

## KAJIAN PELEPASAN BAU SISTEM EFLUEN KILANG SAWIT MENGGUNAKAN OLFAKTOMETER LAPANGAN DAN PANEL SKALA INTENSITI BAU

Abdul Hakim Salleh<sup>1</sup>, Muhamad Amirul Hanafi<sup>1</sup>, Herni Halim<sup>1\*</sup>, Ros Nadiah Rosli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia; Malaysia*

<sup>2</sup>*Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia;*

\*Corresponding author: [ceherni@usm.my](mailto:ceherni@usm.my)

### Abstrak

Bau daripada aktiviti kilang minyak sawit merupakan kebimbangan alam sekitar serius di Malaysia, khususnya di kolam efluen. Kajian ini meneliti Palm Oil Mill Effluent (POME) dari kolam anaerobik yang dikendalikan oleh kilang pemprosesan kelapa sawit berkaitan ciri-ciri penghasilan bau. Pengukuran parameter utama termasuk Chemical Oxygen Demand (COD), kandungan ammonia, dan jumlah pepejal. Purata COD dicatatkan 26,110 mg/L, jauh melebihi piawaian Malaysia iaitu 80 mg/L (Standard A) dan 200 mg/L (Standard B). Kandungan ammonia purata ialah 95 mg/L, melebihi had piawaian 50 mg/L, manakala kandungan pepejal ialah 28,891 mg/L, menunjukkan potensi masalah bau. Kepekatan bau in-situ diukur menggunakan field olfactometer (SM100) dan panel skala intensiti bau VDI 3940, menunjukkan julat kepekatan bau antara 0 hingga 44 OU/m<sup>3</sup>. Perbezaan intensiti bau dikesan berdasarkan jarak, daripada lemah hingga sangat lemah. Hubungan antara kepekatan bau dan intensiti sederhana, dengan  $R^2 = 0.4794$ . Ammonia merupakan penyumbang utama pelepasan bau tetapi dipengaruhi oleh faktor persekitaran. Pemetaan impak bau menggunakan QGIS menunjukkan kepentingan jarak dan pembolehubah persekitaran. Penyelidikan ini menyerlahkan keperluan pendekatan holistik dalam pengurusan bau industri minyak sawit, mengintegrasikan alat analisis kimia, penilaian deria, dan data geografi. Pendekatan ini dapat mengurangkan impak alam sekitar POME, menyokong pematuhan keperluan alam sekitar, dan meningkatkan kesejahteraan Masyarakat.

**Kata kunci:** intensiti bau, kepekatan bau, kolam Anaerobik, Olfactometer, pemetaan bau.

### Article history:

Submitted: 02/02/2026; Revised: 12/05/2026; Accepted: 30/06/2026; Online: 30/06/2026

### PENGENALAN

Pengeluaran minyak sawit merupakan industri utama global yang berkembang ke dalam penghasilan biodiesel (Lim dan Teong, 2010). Pada 2012, Malaysia menghasilkan 18.7 juta tan crude palm oil (CPO), menjadikannya pengeluar minyak sawit kedua terbesar di dunia (Lembaga Minyak Sawit Malaysia, 2022). Namun, pemprosesan minyak sawit menghasilkan sisa biojisim yang besar, termasuk Palm Oil Mill Effluent (POME), yang menjejaskan kelestarian alam sekitar (Ahmad et al., 2003). Proses kilang basah menghasilkan 0.44–1.18 m<sup>3</sup> air sisa setiap tan fresh fruit bunches (FFB), dengan lebih separuh air menjadi POME. Cecair likat ini mengandungi COD melebihi 20,000 mg/L serta nitrogen, fosforus, dan kalium yang tinggi, menyumbang kepada bau akibat penguraian anaerobik (Lam dan Lee, 2011; Najafpour et al., 2006).

Masalah bau menjadi isu global kerana kilang sering bersebelahan kawasan kediaman, menyebabkan episod bau yang menjejaskan aktiviti manusia dan kualiti udara (Aatamila et al., 2011; Henshaw et al., 2006). Bau dapat dikesan pada kepekatan rendah, memerlukan kawalan ketat (Nicell, 2009). Pada 2006, Malaysia merekodkan 1,082 kes gangguan bau (Othman et al., 2008). Walaupun POME melepaskan bau busuk dan gas rumah kaca, Malaysia kekurangan had pelepasan bau untuk kolam POME serta panduan mitigasi terperinci (Mohammad et al., 2021). Penilaian bau sering subjektif, merumitkan piawaian sedia ada seperti MS 1963:2007, yang terhad kepada analisis makmal dan tidak sesuai untuk komuniti (Kristanti et al., 2021).

Kajian ini bertujuan untuk membandingkan kaedah VDI 3940 dan olfaktometer lapangan SM100 untuk menilai bau dalam komuniti sekitar kolam anaerobik di kilang kelapa sawit terpilih tersebut. Secara ringkas, objektif kajian ini adalah: 1) untuk menyelidik ciri-ciri air sisa yang terhasil daripada kolam anaerobik di United Oil Palm Industries Sdn. Bhd., 2) mengenal pasti hubungan antara tahap intensiti bau yang diukur menggunakan kaedah VDI 3940 dengan kepekatan bau yang diukur menggunakan olfaktometer lapangan (in-field olfactometer), 3) serta membangunkan peta bau dalam lingkungan radius 5 km dari kawasan rawatan efluen di United Oil Palm Industries Sdn. Bhd. bagi memvisualisasikan penyebaran pelepasan bau. Kaedah VDI 3940 melibatkan panel pemilai intensiti bau seterusnya menyediakan pendekatan pelengkap dalam proses pengumpulan data bau. Ahli panel merekodkan tahap bau yang mereka kesan pada setiap selang 10 saat dalam borang penilaian

berdasarkan protokol yang sistematis dan berstruktur. Di samping pilihan tahap intensiti bau daripada tiada bau hingga bau yang sangat kuat, ahli panel turut merekodkan ciri-ciri bau yang dikesan, seperti bau rumput, bau asap, bau POME (Palm Oil Mill Effluent) atau deskripsi lain yang bersesuaian. Data kualitatif ini melengkapkan data kuantitatif yang diperoleh melalui penggunaan olfaktometer mudah alih. Setiap sesi penilaian dijalankan selama 10 minit, dan sebanyak tiga ulangan dilaksanakan bagi setiap sesi penilaian untuk memastikan data yang diperoleh adalah teguh dan boleh dipercayai. Panel penilai intensiti bau memberikan pemahaman yang lebih terperinci tentang ciri-ciri bau serta perubahan intensitinya mengikut masa. Olfaktometer lapangan Scentroid SM100 merupakan peranti mudah alih yang dilengkapi dengan mekanisme pencairan, sekali gus membolehkan pengukuran kepekatan bau secara langsung dan masa nyata di lapangan. Pengendalian olfaktometer mudah alih dilakukan secara serentak dengan penilai tinjauan bau bagi memastikan data yang diperoleh adalah setanding. Pengendali olfaktometer mudah alih merekodkan masa bau dikesan serta bacaan skala berdasarkan Air Quality Standards and Air Pollution Control Rules, Missouri, USA. Kaedah ini menyediakan pendekatan yang sistematis untuk merekodkan intensiti bau serta perubahan intensitinya mengikut masa. Pengukuran di setiap titik persampelan dilaksanakan sebanyak tiga ulangan sama seperti kaedah VDI 3940. Selain menyiasat hubungan antara intensiti bau dan kepekatan bau, peta bau dibangunkan dalam radius 5 km untuk memvisualisasikan penyebaran bau. Parameter seperti COD, kandungan ammonia, dan pepejal keseluruhan dinilai untuk mengenal pasti sumber bau dan membangunkan langkah mitigasi. Gabungan kaedah ini meningkatkan kebolehpercayaan penilaian bau dan membantu pengurusan alam sekitar yang lebih baik.

Pemetaan bau memberikan panduan kepada pembuat dasar dan pihak berkepentingan untuk mengenal pasti kawasan terjejas serta melindungi kawasan kediaman melalui zon penampungan. Kajian ini menyumbang kepada kawalan bau yang lebih berkesan, rawatan POME, dan kelestarian industri minyak sawit.

## METODOLOGI

Metodologi penyelidikan ini bermula dengan membuat tinjauan menyeluruh terhadap literatur yang menyokong pernyataan masalah dan objektif kajian. Ia bercabang kepada dua aliran utama: pengumpulan data bau dan sampel POME. Untuk yang pertama, Objektif 1 dicapai melalui ujian makmal bagi menentukan kandungan COD, ammonia, dan kandungan pepejal dalam sampel. Objektif 2 dicapai menggunakan dua kaedah: olfaktometer mudah alih (SM100) dan panel intensiti bau VDI 3940. Kedua-dua teknik ini melengkapkan satu sama lain dengan menyediakan data mengenai intensiti dan kepekatan bau.

Objektif 3 melibatkan pemetaan data bau menggunakan perisian Quantum GIS (QGIS). Hasil daripada olfaktometer mudah alih dan penilaian VDI 3940 digabungkan untuk menghasilkan peta bau keseluruhan. Data yang diperoleh dianalisis secara terperinci bagi mendapatkan penemuan. Ini disusuli dengan kesimpulan dan cadangan berdasarkan analisis data. Pendekatan ini mengikut struktur yang jelas, memberikan pemeriksaan menyeluruh terhadap pelepasan bau sistem POME melalui langkah-langkah yang dirangka mengikut objektif kajian.

## Lokasi Kajian

Kajian ini mengambil kira pelbagai lokasi dalam radius 5 km untuk mewakili pelbagai jenis persekitaran, termasuk kediaman, komersial, dan rekreasi. Penyelidikan ini dijalankan di beberapa titik dalam radius 5 km dari kolam anaerobik milik Kilang Pemprosesan Kelapa Sawit yang dikenalpasti sebagai sumber utama pelepasan bau. Kolam ini, terletak pada 5°09'12"N 100°30'22"E, dijadikan titik pusat untuk penilaian bau dan pengumpulan sampel POME. Lokasi yang berdekatan dengan kawasan komersial dan kediaman memerlukan kajian terperinci terhadap penyebaran bau dan kesannya terhadap alam sekitar.



Rajah 1: Kiri - Pandangan Satelit POME dan Lokasi Pengumpulan Sampel di Kolam Anaerobik di kilang tersebut Dan Kanan - Lokasi Titik Terpilih untuk Pengumpulan Data Bau dalam Radius 5 km dari Kolam Anaerobik kilang itu.

Penerima utama telah dikenal pasti, termasuk kawasan kediaman di tenggara kemudahan yang berada dekat dengan rawatan POME, menjadikannya terdedah kepada pelepasan bau, terutamanya pada waktu petang dan awal pagi. Di timur dan timur laut, zon industri berhampiran turut terdedah, dengan pekerja di kawasan tersebut menjadi penerima utama semasa waktu kerja. Di sempadan utara dan barat, sebuah Sungai Kerian meningkatkan risiko penyebaran bau yang boleh mempengaruhi ekosistem tempatan, flora, fauna, dan persepsi masyarakat.

Kawasan ladang kelapa sawit di barat juga berisiko, di mana pekerja ladang mungkin terjejas akibat pelepasan bau kerana masa yang dihabiskan di ladang. Rajah 1 menunjukkan pandangan satelit bagi setiap titik terpilih yang diwakili oleh ID Sampel seperti dalam Jadual 1, memberikan data untuk menangani isu alam sekitar dan kesihatan awam berkaitan bau POME.

Jadual 1: Butiran Lokasi Titik Terpilih untuk Pengumpulan Data Bau

| ID Sampel – Nama Lokasi                                      | Kategori             | Julat Radius (km) | Koordinat                |
|--|----------------------|-------------------|--------------------------|
| 01 – Kolam Anaerobik di United Oil Palm Industries Sdn. Bhd. | Sumber Bau           |                   | 5°09'12"N<br>100°30'22"E |
| 02 - Gudang Nibong Tebal Paper Mill Sdn. Bhd.                | Industri             | 1                 | 5°09'30"N<br>100°30'24"E |
| 03 – Stadium Mini USM  | Rekreasi             | 1                 | 5°08'56"N<br>100°29'55"E |
| 04 - Gerai Ampang Jajar                                      | Komersial            | 1                 | 5°08'44"N<br>100°29'54"E |
| 05 - Sekolah Kebangsaan Sungai Kechil                        | Pendidikan           | 2                 | 5°09'52"N<br>100°30'47"E |
| 06 – Hadapan Makmal Hidraulik REDAC (USM)                    | Pendidikan           | 2                 | 5°08'57"N<br>100°29'34"E |
| 07 - Taman Panchur Utama                                     | Perumahan            | 3                 | 5°09'48"N<br>100°31'39"E |
| 08 - Taman Ilmu Indah  | Perumahan            | 3                 | 5°09'46"N<br>100°29'57"E |
| 09 - Klinik Kesihatan Bandar Baharu                          | Penjagaan Kesihatan  | 4                 | 5°07'35"N<br>100°30'46"E |
| 10 - Pekan Baru  | Perumahan            | 5                 | 5°07'16"N<br>100°29'26"E |
| 11 - Jawi Golf Resort  | Rekreasi / Komersial | 5                 | 5°11'05"N<br>100°30'44"E |

### Olfaktometer mudah alih

Penilaian bau di lapangan menggunakan olfaktometer mudah alih, seperti Scentroid SM100, penting untuk penyiasatan kawasan dan sempadan, menangani aduan bau, serta menjejaki sumber bau. Scentroid SM100 ialah olfaktometer lapangan yang dilengkapi mekanisme pencairan, membolehkan pengukuran kepekatan bau secara langsung dan masa nyata. Scentroid SM100 ialah olfaktometer mudah alih berteknologi tinggi yang direka bentuk untuk mengukur kepekatan bau ambien dengan tepat. Peranti ini beroperasi berdasarkan prinsip asas yang sama seperti olfaktometer makmal, iaitu menggunakan pam vakum jenis Venturi untuk menyedut sampel udara ambien. Sampel udara tersebut kemudiannya dicairkan dengan udara yang telah ditapis menggunakan penapis karbon daripada tangki udara termampat bertekanan tinggi.

Scentroid SM100 menawarkan 15 nisbah pencairan yang berbeza, sekali gus memberikan tahap ketepatan dan fleksibiliti yang tinggi semasa pengukuran dijalankan. Campuran udara yang telah dicairkan disalurkan kepada pengguna melalui topeng muka pakai buang menggunakan hos fleksibel. Kepekatan campuran udara dikawal oleh injap pengawal aliran yang dilaraskan oleh penilai sehingga bau dapat dikesan. Kaedah ini membolehkan pengukuran kepekatan bau dilakukan dengan tepat, sekali gus menjadikan Scentroid SM100 sebagai instrumen yang berkesan untuk penilaian bau di lapangan (IDES, 2012). Dalam kajian ini, penilaian bau dilakukan secara in situ menggunakan Scentroid SM100, bersama pengukuran intensiti bau berhampiran kolam anaerobik dan sepuluh titik terpilih dalam radius 5 km dari kilang tersebut.

Operasi olfaktometer melibatkan penilaian serentak dengan penilai bau untuk memastikan data yang setanding. Operator merekodkan masa persepsi bau dan nilai skala berdasarkan Standard Kualiti Udara dan Peraturan Kawalan Pencemaran Udara, Missouri, Amerika Syarikat. Kaedah ini menyediakan pendekatan sistematik untuk menangkap intensiti bau serta variasinya. Data yang

dikumpul menggunakan olfaktometer mudah alih membantu memahami taburan spatial dan kepekatan bau dari POME. Setiap titik dinilai dengan tiga replikasi.

### VDI 3940: Panel Intensiti Bau

Panel intensiti bau, yang beroperasi di bawah kaedah VDI 3940, menyediakan pendekatan pelengkap untuk pengumpulan data bau. Ahli panel merekodkan tahap bau yang dirasai setiap 10 saat pada lembaran penilaian mengikut protokol sistematik. Mereka juga mencatatkan ciri bau seperti berbau rumput, berasap, POME, atau deskriptor lain. Data kualitatif ini melengkapkan pengukuran kuantitatif daripada olfaktometer mudah alih.

Jadual 2: Ciri-Ciri Bau untuk Penerangan Bau (VDI 3940, 2006)

| Penerangan Bau: |                  |    |                 |
|-----------------|------------------|----|-----------------|
| 1               | Getah terbakar   | 10 | Unsur Tanah     |
| 2               | Tar / asphalt    | 11 | Tengik, Hancing |
| 3               | Ekzos            | 12 | Telur Busuk     |
| 4               | Asap             | 13 | Busuk Pereputan |
| 5               | Cairan           | 14 | Kumbahan        |
| 6               | Manis            | 15 | Kobis busuk     |
| 7               | Peluntur         | 16 | Tahi            |
| 8               | Asam cuka        | 17 | Bauan ikan      |
| 9               | Minyak kenderaan | 18 | Lain-lain       |

Setiap kitaran penilaian berlangsung selama 10 minit, dengan tiga replikasi dilakukan bagi memastikan data yang kukuh dan boleh dipercayai. Panel intensiti bau memberikan pemahaman mendalam tentang ciri-ciri bau dan variasi temporalnya, seperti ditunjukkan dalam Jadual 2. Perbandingan data daripada panel intensiti bau dan olfaktometer mudah alih menghasilkan gambaran menyeluruh tentang pelepasan bau serta kesannya terhadap persekitaran. Pendekatan dua kaedah ini memastikan penilaian bau yang tepat dan boleh dipercayai.

### Ciri-Ciri POME: Kandungan COD, Ammonia, dan Pepejal Keseluruhan

Sampel POME dari saluran masuk kolam anaerobik di kilang itu dikumpulkan menggunakan botol HDPE 5 liter dan disimpan di bilik sejuk di Makmal Alam Sekitar 1 untuk mengekalkan keadaan asal. COD mengukur pencemar organik dalam sampel POME yang dicairkan pada nisbah 1:10. Dalam ujian COD, larutan Kalium Dikromat dan Merkuri Sulfat disediakan, dan sampel bertindak balas dengan reagen tersebut dalam reaktor COD pada suhu 110°C selama dua jam. Larutan ini dianalisa menggunakan Spektrofotometer DR 3900 pada  $\lambda = 620 \text{ nm}$ .

Kandungan ammonia ditentukan menggunakan kaedah konvensional dengan penyediaan reagen. Sampel POME dicairkan dalam nisbah 1:10. Ujian ammonia melibatkan penyediaan larutan pencernaan dan penunjuk, proses penyulingan, dan titrasi menggunakan asid sulfurik. Kepekatan ammonia dikira menggunakan formula.

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{NH}_3 - \text{N} = \frac{(A - B) \times 0.02 \times 14 \times 1000}{\text{mL POME sample}} \quad (3.1)$$

laitu:

- A, Isi padu  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang dititrat untuk sampel POME
- B, Isi padu  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang dititrat untuk kosong (blank)
- 14, Berat atom N
- 0.02, N  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Jumlah pepejal dalam POME ditentukan dengan mengeringkan sampel dalam ketuhar pada suhu 104°C sehingga beratnya tetap. Perbezaan berat sebelum dan selepas pengeringan memberikan kandungan pepejal keseluruhan menggunakan formula ini:

$$\text{Total Solid } \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(Y - X) \times 1000}{\text{mL POME sample}} \quad (3.2)$$

laitu:

- Y, Berat cawan lebur + sampel POME kering
- X, Berat cawan lebur

Data ujian makmal dianalisis dan hasilnya dibandingkan dengan piawaian alam sekitar Malaysia menggunakan perisian Microsoft Excel.

### Pemetaan Bau

Perisian QGIS digunakan untuk memplot peta bau berdasarkan ukuran olfaktometer Scentroid SM100 dan panel VDI 3940. Data dari pelbagai titik dalam radius 5 km dimasukkan ke dalam QGIS untuk mencipta representasi spatial intensiti bau. Warna kecerunan menunjukkan tahap kepekatan bau, dan peta disesuaikan dengan legenda dan label untuk memudahkan pembacaan.

Bacaan olfaktometer dibandingkan dengan bacaan panel bagi memastikan konsistensi. Analisis spatial dalam QGIS menghasilkan peta penyebaran bau sebagai representasi visual. Analisis korelasi dan regresi dijalankan untuk menentukan hubungan intensiti bau dengan pembolehubah persekitaran seperti suhu, kelembapan, kelajuan, dan arah angin. Keputusan ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang corak pelepasan bau, ciri-ciri POME, dan implikasinya terhadap pengurusan alam sekitar serta kesihatan awam.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### Ciri-Ciri POME: Kandungan POME dan Komposisi Gas kepada Bau

Pencirian POME dari kilang tersebut menunjukkan masalah alam sekitar yang serius disebabkan kandungan COD, ammonia, dan jumlah pepejal yang tinggi. Berdasarkan Jadual 3, nilai purata COD ialah 26,110 mg/L, jauh melebihi piawaian Malaysia untuk standard A (80 mg/L) dan standard B (200 mg/L). Ini menunjukkan kehadiran beban pencemar organik yang tinggi, selaras dengan kajian terdahulu (Wong et al., 2009; Said et al., 2015; Bello et al., 2013). COD yang tinggi mencerminkan pencernaan anaerobik yang kurang berkesan dan kemungkinan beban berlebihan pada kolam rawatan. Kesan potensial termasuk kekurangan oksigen pada badan air penerima pelepasan dan peningkatan pembentukan sebatian berbau seperti hidrogen sulfida dan asid lemak meruap.

Jadual 3: Kandungan COD dari kolam anaerobik POME

| Sampel | Tarikh     | Kandungan COD (mg/L) |
|--------|------------|----------------------|
| 1      | 29/03/2024 | 27750                |
| 2      | 29/04/2024 | 24470                |
| Purata |            | 26110                |

Jadual 4: Kandungan Ammonia dari Kolam Anaerobik POME

| Sampel | Tarikh     | Kandungan Ammonia (mg/L) |
|--------|------------|--------------------------|
| 1      | 29/03/2024 | 112                      |
| 2      | 29/04/2024 | 77                       |
| Purata |            | 95                       |

Jadual 5: Kandungan pepejal keseluruhan dari kolam anaerobik POME

| Sampel | Tarikh     | Kandungan Pepejal Keseluruhan (mg/L) |
|--------|------------|--------------------------------------|
| 1      | 29/03/2024 | 22278                                |
| 2      | 29/04/2024 | 35504                                |
| Purata |            | 28891                                |

Tahap purata ammonia ialah 95 mg/L, seperti ditunjukkan dalam Jadual 4, jauh melebihi had peraturan 50 mg/L untuk sisa nitrogen. Ini sejajar dengan laporan Arumugam dan Ismail (2020), yang turut melaporkan kepekatan ammonia tinggi dalam POME. Tahap ini menunjukkan kegagalan rawatan anaerobik dalam menghapuskan sebatian nitrogen, menimbulkan risiko kepada kehidupan akuatik, eutrofikasi, dan masalah bau.

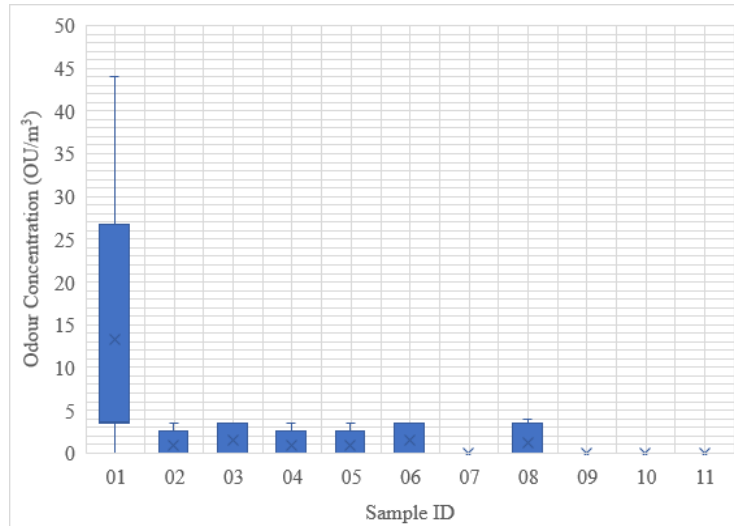
Merujuk kepada Jadual 5, kandungan pepejal keseluruhan purata ialah 28,891 mg/L, selaras dengan literatur (Wong et al., 2009; Said et al., 2015; Bello et al., 2013). Kandungan pepejal yang tinggi menunjukkan kehadiran bahan terampai dan terlarut yang boleh menyebabkan pemendapan di badan air penerima pelepasan, mengubah habitat akuatik dan meningkatkan eutrofikasi. Kandungan organik ini juga menyumbang kepada pembentukan sebatian berbau melalui penguraian anaerobik.

Penemuan ini menekankan perlunya peningkatan rawatan untuk mengurangkan pencemaran dan impak alam sekitar. Kajian masa depan disyorkan menggunakan teknologi rawatan maju seperti bioreaktor membran atau sistem anaerobik-aerobik bersepadu bagi meningkatkan penyingkiran COD, ammonia, dan pepejal. Pengoptimuman parameter seperti masa pengekalan hidraulik, pH, dan suhu diperlukan untuk kecekapan rawatan, bersama pemantauan berkala dan pematuhan piawaian.

Keterbatasan kajian termasuk kepelbagaian tinggi dalam komposisi sampel POME akibat kilang dan keadaan berbeza. Kajian lanjut dengan sampel besar dan tapak pelbagai diperlukan untuk mengesahkan hasil dan membangunkan strategi rawatan kukuh.

### Kepekatan Bau berdasarkan Olfactometer PorJadual (SM100 Olfactometer Lapangan)

Corak kepekatan bau yang diperoleh dengan olfactometer Scentroid SM100 dalam Rajah 2 menunjukkan perbezaan ketara antara tapak; kolam anaerobik di kilang itu mencatatkan kepekatan bau tertinggi, antara 25 OU/m<sup>3</sup> hingga 44 OU/m<sup>3</sup>. Ini mencerminkan pelepasan serius akibat penguraian anaerobik sebatian organik seperti karbohidrat, protein, dan lemak, yang menghasilkan hidrogen sulfida, ammonia, dan asid lemak mudah meruap. Faktor seperti suhu tinggi meningkatkan aktiviti mikrob, menghasilkan lebih banyak sebatian berbau, manakala kelembapan tinggi meningkatkan kebolehringitan sebatian ini. Arah dan kelajuan angin mempengaruhi penyebaran bau, dengan tumbuhan tebal sekitar kolam mungkin bertindak sebagai perangkap semula jadi, memberikan bacaan bau yang tinggi. Sebaliknya, lokasi lain mencatatkan kepekatan bau lebih rendah, antara 0 hingga 5 OU/m<sup>3</sup>, disebabkan jarak sumber-ke-penerima yang lebih jauh, suhu ambien lebih rendah, dan kelembapan kurang – semuanya mengurangkan kebolehringitan dan penyebaran bau. Attenuasi bau oleh bangunan dan tumbuhan juga mungkin menyumbang kepada bacaan lebih rendah di kawasan kediaman dan luar bandar.



Rajah 2: Corak kepekatan bau berdasarkan olfactometer lapangan Scentroid SM100 untuk semua ID sampel

Penemuan ini selaras dengan ulasan Bokowa (2013), yang menegaskan bahawa keadaan atmosfera memainkan peranan penting dalam pengukuran bau. Dalam suhu tinggi dan kelajuan angin rendah, haba menaikkan sebatian berbau ke atmosfera, mengurangkan kepekatan di aras tanah. Sebaliknya, sebatian ini terperangkap dekat permukaan tanah semasa suhu rendah dan cuaca tenang, menjajaskan kebolehdapatan.

Penyebaran asap dari cerobong kilang kelapa sawit itu, seperti ditunjukkan dalam Rajah 3, penting dalam mengesan dan menyebarkan bau. Asap tebal yang keluar dari cerobong sepadan dengan kepekatan bau lebih tinggi, kerana zarah asap bertindak sebagai pembawa sebatian berbau, menyebarkan bau lebih jauh ke bawah angin.

Penyelidikan masa depan perlu menumpukan pada pembolehubah ini, termasuk langkah kawalan bau yang lebih baik di kilang minyak sawit, seperti mengoptimumkan keadaan kolam anaerobik untuk mengurangkan pelepasan. Perbandingan dengan kesusasteraan mengesahkan pengaruh faktor iklim terhadap penyebaran bau, menyokong penemuan ini.

Namun, kajian ini menghadapi had seperti variasi dalam persepsi bau antara pemerhati dan perubahan sementara semasa persampelan. Faktor ini mempengaruhi penggeneralisasian keputusan, menunjukkan keperluan pemantauan berterusan dan penyelidikan lanjut untuk memahami corak penyebaran bau dalam senario persekitaran berbeza.



Rajah 3: Penyebaran asap dari cerobong kilang itu menunjukkan jenis asap hitam dan putih yang dilepaskan

### VDI 3940: Intensiti Bau

Analisis carta pai intensiti bau pada jarak berbeza dari kolam anaerobik di kilang tersebut, seperti dalam Rajah 4, memberikan maklumat penting tentang corak penyebaran bau. Pada sumbernya, Sampel ID 01 mencatatkan "Tiada bau" sebanyak 29%, "Sangat lemah" 43%, dan "Lemah" 25%, dipengaruhi oleh perubahan faktor persekitaran seperti kelajuan angin, suhu, dan kelembapan.



Rajah 4: Peratusan intensiti bau bagi setiap ID sampel

Di sumber pengeluaran bau, Sampel ID 01 mencatatkan tahap intensiti bau "Tiada bau" sebanyak 29% dan "Sangat lemah" sebanyak 43%, manakala bau "Lemah" muncul sebanyak 25%. Ini menunjukkan bahawa walaupun kolam anaerobik adalah sumber bau, intensitinya berbeza-beza, kemungkinan akibat perubahan keadaan persekitaran seperti arah dan kelajuan angin, suhu, dan kelembapan.

Dalam radius 1 km, bacaan intensiti bau kebanyakannya dalam kategori "Tiada bau" dan "Sangat lemah," dengan sedikit pemerhatian terhadap bau "Lemah" untuk Sampel ID 02, 03, dan 04. Jarak dekat dengan sumber mungkin menjelaskan pengesanan bau lemah sesekali, walaupun corak umum mencadangkan intensiti bau biasanya rendah, disebabkan penyebaran dan pencairan sebatian bau yang tinggi dalam lingkungan ini. Asap tebal, seperti dalam Rajah 3.2, sering menjadi petunjuk bau di udara, terutama di kawasan hilir angin. Sebagai contoh, dalam Sampel ID 03, intensiti bau lebih tinggi dikaitkan dengan asap tebal dari cerobong.

Di Sampel ID 02, bau dominan ialah resapan dan asap ekzos kereta. Kehadiran asap ekzos menunjukkan aktiviti kenderaan tinggi di kawasan ini, menyumbang kepada profil bau yang dikesan. Gabungan emisi industri dan kenderaan ini menekankan sifat kompleks sumber bau berhampiran operasi industri.

Pada radius 2 km, Sampel ID 05 dan 06, kategori "Tiada bau" dan "Sangat lemah" terus mendominasi; namun, peratusan "Tiada bau" sedikit meningkat berbanding radius 1 km. Ini menunjukkan bahawa penyebaran lebih jauh mengurangkan kepekatan bau, mencerminkan keberkesanan pencairan. Sampel ID 06 menunjukkan bau berasaskan tanah dan berasap. Komponen tanah mungkin berasal daripada sumber semula jadi atau tumbuhan, manakala bau berasap mewakili pelepasan asap dari cerobong. Faktor-faktor ini menunjukkan interaksi pelepasan industri dengan persekitaran.

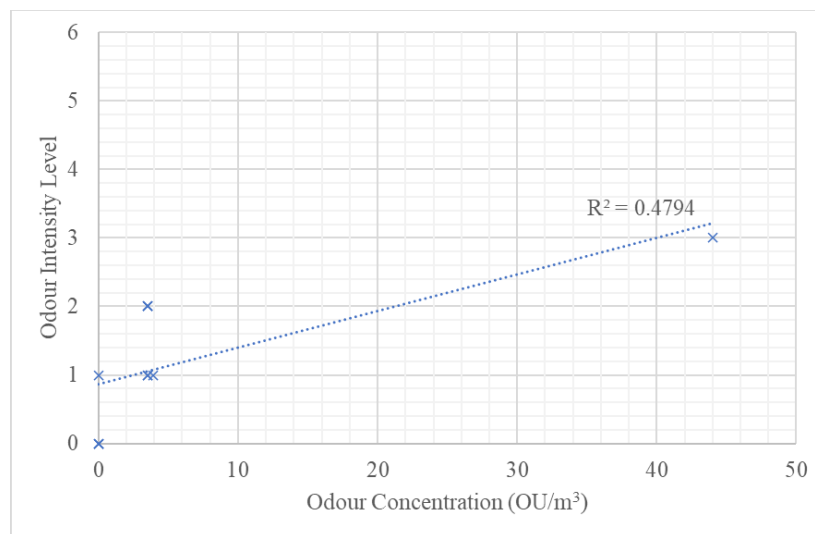
Pada radius 3 km, Sampel ID 07 tidak menunjukkan bau yang dapat dikesan, manakala ID 08 menunjukkan sedikit bau "Sangat lemah." Pada jarak ini, pelemahan kekuatan bau yang ketara berlaku, menyebabkan kesan bau berkurang secara drastik melebihi 2 km. Kepelbagaian bau pada Sampel ID 08 mungkin disebabkan infrastruktur pelbagai seperti industri, trafik, dan kemudahan tempatan lain. Bau campuran ini menekankan masalah pembahagian sumber bau di kawasan dengan penggunaan tanah bercampur.

Pada 4 km, Sampel ID 09 mencatatkan tiada bau yang dapat dikesan, menunjukkan bau dari kolam anaerobik tidak memberi kesan ketara pada jarak ini di bawah keadaan biasa. Pada 5 km, Sampel ID 10 dan 11, bau hampir tidak dapat dikesan, dengan 95%-100% pemerhatian dalam kategori "Tiada bau." Walaupun bau resapan, bahan reput, dan kumbahan diperhatikan pada Sampel ID 09 dan 10, intensiti bau tidak cukup kuat untuk dikesan oleh panel semasa penilaian. Faktor iklim seperti arah angin, kelembapan, dan suhu mungkin mempengaruhi penyebaran bau. Analisis menunjukkan corak penurunan intensiti bau dengan jarak dari kolam anaerobik, di mana intensiti "Sangat lemah" dan "Lemah" dominan sehingga 1 km. Melebihi 4 km, kesan bau menjadi tidak ketara.

### Perbandingan antara Olfactometer PorJadual (SM100 Field Olfactometer) dan VDI 3940: Intensiti Bau

Hubungan antara intensiti bau VDI 3940 berbanding dengan kepekatan bau SM100 olfactometer yang diplotkan dalam Rajah 5

memberikan maklumat penting tentang konsistensi dan hubungan ukuran-ukuran ini dalam penilaian kesan bau. Nilai  $R^2$  sebanyak 0.4794 menunjukkan terdapat korelasi sederhana antara kepekatan dan intensiti bau, oleh itu hampir separuh daripada variasi dalam intensiti bau tidak dapat dijelaskan hanya oleh kepekatan.



Rajah 5: Perbandingan antara Intensiti Bau dan Kepekatan Bau

Sepanjang pengukuran, variasi tinggi direkodkan, dengan kepekatan bau maksimum sebanyak 44 OU/m<sup>3</sup>, yang bersamaan dengan "bau yang jelas" (gred intensiti 3). Sebaliknya, kepekatan yang lebih rendah – antara 0 dan 3.9 OU/m<sup>3</sup> – berkait dengan "tiada bau" dan "bau yang sangat lemah" (tahap intensiti dari 0 hingga 2). Perbezaan ini mungkin menunjukkan bahawa walaupun kepekatan tinggi secara umumnya menghasilkan intensiti yang lebih tinggi, hal yang sama tidak boleh dikatakan bagi kepekatan rendah – bahawa ia akan menghasilkan bau yang lebih lemah secara proporsional. Ini mungkin disebabkan oleh variasi yang berkaitan dengan sensitiviti individu dan persekitaran.

Terdapat korelasi sederhana antara intensiti bau dengan kepekatan,  $R^2 = 0.4794$ , yang menunjukkan bahawa persepsi bau adalah lebih kompleks daripada sekadar kepekatan. Sebagai contoh, kepekatan bau sebanyak 3.5 OU/m<sup>3</sup> dinilai pada tahap 1 dan 2 bagi intensiti, menunjukkan

bahawa walaupun tahap kepekatan hampir sama, terdapat variasi dalam kekuatan bau yang dirasakan. Ketidakesesuaian ini menonjolkan kerumitan dalam persepsi bau yang bergantung kepada teknik pengukuran, keadaan persekitaran, dan tindak balas subjektif manusia.

Mengetahui hubungan ini boleh menjadi penting dalam pembangunan strategi yang berkesan untuk pengurusan bau. Walaupun kepekatan yang lebih tinggi secara umum berkait dengan intensiti yang lebih tinggi, korelasi sederhana menunjukkan bahawa bergantung hanya pada pengukuran kepekatan tidak sesuai untuk membuat ramalan tepat tentang intensiti bau. Gabungan data kepekatan objektif dengan penilaian intensiti subjektif boleh memberikan gambaran yang lebih lengkap untuk mengenal pasti sumber dan kawasan yang terjejas dengan lebih baik.

Penyelidikan lanjut akan difokuskan pada penyempurnaan hubungan antara intensiti bau dan kepekatan dalam konteks faktor-faktor lain yang mempengaruhi. Aplikasi praktikal mungkin termasuk penambahbaikan teknik pengukuran bau dan pembangunan pendekatan holistik untuk pengurusan bau. Menyedari batasan kajian ini, variasi dalam persepsi manusia dan dalam keadaan persekitaran adalah penting untuk memahami kesan yang mungkin berlaku ke atas keputusan. Pemantauan berterusan melalui kajian yang komprehensif diperlukan untuk penjelasan sepenuhnya tentang corak penyebaran bau dan implikasinya terhadap strategi pengurusan bau.

### Hubungan Kandungan Ammonia dan Kepekatan Bau

Hubungan antara kandungan ammonia dalam mg/L dan kepekatan bau yang dinyatakan dalam OU/m<sup>3</sup> adalah sangat penting untuk memahami persepsi dan intensiti bau dalam efluen industri. Menurut Jadual 6, Sampel 1, dengan kandungan ammonia sebanyak 112 mg/L, mempunyai bau yang tinggi pada 44 OU/m<sup>3</sup>. Sebaliknya, Sampel 2 mempunyai kandungan ammonia yang jauh lebih rendah iaitu 77 mg/L dengan kepekatan bau yang jauh lebih rendah iaitu 3.9 OU/m<sup>3</sup>. Variasi ini mungkin menunjukkan hubungan positif di mana semakin tinggi kandungan ammonia, semakin tinggi kepekatan bau. Walau bagaimanapun, dalam kes Sampel 2, penurunan dramatik dalam kepekatan bau walaupun dengan kandungan ammonia yang agak tinggi menunjukkan bahawa mesti ada faktor lain yang mempengaruhi kepekatan bau.

Jadual 6: Hubungan antara kandungan ammonia dan kepekatan bau

| Sampel | Kandungan Ammonia (mg/L) | Kepekatan Bau (OU/m <sup>3</sup> ) |
|--------|--------------------------|------------------------------------|
| 1      | 112                      | 44                                 |
| 2      | 77                       | 3.9                                |

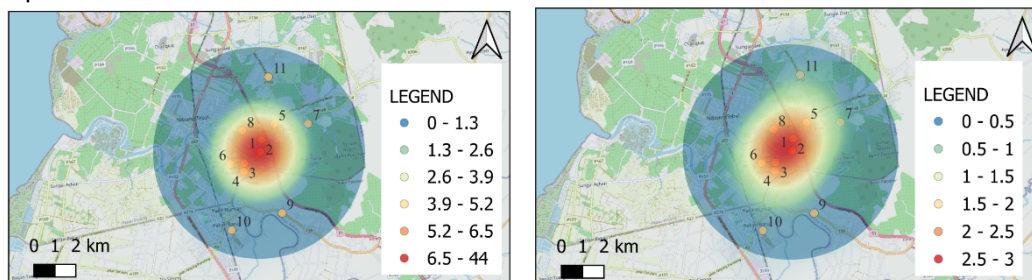
Walaupun bau menyengat ammonia mudah dikesan pada kepekatan rendah, yang secara langsung menyumbang kepada masalah bau di persekitaran industri, interaksinya dengan sebatian kimia lain yang wujud bersama, keadaan cuaca, dan faktor persekitaran merumitkan hubungan antara kandungan ammonia dan kepekatan bau. Sebagai contoh, terdapat sebatian sulfur dan sebatian organik yang tidak menentu yang sama ada bertindak secara sinergi atau antagonistik terhadap bau yang disebabkan oleh ammonia. Di samping itu, variasi individu dalam ambang pengesanan bau membawa kepada perbezaan dalam intensiti bau yang dirasakan.

Memahami hubungan antara kandungan ammonia dan kepekatan bau adalah penting untuk membangunkan strategi pengurusan bau yang sesuai. Dalam proses ini, walaupun ammonia merupakan penyumbang utama kepada bau, pengaruhnya diubah oleh pelbagai faktor persekitaran dan kimia. Pada masa hadapan, interaksi ini perlu diterokai lebih lanjut bagi meningkatkan lagi keberkesanan strategi pengurusan bau. Aplikasi praktikal ialah yang melibatkan pemantauan berterusan dan penyesuaian amalan pengurusan berdasarkan data komprehensif yang mempertimbangkan pelbagai faktor yang mempengaruhi bau. Oleh itu, pendekatan holistik ini akan memberikan kesan yang lebih mendalam dalam mengurangkan pelepasan bau dalam persekitaran industri.

### Perbandingan Peta Bau antara Olfactometer PorJadual (SM100) dan VDI 3940: Intensiti Bau

Walaupun penggunaan SM100 PorJadual Olfactometer dan panel intensiti bau VDI 3940 menghasilkan keputusan yang bervariasi dalam peta bau untuk beberapa titik, seperti Sample ID 07 dan 11, di mana bacaan untuk olfactometer SM100 di lapangan adalah rendah sementara intensiti bau VDI 3940 sedikit lebih tinggi, beberapa faktor boleh dikaitkan dengan perbezaan ini. Kekerapan pengumpulan data antara kedua-dua kaedah merupakan salah satu perbezaan utama. Sementara kaedah VDI 3940 menghasilkan bacaan intensiti bau setiap 10 saat, kaedah olfactometer SM100 hanya memberikan satu bacaan setiap 3 minit. Oleh itu, di bawah kaedah yang pertama, perubahan bau dari masa ke masa

dinilai sebagai agak berterusan dan terperinci, manakala yang kedua mungkin terlepas puncak pendek dalam kepekatan bau.



Rajah 6: Kiri - Peta bau merujuk kepada kepekatan bau oleh olfactometer lapangan SM100. Kanan - Peta bau merujuk kepada intensiti bau VDI 3940

Setelah itu, pengukuran yang lebih kerap dengan kaedah VDI 3940 akan membolehkan penangkapan kejadian bau sementara yang mungkin terlepas dalam bacaan kurang kerap di bawah kaedah SM100. Pelepasan bau boleh berbeza secara signifikan dalam tempoh masa yang singkat apabila arah dan kelajuan angin berubah, antara faktor-faktor lain. Dengan peningkatan kekerapan pengambilan sampel, kaedah VDI 3940 kemungkinan akan menangkap variasi ini dengan lebih baik, menghasilkan intensiti bau yang lebih tinggi yang direkodkan pada beberapa titik.

Perbezaan ini juga mungkin disebabkan oleh perbezaan dalam metodologi dan kepekaan antara kedua-dua teknik. Kaedah VDI 3940 menggunakan deria manusia, yang mungkin lebih sensitif terhadap jenis bau dan kepekatan tertentu berbanding dengan kaedah instrumental. Elemen pengesanan manusia ini mungkin mengesan bau pada kepekatan yang lebih rendah yang tidak dapat dikesan atau direkodkan dengan tinggi oleh instrumen SM100. Ini mungkin menjelaskan mengapa intensiti bau pada Sample ID 7 dan 11 kelihatan lebih tinggi dalam peta intensiti bau VDI 3940 berbanding dengan peta bau olfactometer menggunakan kepekatan bau SM100 di lapangan.

Secara umum, perbezaan antara kedua-dua peta pada pengukuran Sample ID 7 dan 11 disebabkan oleh perbezaan dalam kekerapan pengukuran dan sensitiviti intrinsik kaedah. Kadar pengambilan sampel yang lebih tinggi dalam kaedah VDI 3940 menangkap lebih banyak variasi bau jangka pendek yang mungkin tidak dirakam dengan selang masa yang panjang untuk olfactometer SM100 di lapangan, menghasilkan kemungkinan tahap intensiti bau yang berbeza. Perbezaan yang diperhatikan pada titik-titik tertentu, seperti Taman Panchur Utama dan Jawi Golf Resort, menunjukkan keperluan untuk mengambil kira persepsi manusia dan faktor persekitaran dalam strategi pengurusan bau.

## RUMUSAN

Kajian ini menyediakan maklumat penting mengenai ciri-ciri sisa air yang dihasilkan dari kolam anaerobik di kilang tersebut. Nilai COD yang tinggi pada 26,110 mg/L, kandungan ammonia pada 95 mg/L, dan kandungan pepejal keseluruhan sebanyak 28,891 mg/L menekankan keperluan untuk amalan rawatan dan pengurusan yang berkesan bagi mematuhi peraturan alam sekitar. Keputusan ini meningkatkan pemahaman kita tentang komposisi efluen dan akan menyumbang dengan ketara kepada peningkatan proses rawatan sisa air di fasiliti tersebut.

Kajian menunjukkan persetujuan yang baik ( $R^2 = 0.4794$ ) antara tahap intensiti yang dianggarkan dengan kaedah ujian VDI 3940 dan kepekatan yang diukur di lapangan menggunakan olfactometer. Ini menunjukkan bahawa data yang diperoleh dari kedua-dua kaedah boleh dibandingkan dengan agak adil dalam konteks keadaan persekitaran yang berubah dan bau latar belakang tambahan. Kedua-dua metodologi ini adalah saling melengkapi dan sangat penting dalam penilaian impak bau yang menyeluruh serta dalam merangka strategi pengurusan alam sekitar yang boleh dipercayai.

Peta bau kawasan sehingga radius 5 km dari kawasan rawatan efluen menunjukkan penyebaran bau yang agak baik, dengan pengesanan bahawa kepekatan dan intensiti bau adalah tertinggi berhampiran kolam anaerobik, yang berkurangan dengan peningkatan jarak dan memberikan taburan spatial seperti lajur yang baik, yang terbukti sangat penting untuk merancang skim kawalan bau. Pelepasan bau boleh dikesan 3-4 km dari kolam anaerobik pada tahap kepekatan dan intensiti yang signifikan, selepas itu ia berkurangan di bawah ambang yang dapat dikesan.

## Rujukan

- Aatamila, Marjaleena, Pia K. Verkasalo, Maarit J. Korhonen, Anna Liisa Suominen, Maija-Riitta Hirvonen, Marja K. Viluksela, and Aino Nevalainen. "Odour Annoyance and Physical Symptoms among Residents Living near Waste Treatment Centres." *Environmental Research* 111, no. 1 (January 2011): 164–70. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.11.008>.
- Arumugam, Veknesh, and Muhammad Heikal Ismail. "Synthesizing Green Chitosan-Magnetic Composite Particles from *Fenneropenaeus Indicus* Sp. for Palm Oil Mill Effluent (POME) Pre-Treatment." *Proceedings of the Third International Conference on Separation Technology 2020 (ICoST 2020)*, 2020. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201229.028>.

- Bello, M.M., M.M. Nourouzi, L. Chuah Abdullah, Thomas S.Y. Choong, Y.S. Koay, and S. Keshani. "Pome Is Treated for Removal of Color from Biologically Treated Pome in Fixed Bed Column: Applying Wavelet Neural Network (WNN)." *Journal of Hazardous Materials* 262 (November 2013): 106–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.06.053>.
- Bokowa, A. H. (2013). Assessing Accuracy of a New PorJadual Olfactometer, Scentroid SM100 for Measuring Ambient Odours-A Comparative Analytical Study of SM100 and Traditional Olfactometry Techniques.
- Henshaw, Paul, James Nicell, and Anamika Sikdar. "Parameters for the Assessment of Odour Impacts on Communities." *Atmospheric Environment* 40, no. 6 (February 2006): 1016–29. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.014>.
- Horrocks, D., Pointing, J., Longhurst, P. J., & Sneath, R. W. (2010). Odour guidance for local authorities. [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)
- IDES, C. Inc. (2012). Scentroid SM100: In-field Odour Measurement. [www.airenvironment.com.au](http://www.airenvironment.com.au)
- Kristanti, Risky Ayu, Tony Hadibarata, Adhi Yuniarto, and Abrar Muslim. "Palm Oil Industries in Malaysia and Possible Treatment Technologies for Palm Oil Mill Effluent: A Review." *Environmental Research, Engineering and Management* 77, no. 3 (September 30, 2021): 50–65. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.77.3.29522>.
- Lam, Man Kee, and Keat Teong Lee. "Renewable and Sustainable Bioenergies Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): Win-Win Strategies toward Better Environmental Protection." *Biotechnology Advances* 29, no. 1 (January 2011): 124–41. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.10.001>.
- Latif Ahmad, Abdul, Suzylawati Ismail, and Subhash Bhatia. "Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Membrane Technology." *Desalination* 157, no. 1–3 (August 2003): 87–95. [https://doi.org/10.1016/s0011-9164\(03\)00387-4](https://doi.org/10.1016/s0011-9164(03)00387-4).
- Lim, Steven, and Lee Keat Teong. "Recent Trends, Opportunities and Challenges of Biodiesel in Malaysia: An Overview." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, no. 3 (April 2010): 938–54. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.027>.
- Malaysian Palm Oil Board. (2022). Overview of the Malaysian Oil Palm Industry 2022 Foreword.
- Mohammad, Sharifah, Siti Baidurah, Takaomi Kobayashi, Norli Ismail, and Cheu Peng Leh. "Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—a Review." *Processes* 9, no. 5 (April 22, 2021): 739. <https://doi.org/10.3390/pr9050739>.
- Najafpour, G.D., A.A.L. Zinatizadeh, A.R. Mohamed, M. Hasnain Isa, and H. Nasrollahzadeh. "High-Rate Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent in an Upflow Anaerobic Sludge-Fixed Film Bioreactor." *Process Biochemistry* 41, no. 2 (February 2006): 370–79. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.06.031>.
- Nicell, Jim A. "Assessment and Regulation of Odour Impacts." *Atmospheric Environment* 43, no. 1 (January 2009): 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.033>.
- Othman, M. N., Yunus, M. N. M., Dahlan, K. Z. M., Zakaria, N., & Hamid, K. H. K. (2008). Irradiation of odor pollutant using powerful electron beam energy before discharge to the environment. *Nuclear Malaysia R and D 2008 Seminar*. [http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:39122295](http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:39122295)
- Poh, Phaik Eong, Wei-Jin Yong, and Mei Fong Chong. "Palm Oil Mill Effluent (POME) Characteristic in High Crop Season and the Applicability of High-Rate Anaerobic Bioreactors for the Treatment of Pome." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 49, no. 22 (November 17, 2010): 11732–40. <https://doi.org/10.1021/ie101486w>.
- Said, Muhammad, Abdul Wahab Mohammad, Mohd Tusirin Mohd Nor, Siti Rozimah Sheikh Abdullah, and Hassimi Abu Hasan. "Investigation of Three Pre-Treatment Methods Prior to Nanofiltration Membrane for Palm Oil Mill Effluent Treatment." *Sains Malaysiana* 44, no. 3 (March 1, 2015): 421–27. <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4403-14>.
- Salmiati, S., Razman Salim, M., Olsson, G., Ujang, Z., & Osson, G. (2010). COD Fractionation of Palm oil mill effluent (POME): Typical Treatment, Biodegradability and Modeling. In *J. Environ. Eng. Manage.* (Vol. 20, Issue 6). <https://www.researchgate.net/publication/240618535>
- VDI 3940. (2006). VDI 3940 Part 2: Measurement of Odour Impact by Field Inspection - Measurement of the Impact Frequency of Recognizable Odours Plume Measurement. In *Handbuch Reinhaltung der Luft* (Vol. 1, Issue VDI (Verein Deutsche Ingenieure)). Engl. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss.
- Wong, Yee Shian, Mohd Omar Kadir, and Tjoon Tow Teng. "Biological Kinetics Evaluation of Anaerobic Stabilization Pond Treatment of Palm Oil Mill Effluent." *Bioresource Technology* 100, no. 21 (November 2009): 4969–75. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.074>.
- Wu, Ta Yeong, Abdul Wahab Mohammad, Jamaliah Md. Jahim, and Nurina Anuar. "Pollution Control Technologies for the Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) through End-of-Pipe Processes." *Journal of Environmental Management* 91, no. 7 (July 2010): 1467–90. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.008>.
- Yaacof, Nurashikin, Nastaen Qamaruzzaman, and Yusri Yusup. "Comparison Method of Odour Impact Evaluation Using Calpuff Dispersion Modelling and On-Site Odour Monitoring." *Engineering Heritage Journal* 1, no. 1 (January 10, 2017): 1–5. <https://doi.org/10.26480/gwk.01.2017.01.05>.