HUBUNGAN KELENGKAPAN DUST COLLECTOR DAN LAMA OPERASIONAL DENGAN KONSENTRASI PM2,5 DAN PM10 DI SEKITAR ASPHALT MIXING PLANT, KOTA PALANGKA RAYA

(Relationship of Dust Collector Completeness and Operating Duration with PM2.5 and PM10 Concentrations around Asphalt Mixing Plants in Palangka Raya City)

Adi Kusuma[1)], Deddy Nan Setya Putra Tanggara[1)], Subrata Aditama Kittie Aidon Uda[1)], Theresia Susi[1)], Kartika Bungas[1)], Moch. Anwar[1)]

[1)] Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Palangka Raya, Jl. Hendrik Timang, Palangka Raya, Kalimantan Tengah 73111

Kontak person: kusumaagr21@gmail.com

ABSTRACT

Asphalt mixing plants (AMP) release particulate matter that degrades ambient air quality, and the dust collector (DC) is the main component for controlling it. This study was conducted to evaluate the completeness of DC components and to analyze the relationship of DC completeness and operating duration with PM2.5 and PM10 concentrations at two AMPs in Palangka Raya City, Indonesia, namely PT. Karya Halim Sampoerna with a complete DC and PT. Ganisha Dwi Utama with an incomplete DC lacking a water tank, water pump, water sprayer, and wet scrubber. Concentrations were recorded for each hour of seven hours of operation using a direct reading air quality detector. Descriptive statistics and simple linear regression were applied. The mean PM2.5 and PM10 concentrations were 38.6 and 50.0 µg/m³ at the AMP with a complete DC and 191.4 and 250.7 µg/m³ at the AMP with an incomplete DC, about five times higher. DC completeness was strongly associated with concentrations (R^2 = 0.818 for PM2.5 and 0.819 for PM10; $p < 0.001$). Operating duration showed opposite trends: concentrations increased by about 84% over seven hours at the incomplete DC ($p < 0.01$) but decreased by 56% to 57% at the complete DC ($p < 0.01$). Because DC completeness was confounded with site, date, and weather, the results are interpreted as associations. Complete installation of DC components, routine maintenance, and periodic 24 hour monitoring with meteorological records are recommended.

Keywords: asphalt mixing plant; dust collector; linear regression; PM10; PM2.5

ABSTRAK

Kegiatan produksi *Asphalt Mixing Plant* (AMP) melepaskan partikulat yang menurunkan kualitas udara ambien, dan *Dust Collector* (DC) merupakan komponen utama pengendaliannya. Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi kelengkapan komponen DC serta menganalisis hubungan kelengkapan DC dan lama operasional dengan konsentrasi PM2,5 dan PM10 pada dua AMP di Kota Palangka Raya, yaitu PT. Karya Halim Sampoerna dengan DC lengkap dan PT. Ganisha Dwi Utama dengan DC tidak lengkap karena tidak memiliki tangki air, pompa air, penyemprot air, dan *wet scrubber*. Konsentrasi diukur untuk setiap jam selama tujuh jam operasi menggunakan alat *Air Quality Detector* pembacaan langsung, kemudian data dianalisis dengan statistik deskriptif dan regresi linier sederhana. Rerata konsentrasi PM2,5 dan PM10 tercatat 38,6 dan 50,0 µg/m³ pada AMP dengan DC lengkap, dan 191,4 dan 250,7 µg/m³ pada AMP dengan DC tidak lengkap, atau sekitar lima kali lebih tinggi. Hubungan yang sangat kuat ditunjukkan antara kelengkapan DC dan konsentrasi (R^2 = 0,818 untuk PM2,5 dan 0,819 untuk PM10; $p < 0,001$). Arah hubungan lama operasional ditemukan berlawanan: konsentrasi meningkat sekitar 84% selama tujuh jam pada DC tidak lengkap ($p < 0,01$), tetapi menurun 56% sampai 57% pada DC lengkap ($p < 0,01$). Karena kelengkapan DC tidak terpisah dari lokasi, tanggal, dan cuaca pengukuran, hasil penelitian ditafsirkan sebagai asosiasi. Pelengkapan komponen DC, perawatan berkala, dan pemantauan 24 jam yang disertai pencatatan meteorologi direkomendasikan.

Kata kunci: asphalt mixing plant; dust collector; PM10; PM2,5; regresi linier

PENDAHULUAN

Asphalt Mixing Plant (AMP) digunakan untuk memproduksi campuran aspal panas bagi pembangunan dan pemeliharaan jalan (Putra *et al*., 2022). Pada proses produksi, agregat dikeringkan dan dipanaskan sehingga debu, partikulat PM10 dan PM2,5, serta gas hasil pembakaran dilepaskan ke udara (Nurhaedah *et al*., 2020; Mokhtar, 2021). Partikulat berukuran kurang dari 10 mikron dan 2,5

mikron dapat terhirup dan mengendap pada saluran pernapasan, dan dampaknya terhadap kesehatan telah didokumentasikan secara luas (Pope dan Dockery, 2006; WHO, 2021).

Pengendalian debu pada AMP dilakukan melalui *Dust Collector* (DC). Dua tipe DC yang umum digunakan adalah tipe kering (*dry scrubber*), yaitu debu dari silinder pengering dihisap ke *cyclone* dan partikel berat dipisahkan, serta tipe basah (*wet scrubber*), yaitu debu dari udara buangan disemprot air dan ditampung dalam bak penampung. Kelengkapan DC dinyatakan terpenuhi apabila sembilan komponen tersedia dan berfungsi, yaitu pemutar (*cyclone*), *exhaust fan*, pipa penyalur, cerobong, tangki air, pompa air, penyemprot air, *dry scrubber*, dan *wet scrubber* (SOP/UPM/DJBM-79 Rev:01, 2020).

Pencemaran udara oleh kegiatan usaha diatur melalui Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 (Pemerintah RI, 2009) dan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 (Pemerintah RI, 1999), sedangkan baku mutu udara ambien ditetapkan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (Pemerintah RI, 2021). Di Kota Palangka Raya, hanya dua unit AMP yang beroperasi, dan kedua unit tersebut berbeda dalam kelengkapan komponen DC. Kondisi ini dimanfaatkan sebagai studi kasus untuk membandingkan konsentrasi partikulat pada AMP dengan DC lengkap dan tidak lengkap.

Penelitian ini ditujukan untuk (1) mengevaluasi kelengkapan komponen DC pada dua unit AMP; (2) mengukur konsentrasi PM2,5 dan PM10 di area operasional AMP; serta (3) menganalisis hubungan kelengkapan DC dan lama operasional dengan konsentrasi PM2,5 dan PM10.

BAHAN DAN METODE

Lokasi, Waktu, dan Desain Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan pendekatan kuantitatif deskriptif berbentuk studi kasus pada dua unit AMP di Kota Palangka Raya, yaitu PT. Karya Halim Sampoerna (Jalan Mahir Mahar Km 4,6 No. 88; merek BAMP-800P-SA; kapasitas 40 sampai 60 ton/jam; tahun pembuatan 2008) dan PT. Ganisha Dwi Utama (Jalan Cilik Riwut Km 42, Tangkiling; merek BAMP-800P-SAC; kapasitas 80 ton/jam; tahun pembuatan 2010). Kedua lokasi dipilih karena hanya dua unit AMP yang beroperasi di Kota Palangka Raya dan kondisi kelengkapan DC keduanya berbeda.

Pengukuran dilaksanakan pada hari Kamis, 23 Januari 2025 (pukul 08.27 sampai 15.17 WIB) di PT. Karya Halim Sampoerna dan pada hari Rabu, 9 April 2025 (pukul 06.17 sampai 13.58 WIB) di PT. Ganisha Dwi Utama, dengan menyesuaikan jadwal produksi aspal tiap perusahaan.

Pengumpulan Data

Kelengkapan komponen DC diperiksa melalui inspeksi langsung dan dokumentasi visual terhadap sembilan komponen yang dipersyaratkan (SOP/UPM/DJBM-79 Rev:01, 2020). Konsentrasi PM2,5 dan PM10 diukur dengan alat *Air Quality Detector* pembacaan langsung (satuan µg/m³) di area produksi aspal, dan satu nilai dicatat untuk setiap rentang satu jam operasi selama tujuh jam sehingga diperoleh tujuh data per lokasi untuk setiap parameter. Durasi tujuh jam dipilih untuk mewakili periode operasi maksimum AMP, sehingga pengukuran tidak mengikuti waktu 24 jam yang dipersyaratkan untuk udara ambien.

Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel. Hubungan kelengkapan DC dengan konsentrasi partikulat dianalisis dengan regresi linier sederhana berikut, dengan X dikodekan 0 untuk DC lengkap dan 1 untuk DC tidak lengkap, serta Y adalah konsentrasi PM2,5 atau PM10 (n = 14 untuk setiap parameter).

$$Y = a + bX$$

Hubungan lama operasional (jam ke 1 sampai 7) dengan konsentrasi dianalisis dengan regresi linier sederhana secara terpisah untuk setiap AMP (n = 7). Kekuatan hubungan dikategorikan menurut Sugiyono (2019), yaitu sangat rendah (R = 0,00 sampai 0,199), rendah (0,20 sampai 0,399), sedang (0,40 sampai 0,599), kuat (0,60 sampai 0,799), dan sangat kuat (0,80 sampai 1,00). Signifikansi diuji pada $\alpha = 5\%$ dengan uji F dan uji t.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelengkapan Komponen Dust Collector

Kesembilan komponen yang dipersyaratkan ditemukan pada DC di PT. Karya Halim Sampoerna, sedangkan hanya lima komponen ditemukan pada DC di PT. Ganisha Dwi Utama (Tabel 1). Tangki air, pompa air, penyemprot air, dan *wet scrubber* tidak ditemukan pada AMP yang disebut terakhir sehingga sistem pengendalian debu basah tidak dimiliki, dan pengendalian hanya dilakukan oleh *cyclone* dan *dry scrubber*. Kondisi pemeliharaan komponen tidak dinilai secara terukur sehingga evaluasi dibatasi pada ketersediaan komponen.

Tabel 1. Kelengkapan komponen DC pada dua unit AMP

Komponen DC	PT. Karya Halim Sampoerna	PT. Ganisha Dwi Utama
Pemutar (cyclone)	Ada	Ada
Exhaust fan	Ada	Ada
Cerobong	Ada	Ada
Tangki air	Ada	Tidak ada
Pompa air	Ada	Tidak ada
Penyemprot air	Ada	Tidak ada
Dry scrubber	Ada	Ada
Wet scrubber	Ada	Tidak ada
Pipa penyalur	Ada	Ada
Jumlah komponen	9 dari 9	5 dari 9

Keterangan: kelengkapan mengacu pada SOP/UPM/DJBM-79 Rev:01.

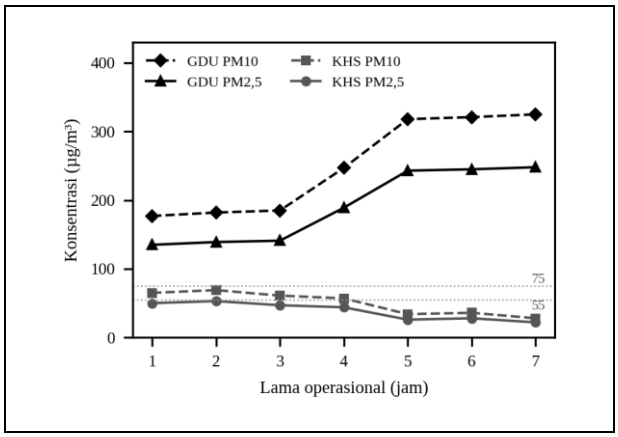
Konsentrasi PM2,5 dan PM10

Konsentrasi PM2,5 dan PM10 hasil pengukuran setiap jam disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1. Rerata tujuh jam pada AMP dengan DC lengkap tercatat 38,6 µg/m³ untuk PM2,5 (kisaran 22 sampai 53 µg/m³) dan 50,0 µg/m³ untuk PM10 (28 sampai 69 µg/m³), sedangkan pada AMP dengan DC tidak lengkap tercatat 191,4 µg/m³ untuk PM2,5 (135 sampai 248 µg/m³) dan 250,7 µg/m³ untuk PM10 (177 sampai 325 µg/m³). Rerata pada AMP dengan DC tidak lengkap dengan demikian sekitar lima kali lebih tinggi, yaitu 4,96 kali untuk PM2,5 dan 5,01 kali untuk PM10.

Tabel 2. Konsentrasi PM2,5 dan PM10 (µg/m³) per jam operasi

Jam ke	KHS PM2,5	KHS PM10	GDU PM2,5	GDU PM10
1	50	65	135	177
2	53	69	139	182
3	47	61	141	185
4	44	57	189	247
5	26	34	243	318
6	28	36	245	321
7	22	28	248	325
Rerata	38,6	50,0	191,4	250,7

Keterangan: KHS = PT. Karya Halim Sampoerna (DC lengkap); GDU = PT. Ganisha Dwi Utama (DC tidak lengkap).



Gambar 1. Konsentrasi PM2,5 dan PM10 per jam operasi pada AMP dengan DC lengkap (KHS, PT. Karya Halim Sampoerna) dan DC tidak lengkap (GDU, PT. Ganisha Dwi Utama). Garis titik menunjukkan baku mutu 24 jam PM2,5 (55 µg/m³) dan PM10 (75 µg/m³)

Sebagai pembanding, baku mutu udara ambien rerata 24 jam ditetapkan sebesar 55 µg/m³ untuk PM2,5 dan 75 µg/m³ untuk PM10 (Pemerintah RI, 2021). Seluruh nilai per jam pada AMP dengan DC lengkap berada di bawah baku mutu tersebut, sedangkan seluruh nilai per jam pada AMP dengan DC tidak lengkap melampauinya. Rerata tujuh jam kedua AMP juga melampaui pedoman WHO (2021) untuk rerata 24 jam, yaitu 15 µg/m³ untuk PM2,5 dan 45 µg/m³ untuk PM10. Pembandingan ini bersifat indikatif karena waktu pengukuran penelitian (tujuh jam) tidak setara dengan waktu pengukuran pada baku mutu (24 jam).

Hubungan Kelengkapan DC dengan Konsentrasi Partikulat

Hubungan yang sangat kuat dan signifikan diperoleh antara kelengkapan DC dan konsentrasi PM2,5 ($R = 0{,}904$; $R^2 = 0{,}818$) serta PM10 ($R = 0{,}905$; $R^2 = 0{,}819$) (Tabel 3). Sebesar 81,8% dan 81,9% variasi konsentrasi dijelaskan oleh kelengkapan DC, sedangkan sisanya, 18,2% dan 18,1%, dijelaskan oleh faktor lain. Koefisien regresi (152,9 µg/m³ untuk PM2,5 dan 200,7 µg/m³ untuk PM10) bernilai sama dengan selisih rerata kedua AMP, sehingga konsentrasi pada AMP dengan DC tidak lengkap diperoleh lebih tinggi sebesar nilai tersebut. Pola ini konsisten dengan prinsip kerja DC tipe basah, yaitu debu pada udara buangan disemprot air dan ditampung sehingga tidak dilepaskan ke udara.

Tabel 3. Hasil regresi linier sederhana antara kelengkapan DC (X) dan konsentrasi partikulat (Y)

Parameter	PM2,5	PM10
Multiple R	0,904	0,905
R^2	0,818	0,819
Adjusted R^2	0,803	0,804
Galat baku (µg/m³)	38,94	50,96
Konstanta (a)	38,57	50,00
Koefisien (b)	152,86	200,71
t hitung	7,34	7,37
F hitung	53,93	54,29
Sig. F	0,000009	0,000009
Jumlah data (n)	14	14

Keterangan: X = 0 (DC lengkap) dan 1 (DC tidak lengkap).

Hasil tersebut tidak dapat dibaca sebagai pengaruh kausal DC. Kelengkapan DC dalam penelitian ini tidak terpisah dari identitas lokasi karena hanya dua AMP yang dibandingkan, sehingga perbedaan kapasitas produksi (40 sampai 60 dan 80 ton/jam), umur mesin (2008 dan 2010), letak, tanggal, jam pengukuran, dan cuaca ikut melekat pada selisih konsentrasi. Selain itu, tujuh data per jam pada satu hari di setiap lokasi saling berkaitan sehingga uji signifikansi cenderung terlalu optimistis. Hasil dikategorikan sebagai asosiasi yang konsisten dengan fungsi DC.

Hubungan Lama Operasional dengan Konsentrasi Partikulat

Arah hubungan lama operasional dengan konsentrasi ditemukan berlawanan pada kedua AMP (Tabel 4). Pada AMP dengan DC tidak lengkap, konsentrasi meningkat sebesar 23,3 µg/m³ per jam untuk PM2,5 dan 30,5 µg/m³ per jam untuk PM10 (R^2 = 0,885 dan 0,886; $p < 0,01$), atau naik 83,7% dan 83,6% dari jam ke 1 sampai jam ke 7. Pada AMP dengan DC lengkap, konsentrasi menurun sebesar 5,5 dan 7,3 µg/m³ per jam (R^2 = 0,872 dan 0,878; $p < 0,01$), atau turun 56,0% dan 56,9%.

Tabel 4. Hasil regresi linier sederhana antara lama operasional (X, jam) dan konsentrasi partikulat (Y, µg/m³)

AMP	Parameter	b	a	R^2	p
KHS	PM2,5	−5,536	60,71	0,872	0,0021
KHS	PM10	−7,286	79,14	0,878	0,0018
GDU	PM2,5	23,321	98,14	0,885	0,0016
GDU	PM10	30,536	128,57	0,886	0,0016

Keterangan: n = 7 untuk setiap persamaan; nilai p dihitung dari data pada Tabel 2.

Perubahan tersebut tidak berbentuk garis lurus. Pada AMP dengan DC tidak lengkap, konsentrasi PM2,5 naik tajam dari 141 µg/m³ pada jam ke 3 menjadi 243 µg/m³ pada jam ke 5, kemudian bertahan pada 243 sampai 248 µg/m³, sedangkan pada AMP dengan DC lengkap penurunan terbesar terjadi antara jam ke 4 dan jam ke 5 (44 menjadi 26 µg/m³). Perubahan mendadak tersebut kemungkinan berkaitan dengan perubahan beban produksi, kadar air agregat, atau pengaturan pembakaran, tetapi faktor tersebut tidak dicatat. Penjelasan bahwa pembakaran dan penyaringan menjadi lebih stabil seiring waktu pada AMP dengan DC lengkap merupakan dugaan yang belum diuji. Perbedaan tanggal dan jam pengukuran serta tidak tersedianya data meteorologi juga menyebabkan pengaruh cuaca tidak dapat dipisahkan dari pengaruh lama operasional.

Peningkatan konsentrasi seiring waktu hanya teramati pada AMP dengan DC tidak lengkap sehingga kelengkapan DC dipandang sebagai prioritas pengendalian dibandingkan pengaturan jam operasi.

Keterbatasan dan Implikasi

Beberapa keterbatasan dicatat. Pertama, konsentrasi diukur dengan alat pembacaan langsung dan bukan dengan metode acuan, sehingga ketelitian nilai perlu ditegaskan melalui kalibrasi atau pengukuran gravimetri. Kedua, pengukuran dilakukan di area produksi sehingga konsentrasi yang diperoleh adalah konsentrasi partikulat di sekitar sumber, bukan emisi cerobong maupun konsentrasi di permukiman. Ketiga, pengukuran hanya dilakukan selama tujuh jam pada satu hari di setiap lokasi.

Berdasarkan hasil tersebut, pelengkapan tangki air, pompa air, penyemprot air, dan *wet scrubber* pada AMP yang belum lengkap, perawatan berkala seluruh komponen DC, serta pengukuran partikulat secara berkala (minimal setiap tiga bulan) disarankan. Pengawasan oleh instansi lingkungan hidup dan penetapan standar minimum DC untuk setiap unit produksi aspal panas juga disarankan. Penelitian lanjutan diarahkan pada pemantauan 24 jam dengan pencatatan meteorologi dan beban produksi, pengukuran pada lebih banyak AMP, hari, dan titik, serta penggunaan model regresi berganda.

KESIMPULAN

1. Kelengkapan komponen DC dinilai berbeda pada kedua AMP: sembilan komponen ditemukan pada PT. Karya Halim Sampoerna dan lima komponen pada PT. Ganisha Dwi Utama, yang tidak memiliki tangki air, pompa air, penyemprot air, dan *wet scrubber*.
2. Rerata konsentrasi PM2,5 dan PM10 pada AMP dengan DC tidak lengkap (191,4 dan

250,7 µg/m³) tercatat sekitar lima kali lebih tinggi daripada AMP dengan DC lengkap (38,6 dan 50,0 µg/m³), dan hubungan yang sangat kuat dan signifikan ditunjukkan antara kelengkapan DC dan konsentrasi (R^2 = 0,818 untuk PM2,5 dan 0,819 untuk PM10).

3. Hubungan lama operasional dengan konsentrasi ditemukan berlawanan, yaitu peningkatan sekitar 84% selama tujuh jam pada AMP dengan DC tidak lengkap dan penurunan 56% sampai 57% pada AMP dengan DC lengkap. Karena kelengkapan DC tidak terpisah dari lokasi, tanggal, dan cuaca, hasil ditafsirkan sebagai asosiasi. Pelengkapan komponen DC, perawatan berkala, dan pemantauan partikulat selama 24 jam disarankan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan dan karyawan PT. Karya Halim Sampoerna dan PT. Ganisha Dwi Utama yang telah memberikan akses lokasi dan menyesuaikan jadwal produksi selama pengukuran, serta kepada Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Palangka Raya yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Mokhtar, A. (2021) ‘Model penanggulangan pencemaran udara pada mesin Asphalt Mixing Plant’, *Persatuan Insinyur Indonesia*, 1(1).

Nurhaedah, H., Ibrahim, F. dan Risna (2020) ‘Analisis pencemaran udara akibat pabrik aspal berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara’, *Madani Legal Review*, 4(2), hal. 108-123.

Pemerintah RI (1999) *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Pemerintah RI (2009) *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Pemerintah RI (2021) *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VII Baku Mutu Udara Ambien*. Tersedia di: https://jdih.setkab.go.id/puu/buka_puu/176367/Lampiran_VII_Salinan_PP_Nomor_22_Tahun_2021.pdf

Pope, C.A. dan Dockery, D.W. (2006) ‘Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect’, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), hal. 709-742. Tersedia di: https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485

Putra, I., Anwar, C. dan Hidayat, R. (2022) *Kajian proses produksi asphalt concrete binder course menggunakan Asphalt Mixing Plant (AMP) pada PT. Alhas Jaya Group di Aceh Utara*.

SOP/UPM/DJBM-79 Rev:01 (2020) *Standar Operasional Prosedur Sertifikasi Laik Operasi Asphalt Mixing Plant (AMP) dan Batching Plant*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

Sugiyono (2019) *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

WHO (2021) *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization.