antara sampel dan korelasi sederhana hingga lemah. Oleh itu, analisis ini menunjukkan peningkatan ketepatan, mengurangkan subjektiviti, dan berpotensi diaplikasikan secara meluas dalam kawalan kualiti analitik serta sektor industri

Kata Kunci: Indeks Keserupaan; Korelasi; Kromatografi; Pemetaan; Statistik

1. PENGENALAN

Kromatografi merupakan teknik pemisahan yang digunakan secara meluas dalam bidang kimia analitik untuk mengenal pasti, mengasingkan dan menentukan kuantiti komponen dalam sesuatu campuran. Teknik ini memainkan peranan penting dalam pelbagai sektor termasuk farmaseutikal, makanan, bioteknologi dan industri minyak dan gas. Ketepatan analisis kromatografi amat bergantung kepada kebolehulangan dan konsistensi sistem sepanjang proses analisis. Secara umum, kromatografi boleh diklasifikasikan kepada beberapa jenis utama seperti kromatografi gas (GC), kromatografi cecair berprestasi tinggi (HPLC), kromatografi lapisan nipis (TLC), dan kromatografi lajur (Mukhlis et al., 2024). Setiap teknik mempunyai kelebihan tersendiri bergantung kepada jenis sampel, sifat kimia

bahan, serta keperluan analisis. Sebagai contoh, GC sesuai untuk sebatian mudah meruap, manakala HPLC lebih sesuai untuk sebatian tidak meruap dan sensitif terhadap suhu.

Dalam analisis kromatografi, parameter seperti masa penahanan, luas puncak, dan bentuk puncak sering digunakan untuk menilai prestasi sistem. Walau bagaimanapun, parameter ini biasanya dinilai secara berasingan dan tidak menggambarkan keseluruhan profil kromatogram. Tambahan pula, variasi kecil dalam keadaan operasi seperti suhu, kadar alir, tekanan dan keadaan kolum boleh menyebabkan perubahan dalam profil kromatografi, sekali gus menjejaskan interpretasi keputusan. Dalam kajian ini, gas kromatografi digunakan untuk menilai jumlah hidrokarbon yang dihasilkan selepas berlakunya reaksi antara sisa minyak masak dengan penambahan pemangkin (Khalit et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan analisis data, pendekatan statistik telah diperkenalkan untuk meningkatkan kebolehpercayaan keputusan kromatografi. Kaedah seperti analisis korelasi dan indeks keserupaan membolehkan penilaian yang lebih objektif terhadap hubungan antara profil kromatogram. Walau bagaimanapun, penggunaan kaedah ini secara berasingan masih tidak mencukupi untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang konsistensi sistem. Oleh itu, kajian ini mencadangkan SMART CRAM sebagai satu pendekatan inovatif yang mengintegrasikan pelbagai kaedah statistik dalam satu kerangka analisis yang sistematik. Pendekatan ini bertujuan untuk menilai keserupaan profil kromatografi secara holistik, mengurangkan kebergantungan kepada analisis subjektif, serta meningkatkan ketepatan dan kebolehpercayaan keputusan analitik. Tambahan pula, sistem ini juga akan dapat menghasilkan matriks keserupaan untuk visualisasi dan perbandingan antara sampel secara sistematik.

2. METODOLOGI

Kajian ini melibatkan analisis data kromatografi menggunakan pendekatan SMART CRAM yang terdiri daripada beberapa peringkat utama:

2.1 Pengumpulan Data

Data kromatografi diperoleh daripada beberapa sampel yang dianalisis menggunakan sistem kromatografi yang sama bagi memastikan keseragaman keadaan eksperimen. Dalam fasa ini, ujian prestasi pemangkin dijalankan menggunakan bahan mentah berasaskan lipid boleh diperbaharui (sisa minyak masak) dalam kelompok reaktor katil tetap. Parameter tindak balas, termasuk suhu, tekanan, kadar aliran hidrogen dan masa tindak balas, akan dioptimumkan. Pengagihan produk akan dikira menggunakan GC-FID untuk menentukan selektiviti hidrokarbon terhadap bahan api julat diesel. Hidrokarbon yang dihasilkan adalah di antara hidrokarbon C_{15} - C_{17} .

2.2 Penormalan Data

Data mentah dinormalisasikan untuk mengurangkan kesan variasi skala antara sampel dan memastikan perbandingan yang adil. Data dari tiga kumpulan telah digunakan iaitu Kumpulan 1 $Ni_{20}AC$ (KS1 – KS4), Kumpulan 2: $Ni_{20}Zn_{20}AC$ (KS5 – KS6) dan Kumpulan

3: Ni₂₀La₂₀AC (KS7 – KS10). Perbezaan untuk setiap Kumpulan ini adalah jenis pemangkin yang digunakan untuk menghasilkan minyak diesel dari sisa minyak masak. Penormalan luas dilakukan untuk menukarkan nilai luas puncak kepada bentuk peratus menggunakan persamaan 1:

$$\text{Normalized Area} = \frac{A_i}{\sum A} \times 100 \quad (1)$$

di mana A_i ialah luas puncak individu dan $\sum A$ ialah jumlah keseluruhan luas puncak, bagi memastikan perbandingan adalah adil walaupun terdapat perbezaan jumlah keseluruhan signal.

2.3 Penjajaran Masa

Penjajaran masa dilakukan bagi menyelaraskan perbezaan kecil dalam masa penahanan antara kromatogram yang berbeza. Penjajaran masa didefinisikan sebagai proses menyelaraskan nilai masa penahanan antara kromatogram yang berbeza supaya puncak yang sama dapat dibandingkan dengan tepat walaupun berlaku sedikit peralihan masa akibat variasi instrumen, biasanya menggunakan konsep julat masa tertentu. Dalam analisis ini, julat masa yang digunakan adalah ± 0.5 .

2.4 Analisis Pekali Korelasi

Seterusnya, pekali korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linear antara dua profil kromatogram melalui persamaan 2:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

di mana nilai r yang menghampiri 1 menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan menandakan konsistensi tinggi antara dua set sampel. Nilai korelasi dikategorikan seperti berikut:

Kuat ($r \geq 0.80$)

Sederhana ($0.30 \leq r \leq 0.79$)

Lemah ($r < 0.30$)

2.5 Indeks Keserupaan

Bagi melengkapkan analisis, indeks keserupaan juga digunakan untuk menilai tahap persamaan keseluruhan profil kromatogram secara kuantitatif menggunakan persamaan 3:

$$SI = \frac{\sum(x_i \cdot y_i)}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}} \quad (3)$$

di mana nilai yang menghampiri 1 menunjukkan tahap keserupaan yang tinggi. Nilai keserupaan indeks dikategorikan seperti berikut:

Kuat (≥ 0.90)

Sederhana ($0.30 \leq SI \leq 0.89$)

Lemah (< 0.30)

2.6 Pembinaan Matriks Keserupaan

Matriks keserupaan dibina bagi menggambarkan hubungan antara semua pasangan sampel secara sistematik. Dengan menggunakan Matriks Keserupaan, semua nilai keserupaan indeks bagi semua sampel dapat dibandingkan dan dikenalpasti mengikut kumpulan.

2.7 Pengelasan Sampel

Berdasarkan nilai korelasi dan indeks keserupaan, sampel dikelaskan kepada beberapa kumpulan bagi menilai tahap konsistensi. Setiap warna yang sama menunjukkan kumpulan indikator yang sama bagi korelasi dan keserupaan indeks.

Secara keseluruhannya, aliran metodologi ini bermula daripada data mentah, diikuti penjajaran masa, penormalan luas, pengiraan pekali korelasi dan indeks keserupaan sebelum membuat interpretasi terhadap tahap konsistensi sampel, di mana gabungan analisis ini membolehkan penilaian yang lebih sistematik, kuantitatif dan objektif terhadap kestabilan serta kebolehulangan data kromatografi.

3. HASIL DAN PERBINCANGAN

Hasil analisis menunjukkan bahawa pendekatan SMART CRAM berjaya mengenal pasti hubungan antara sampel dengan jelas melalui matriks korelasi dan indeks keserupaan.

Sampel telah dibahagikan kepada tiga kumpulan utama: Kumpulan 1: Ni₂₀AC (KS1 – KS4) (Jadual 1). Data menunjukkan korelasi yang sangat tinggi antara sampel dan indeks keserupaan melebihi 0.90 (Jadual 2). Ini menunjukkan konsistensi dan kebolehulangan yang sangat baik bagi sampel ini, manakala Kumpulan 2: Ni₂₀Zn₂₀AC (KS5 – KS6) menunjukkan korelasi hampir sempurna (≈ 0.98) dengan indeks keserupaan tinggi (~ 0.96)

yang menunjukkan kestabilan sistem yang baik (Jadual 3) dan (Jadual 4), akhir sekali Kumpulan 3: Ni₂₀La₂₀AC (KS7 – KS10) menunjukkan variasi yang lebih ketara antara sampel dan korelasi sederhana hingga lemah. Walaubagaimanapun, indeks keserupaan untuk sampel ini menunjukkan keserupaan yang lebih rendah. Hal ini kerana dipengaruhi oleh perubahan komposisi pemangkin dan kestabilan sistem. Pemangkin yang telah digunakan beberapa kali dalam reaksi dengan sisa minyak masak akan menghasilkan kok. Hal ini terjadi disebabkan oleh penggunaan suhu yang tinggi di dalam kajian (320 °C sehingga 350 °C).

Jadual 1. Hasil Analisis Nilai Korelasi antara Set KS

KORELASI ANTARA SET KS										
	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4	KS 5	KS 6	KS 7	KS 8	KS 9	KS 10
KS 1	1	0.81254925	0.7893689	0.8291043	-0.08853936	-0.09290176	-0.09216547	-0.09422294	-0.09046863	-0.08714527
KS 2	0.81254925	1	0.99539059	0.98168037	-0.02066357	-0.01066364	-0.01908464	-0.00478827	-0.09086215	0.28386699
KS 3	0.7893689	0.99539059	1	0.97553621	-0.03160704	-0.02488214	-0.02977803	-0.01969887	-0.10071004	0.29586313
KS 4	0.8291043	0.98168037	0.97553621	1	-0.03506029	-0.02547927	-0.03171693	-0.02179876	-0.09627922	0.24179134
KS 5	-0.08853936	-0.02066357	-0.03160704	-0.03506029	1	0.98167317	0.99128047	0.96317756	-0.01147211	0.434655
KS 6	-0.09290176	-0.01066364	-0.02488214	-0.02547927	0.98167317	1	0.99270492	0.99504729	-0.03262775	0.53977248
KS 7	-0.09216547	-0.01908464	-0.02977803	-0.03171693	0.99128047	0.99270492	1	0.97859841	-0.03828886	0.47766405
KS 8	-0.09422294	-0.00478827	-0.01969887	-0.02179876	0.96317756	0.99504729	0.97859841	1	-0.02027641	0.58774349
KS 9	-0.09046863	-0.09086215	-0.10071004	-0.09627922	-0.01147211	-0.03262775	-0.03828886	-0.02027641	1	-0.01341565
KS 10	-0.08714527	0.28386699	0.29586313	0.24179134	0.434655	0.53977248	0.47766405	0.58774349	-0.01341565	0

Jadual 2: Petunjuk Kategori Korelasi

Warna	Kategori Korelasi
Hijau	Kuat ($r \geq 0.80$)
Kuning	Sederhana ($0.30 \leq r \leq 0.79$)
Merah	Lemah ($r < 0.30$)

Jadual 3: Hasil Analisis Indeks Keserupaan antara Set KS

INDEKS KESERUPAAN ANTARA SET KS										
	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6	KS7	KS8	KS9	KS10
KS1	1		0.000102715	0.711383	3.76E-05	1.34E-05	3.85E-05	1.59E-05	1.57E-05	0.000157539
KS2	0.685748692	1	0.991230658	0.967023684	0.006001624	0.007746448	0.006796863	0.009003723	0.000184618	0.126980005
KS3	0.000102715	0.991230658	1	0.956641	0.005542	0.006745	0.006391	0.007822	0.000143	0.138488
KS4	0.711383	0.967023684	0.956641	1	0.004762	0.006279	0.005745	0.007087	0.000182	0.103753
KS5	3.76E-05	0.006001624	0.005542	0.004762	1	0.967251975	0.941614433	0.92101357	0.007661004	0.243191497
KS6	1.34E-05	0.007746448	0.006745	0.006279	0.967251975	1	0.975145121	0.991107	0.004904	0.345917
KS7	3.85E-05	0.006796863	0.006391	0.005745	0.941614433	0.975145121	1	0.96206	0.004495	0.284871
KS8	1.59E-05	0.009003723	0.007822	0.007087	0.92101357	0.991107	0.96206	1	0.006846734	0.399145899
KS9	1.57E-05	0.000184618	0.000143	0.000182	0.007661004	0.004904	0.004495	0.006846734	1	0.008301
KS10	0.000157539	0.126980005	0.138488	0.103753	0.243191497	0.345917	0.284871	0.399145899	0.008301	1

Jadual 4: Petunjuk Kategori Indeks Keserupaan

Warna	Kategori Korelasi
Hijau	Kuat ($r \geq 0.90$)
Kuning	Sederhana ($0.30 \leq r \leq 0.89$)
Merah	Lemah ($r < 0.30$)

Analisis ini menunjukkan bahawa pendekatan SMART CRAM mampu mengenal pasti variasi kecil dalam data, mengurangkan kebergantungan kepada pemerhatian visual serta memberikan penilaian yang lebih objektif dan kuantitatif. Pendekatan ini juga berjaya mengesan sampel yang berpotensi mengalami penyimpangan atau ketidakstabilan sistem.

4. KESIMPULAN

Kajian ini membuktikan bahawa SMART CRAM merupakan satu pendekatan yang berkesan dalam menilai konsistensi kromatografi secara menyeluruh. Integrasi analisis korelasi dan indeks keserupaan membolehkan penilaian yang lebih objektif, sistematik dan berasaskan data. Sampel dari Kumpulan 1: Ni_{20}AC (KS1 – KS4) menunjukkan semua data yang dihasilkan menunjukkan sangat konsisten, manakala Kumpulan 2 : $\text{Ni}_{20}\text{Zn}_{20}\text{AC}$ (KS5–KS6) menunjukkan data yang sangat serupa dan Kumpulan 3: $\text{Ni}_{20}\text{Zn}_{20}\text{AC}$ (KS5–KS6) menunjukkan data yang dihasilkan mempunyai variasi yang lebih tinggi. Analisis menggunakan pekali korelasi membuktikan bahawa sampel dalam kumpulan yang sama mempunyai hubungan yang kuat ($r \geq 0.80$), sekali gus menunjukkan keserupaan profil kromatografi. Manakala, penggunaan indeks keserupaan (≥ 0.90) pula mengesahkan persamaan keseluruhan profil kromatogram secara kuantitatif. Selain itu, kaedah ini juga berjaya mengenal pasti penyimpangan dan variasi kecil dalam data, memberikan maklumat tambahan berkaitan kestabilan sistem. Pendekatan ini bukan sahaja meningkatkan

ketepatan dan kebolehpercayaan analisis, malah mengurangkan subjektiviti dalam interpretasi kromatogram. Selain itu, SMART CRAM berpotensi untuk diaplikasikan dalam pelbagai bidang termasuk kawalan kualiti industri, penyelidikan akademik dan pembangunan kaedah analitik.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih dirakamkan kepada Pusat Asasi Sains, Universiti Putra Malaysia (UPM) atas sokongan kewangan dan kepercayaan yang diberikan bagi membolehkan penyertaan dalam pertandingan PITRAM 2026.

RUJUKAN

- Mukhlis, Munawarag S., Suyanti. (2024). Review Literatur Praktikum Gas Chromatography (Gc) Berbasis Inquiry Terhadap Peningkatan Keterampilan Inferensia Logika Dan Permodelan Matematika, 6 (3) 94-99.
- Khalit, W. N. A. W., Asikin-Mijan, N., Marliza, T. S., Gamal, M. S., Shamsuddin, M. R., Saiman, M. I., & Taufiq-Yap, Y. H. (2021). Catalytic deoxygenation of waste cooking oil utilizing nickel oxide catalysts over various supports to produce renewable diesel fuel. *Biomass and Bioenergy*, 154, 106248.