

Sebaran Debu Dan Risiko Kesehatan Masyarakat Di Sekitar Pabrik Gula X: Analisis Perbandingan Musim Giling Dan Tidak Giling

Rofifah Zulfa Azizah¹, Naris Dyah Prasetyawati², Sigid Sudaryanto³, Adib Suyanto⁴

¹⁻⁴Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta

*e-mail: rofiyahzulfa2929@gmail.com

Abstrak

Aktivitas industri gula selama musim giling berpotensi meningkatkan konsentrasi debu partikulat yang dapat memengaruhi kesehatan masyarakat di sekitar pabrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis sebaran debu partikulat (PM_{2,5} dan PM₁₀) serta risiko kesehatan masyarakat di sekitar Pabrik Gula X, berdasarkan perbedaan musim giling dan non-giling. Penelitian menggunakan desain observasional deskriptif-analitik dengan pendekatan *Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Pengukuran PM_{2,5} dan PM₁₀ dilakukan menggunakan alat DAZ-400 pada radius 0–2000 meter dari sumber emisi, disertai wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi debu cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber pencemar dan mengikuti arah angin dominan. Pada musim giling, rata-rata konsentrasi PM_{2,5} tertinggi sebesar 40,26 µg/m³ ditemukan pada radius 0–500 meter. Terdapat perbedaan signifikan keluhan kesehatan antara musim giling dan non-giling ($p < 0,05$) serta hubungan yang signifikan antara paparan debu dan keluhan kesehatan masyarakat ($p < 0,05$). Disimpulkan bahwa aktivitas musim giling meningkatkan konsentrasi debu partikulat dan risiko gangguan kesehatan, terutama pada wilayah yang berdekatan dengan sumber emisi.

Kata Kunci: PM_{2,5}, PM₁₀, risiko kesehatan, pabrik gula

PENDAHULUAN

Industri gula merupakan sektor strategis yang berkontribusi terhadap ketahanan pangan dan pertumbuhan ekonomi nasional. Fenomena umum yang terjadi di banyak lokasi pabrik, terutama yang berdekatan dengan pemukiman adalah pelepasan emisi udara, khususnya debu partikulat yang menjadi sumber konflik berkepanjangan antara pihak industri dan masyarakat. Partikulat debu, terutama fraksi halus PM_{2,5} dan PM₁₀, merupakan polutan yang paling mendapat perhatian karena kemampuannya untuk menembus saluran pernapasan manusia dan memicu berbagai gangguan kesehatan (WHO, 2021). Proses inti produksi gula, yang melibatkan penggilingan tebu dan pembakaran ampas tebu (*bagasse*) di *boiler* untuk menghasilkan uap, hanya berlangsung intensif selama Musim Giling pada bulan April - Oktober. Pelepasan emisi debu dari cerobong PG yang melampaui batas (*plume*) menyebabkan deposisi partikulat di rumah, kebun, dan sawah warga. Secara teknis, ini menunjukkan kegagalan parsial dari sistem pengendali polusi udara pabrik (misalnya, *wet scrubber* atau *cyclone*) untuk menahan fraksi partikel halus PM_{2,5} dan PM₁₀ (Farmer et al., 2021).

Partikulat memiliki komposisi kimia yang kompleks dan berpotensi berbahaya karena dapat mengandung logam berat serta senyawa organik lainnya, yang karakteristiknya dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, proses pembakaran, serta efektivitas sistem pengendalian pencemaran udara yang digunakan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021). Secara teoretis, PM_{2,5} dapat menembus alveoli dan memicu stres oksidatif dan inflamasi sistemik, yang bermanifestasi sebagai penyakit pernapasan. Keluhan yang paling sering muncul adalah peningkatan kasus Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), batuk kronis, sesak napas, dan eksaserbasi asma (Liu et al., 2022). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Magetan memperlihatkan grafik jumlah penyakit khususnya di sekitar kawasan pabrik gula dengan angka 43 penyakit TBC (*Tuberculosis*) Paru dan 112 Pneumonia (BPS-Statistic of Magetan Regency 2025). Belum ditemukan adanya studi yang secara sistematis dan kuantitatif membandingkan konsentrasi Partikulat materi PM_{2,5} dan PM₁₀ di sekitar Pabrik Gula X pada dua kondisi operasional yang kontras, yaitu musim giling dan musim tidak giling.

Pemanfaatan QGIS dalam analisis *buffer* dan *overlay* akan menghasilkan peta tematik yang secara visual membandingkan konsentrasi debu di setiap zona jarak antara musim giling dan musim tidak giling (Parra, 2022). Hasil perbandingan ini diharapkan dapat memberikan bukti ilmiah yang kuat mengenai seberapa jauh dampak operasional Pabrik Gula X meluas ke permukiman, sehingga dapat menjadi dasar bagi pengambilan kebijakan yang lebih terarah, baik dalam hal penentuan zona aman (*setback zone*), peningkatan teknologi mitigasi polusi pabrik, maupun penyusunan program kesehatan masyarakat yang lebih terfokus di wilayah-wilayah yang teridentifikasi paling rentan dan terpapar.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional deskriptif-analitik dengan pendekatan spasial (GIS) menggunakan metode buffer radius 0–2000 m dari cerobong pabrik. Data diperoleh melalui pengukuran $PM_{2.5}$ dan PM_{10} menggunakan alat DAZ-400 serta wawancara keluhan kesehatan masyarakat, sedangkan pemetaan spasial dilakukan menggunakan *QGIS* untuk memvisualisasikan persebaran debu. Sampel dalam penelitian ini adalah sebagian masyarakat yang bermukim di sekitar Pabrik Gula X, diwakili oleh 32 rumah tangga yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Kemudian data yang telah dikumpulkan dilakukan analisis analitik untuk mengetahui adanya hubungan antara kadar debu ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}) dengan keluhan kesehatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencemaran udara merupakan kondisi terjadinya perubahan komposisi udara akibat masuknya zat pencemar yang dapat menurunkan kualitas udara dari kondisi alaminya. Zat pencemar tersebut dapat berupa gas, partikel, maupun energi yang dalam konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia dan lingkungan (WHO, 2021). Dalam konteks penelitian ini, pencemaran udara yang menjadi fokus adalah partikulat berupa $PM_{2.5}$ dan PM_{10} yang dihasilkan dari aktivitas industri Pabrik Gula X. Hasil penelitian yang diperoleh dari pengumpulan dan analisis data selanjutnya disajikan dan dibahas secara sistematis sebagai berikut:

1. Karakteristik Responden

Karakteristik responden dalam penelitian ini meliputi zona tempat tinggal, jenis kelamin, pekerjaan, umur, dan lama tinggal. Distribusi responden berdasarkan zona tempat tinggal menunjukkan jumlah yang seimbang pada setiap kategori jarak, yaitu masing-masing sebanyak 8 orang (25,0%), sehingga seluruh zona penelitian terwakili secara proporsional. Berdasarkan jenis kelamin, responden didominasi oleh perempuan sebanyak 17 orang (53,1%), sedangkan laki-laki sebanyak 15 orang (46,9%). Sementara itu, berdasarkan pekerjaan, sebagian besar responden bekerja sebagai pedagang sebanyak 13 orang (40,6%), diikuti oleh petani sebanyak 7 orang (21,9%). Berikut merupakan tabel karakteristik responden berdasarkan zona, jenis kelamin, dan pekerjaan:

Tabel 1 Karakteristik Responden

Variabel	Kategori	n	%
Zona	0-500 m	8	25,0
	500-1000 m	8	25,0
	1000-1500 m	8	25,0
	1500-2000 m	8	25,0
Total		32	100
Jenis Kelamin	Laki-laki	15	46,9
	Perempuan	17	53,1
Total		32	100
Pekerjaan	Buruh	3	9,4
	Petani	7	21,9
	IRT	5	15,6
	Pedagang	13	40,6
	Karyawan	2	6,3
	Sopir	2	6,3
Total		32	100

Selanjutnya, karakteristik responden berdasarkan lama tinggal dan usia disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2 Statistik Usia dan Lama Tinggal

Variabel	Mean	Median	Modus	Minimum	Maksimum	Standar Deviasi
Usia (tahun)	42,19	43	22	22	63	13,38
Lama Tinggal (tahun)	14,06	15	3	1	30	9,98

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata usia responden adalah 42,19 tahun dengan median 43 tahun, yang menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kelompok usia dewasa. Rentang usia responden cukup luas, yaitu antara 22 hingga 63 tahun, yang mengindikasikan adanya variasi usia dalam populasi penelitian. Lama tinggal responden memiliki rata-rata 14,06 tahun dengan median 15 tahun, yang menunjukkan bahwa sebagian besar responden telah menetap cukup lama di lokasi penelitian. Rentang lama tinggal antara 1 hingga 30 tahun menunjukkan adanya variasi durasi paparan terhadap lingkungan sekitar. Lama tinggal yang relatif tinggi pada sebagian besar responden mengindikasikan bahwa responden memiliki peluang paparan jangka panjang terhadap lingkungan sekitar, termasuk paparan debu dari aktivitas

industri. Nilai standar deviasi yang cukup besar pada kedua variabel menunjukkan adanya keragaman data di antara responden.

2. Gambaran Kadar Debu

Kadar debu dalam penelitian ini meliputi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} yang diukur pada setiap rumah responden. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pengulangan, kemudian dirata-ratakan sebagai nilai representatif pada masing-masing rumah. Berikut merupakan tabel hasil pengukuran kadar debu $PM_{2.5}$ dan PM_{10} :

Tabel 3 Hasil Pengukuran Kadar Debu $PM_{2.5}$ dan PM_{10}

Kode	Zona	Koordinat		Kadar Debu $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		Kadar Debu PM_{10} ($\mu g/m^3$)	
		X	Y	Musim	Tidak	Musim	Tidak
				Giling	Musim Giling	Giling	Musim Giling
R1	1	545746	9150249	39,6	27,8	74,6	54,8
R2	1	545747	9150252	40,1	28,5	75,2	52,0
R3	1	545722	9150155	41,3	29,2	76,8	51,2
R4	1	545726	9150181	38,4	26,9	72,5	53,1
R5	1	545731	9150175	42,0	30,1	78,0	49,8
R6	1	545725	9150420	39,2	27,4	74,1	54,0
R7	1	545724	9150450	40,0	27,9	73,8	52,1
R8	1	545730	9150492	41,5	27,5	77,2	52,6
R9	2	545760	9150569	35,4	23,8	68,5	44,7
R10	2	545796	9150630	34,2	22,9	66,1	47,5
R11	2	545830	9150707	36,0	24,5	69,3	48,6
R12	2	545815	9150677	33,5	22,2	65,4	46,2
R13	2	545671	9150837	35,1	23,6	67,2	42,5
R14	2	545669	9150853	34,8	23,1	66,8	45,5
R15	2	545676	9151031	36,2	24,7	70,1	44,1
R16	2	545677	9151032	33,7	22,5	64,8	44,3
R17	3	545675	9151030	31,0	21,5	60,1	42,8
R18	3	545877	9150889	30,6	20,8	58,7	41,9
R19	3	545888	9150899	32,1	22,0	62,0	43,2
R20	3	545897	9150901	29,4	20,1	57,3	43,5
R21	3	545901	9150925	31,3	21,2	59,2	40,7
R22	3	545963	9150945	30,2	20,6	58,1	41,5
R23	3	545970	9150962	32,3	20,3	61,2	40,0
R24	3	545997	9150998	29,7	21,8	56,5	40,1
R25	4	546016	9151074	28,0	18,5	55,0	37,5
R26	4	546014	9151239	27,6	17,8	53,3	36,2
R27	4	546032	9151313	29,1	19,0	56,1	36,3
R28	4	546021	9151004	26,4	17,2	52,2	35,9
R29	4	546003	9151226	28,3	18,7	54,3	35,1
R30	4	546000	9151251	27,2	17,5	53,1	35,0
R31	4	546062	9151433	29,3	19,2	55,3	37,0
R32	4	546066	9151440	26,8	17,0	51,4	36,1



Gambar 1 Pengukuran Debu



Gambar 2 Alat Pengukur Debu
DAZ-400

3. Distribusi Kadar Debu $PM_{2.5}$ dan PM_{10}

Distribusi kadar debu PM_{2,5} dan PM₁₀ menunjukkan pola yang konsisten pada seluruh zona pengamatan. Konsentrasi kedua parameter cenderung lebih tinggi pada musim giling dibandingkan musim tidak giling. Pada musim giling, konsentrasi tertinggi ditemukan pada zona terdekat dengan sumber pencemar (0–500 meter), dengan kadar PM_{2,5} mencapai 42 µg/m³, kemudian menurun secara bertahap seiring bertambahnya jarak dari sumber pencemar. Pola serupa juga terlihat pada kadar PM₁₀ yang menunjukkan penurunan konsentrasi pada zona yang semakin jauh dari sumber emisi. Sementara itu, pada musim tidak giling, kadar PM_{2,5} dan PM₁₀ relatif lebih rendah di seluruh zona pengamatan, meskipun pola penurunan konsentrasi berdasarkan jarak tetap terlihat. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa aktivitas giling berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi partikulat di udara ambien, sedangkan jarak dari sumber pencemar berpengaruh terhadap distribusi debu di wilayah penelitian. Hal tersebut terlihat dari data yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4 Distribusi Kadar Debu PM_{2,5} (µg/m³) Berdasarkan Zona dan Musim

Zona	Musim					
	Musim giling			Tidak musim giling		
	m in	m ax	m ean	m in	m ax	m ean
0-500 m	3 8,40	4 2,00	4 0,26	2 6,90	3 0,10	2 8,16
500-1000 m	3 3,50	3 6,20	3 4,86	2 2,20	2 4,70	2 3,41
1000-1500 m	2 9,40	3 2,30	3 0,83	2 0,10	2 2,00	2 1,04
1500-2000 m	2 6,40	2 9,30	2 7,84	1 7,00	1 9,20	1 8,11

Tabel 5 Distribusi Kadar Debu PM₁₀ (µg/m³) Berdasarkan Zona dan Musim

Zona	Musim							
	Musim giling				Tidak musim giling			
	n	min	max	mean	n	min	max	mean
0-500 m	8	72,50	78,00	75,28	8	49,80	54,80	52,45
500-1000 m	8	64,80	70,10	67,28	8	42,50	48,60	45,43
1000-1500 m	8	56,50	62,00	59,14	8	40,00	43,50	41,71
1500-2000 m	8	51,40	56,10	53,84	8	35,00	37,50	36,14

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui teori dispersi polutan, yang menyatakan bahwa konsentrasi pencemar akan menurun seiring bertambahnya jarak akibat proses difusi, pengenceran, dan deposisi di atmosfer (Li et al. 2021). Partikel dengan ukuran lebih besar seperti PM₁₀ cenderung lebih cepat mengendap karena pengaruh gravitasi, sedangkan PM_{2,5} dapat bertahan lebih lama di udara, namun tetap mengalami penurunan konsentrasi seiring bertambahnya jarak dari sumber pencemar (Farmer et al., 2021).

4. Kategori Kadar Debu Berdasarkan Baku Mutu

Kadar debu dalam penelitian ini juga dikategorikan berdasarkan baku mutu Sesuai dengan Permenkes No. 2 Tahun 2023 untuk mengetahui proporsi kondisi kualitas udara yang memenuhi dan tidak memenuhi standar pada masing-masing musim.

Tabel 6 Distribusi Kategori Kadar Debu PM_{2,5} (µg/m³)

Musim	Kategori				Total n (%)
	MS		TMS		
	n	%	n	%	
Musim Giling	20	62,5	12	37,5	32 (100%)
Tidak Musim Giling	32	100	0	0	32 (100%)
Total	52	81,25%	12	18,75%	64 (100%)

Tabel 7 Distribusi Kategori Kadar Debu PM₁₀ (µg/m³)

Musim	Kategori				Total n (%)
	MS		TMS		
	n	%	n	%	
Musim Giling	23	71,9	9	28,1	32 (100%)
Tidak Musim Giling	32	100	0	0	32 (100%)
Total	55	85,9%	9	14,1%	64 (100%)

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, pada musim giling masih terdapat kadar PM_{2.5} dan PM₁₀ yang tidak memenuhi baku mutu, masing-masing sebesar 37,5% dan 28,1%. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat operasional pabrik berlangsung, sebagian wilayah masih mengalami pencemaran udara yang melebihi standar. Sementara itu, pada musim tidak giling seluruh kadar PM_{2.5} dan PM₁₀ berada pada kategori memenuhi baku mutu (100%). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kualitas udara relatif lebih baik ketika aktivitas pabrik tidak berlangsung.

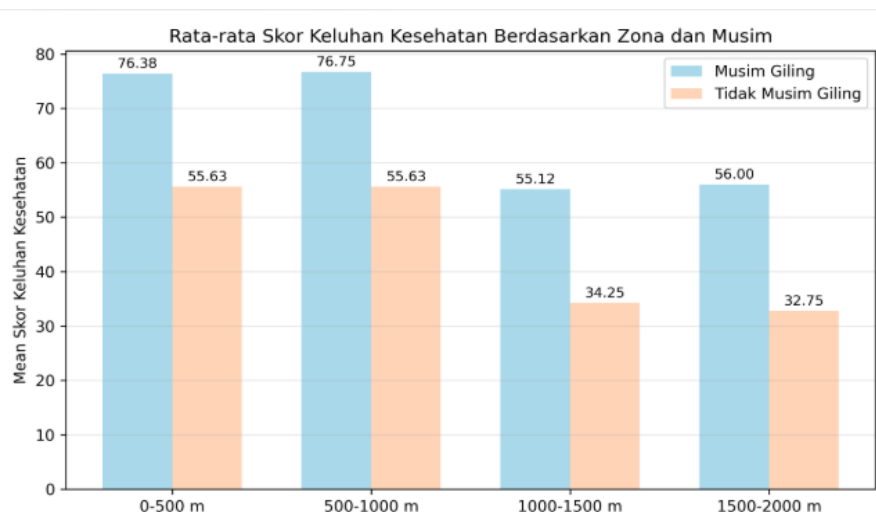
5. Distribusi Keluhan Kesehatan

Skor keluhan kesehatan juga ditampilkan dalam bentuk statistik deskriptif untuk melihat perbedaan nilai rata-rata antara musim giling dan tidak giling.

Tabel 8 Rata-rata Skor Keluhan Kesehatan Berdasarkan Zona dan Musim

Zona	Musim							
	Musim giling				Tidak musim giling			
	n	min	max	mean	n	min	max	mean
0-500 m	8	74	79	76,38	8	52	61	55,63
500-1000 m	8	74	81	76,75	8	53	59	55,63
1000-1500 m	8	53	59	55,12	8	32	37	34,25
1500-2000 m	8	52	59	56	8	30	36	32,75

6. Hubungan PM_{2.5} dan PM₁₀ dengan Keluhan Kesehatan



Gambar 3 Rata-rata skor kesehatan berdasarkan zona dan musim

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kadar debu dengan keluhan kesehatan masyarakat. Pada kategori PM_{2.5} yang tidak memenuhi baku mutu, seluruh responden (100%) berada pada kategori keluhan kesehatan tinggi. Sementara itu, pada responden dengan kadar PM_{2.5} yang memenuhi baku mutu dengan kategori sedang 16 (80%) dan tinggi 4 (20%) hal ini menunjukkan bahwa meskipun kadar debu masih dalam batas aman, keluhan kesehatan tetap dapat muncul, namun dengan tingkat yang lebih ringan dibandingkan paparan yang melebihi baku mutu.

Hal serupa juga terjadi pada PM₁₀, di mana seluruh responden dengan kadar yang tidak memenuhi baku mutu mengalami keluhan tinggi. Hasil uji Chi-square menunjukkan nilai p = 0,000 (p < 0,05), yang berarti terdapat hubungan yang signifikan antara kadar debu dengan keluhan kesehatan.

Tabel 9 Hasil Uji Chi-Square Hubungan PM_{2,5} dengan Keluhan Kesehatan

Chi-Square Tests^a			
	Value	df	Asymptotic Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	19.200 ^b	1	.000

Tabel 10 Hasil Uji Chi-Square Hubungan PM₁₀ dengan Keluhan Kesehatan

Chi-Square Tests^a			
	Value	df	Asymptotic Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	12.522 ^b	1	.000

a. Musim = Musim Giling

b. 0 cells (0.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6.00.

Secara teori, partikel PM_{2,5} memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga dapat masuk hingga ke alveoli paru-paru dan bahkan ke dalam aliran darah, sedangkan PM₁₀ cenderung terdeposit pada saluran pernapasan bagian atas. Hal ini mendukung hasil penelitian bahwa peningkatan kadar debu berhubungan dengan meningkatnya keluhan kesehatan masyarakat. Berikut merupakan tabel hubungan PM_{2,5} dan PM₁₀ dengan keluhan kesehatan:

Tabel 11 Hubungan PM_{2,5} dengan keluhan kesehatan

Kategori PM _{2,5}	Keluhan Kesehatan				Total n (%)
	Sedang		Tinggi		
	N	%	n	%	
Memenuhi baku mutu	16	80	4	20	20 (62,5%)
Tidak memenuhi baku mutu	0	0	12	100	12 (37,5%)
Total	16	50%	16	50%	32 (100%)

Tabel 12 Hubungan PM₁₀ dengan keluhan kesehatan

Kategori PM ₁₀	Keluhan Kesehatan					
	n	Sedang (%)	n	Tinggi (%)	n	Total (%)
Memenuhi baku mutu	16	69,6	7	30	23	100
Tidak memenuhi baku mutu	0	0	9	100	9	100
Total	16	50%	16	50%	32	100%

7. Hubungan Zona Tempat Tinggal dengan Keluhan Kesehatan

Hubungan antara zona tempat tinggal dengan keluhan kesehatan masyarakat dianalisis pada musim giling dan musim tidak giling.

a. Musim Giling

Hubungan Zona dengan Keluhan Kesehatan pada musim giling. Hasil analisis disajikan pada tabel berikut:

Tabel 13 Hubungan Zona dengan Keluhan Kesehatan (Musim Giling)

Zona	Sedang (n)	Sedang (%)	Tinggi (n)	Tinggi (%)	Total
0-500 m	0	0	8	100	8
500-1000 m	0	0	8	100	8
1000-1500 m	8	100	0	0	8
1500-2000 m	8	100	0	0	8
Total	16	50%	16	50%	32

Berdasarkan Tabel 11, pada musim giling zona yang lebih dekat dengan sumber pencemar (0-1000 m) seluruhnya berada pada kategori keluhan tinggi (100%), sedangkan zona yang lebih jauh (1000-2000 m) berada pada kategori keluhan sedang (100%). Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak tempat tinggal dengan sumber pencemar, maka tingkat keluhan kesehatan lebih tinggi.

b. Musim Tidak Giling

Pada musim tidak giling zona yang lebih dekat dengan sumber pencemar (0-1000 m) berada pada kategori keluhan sedang (100%), sedangkan zona yang lebih jauh (1000-2000 m) berada pada kategori keluhan rendah (100%). Hal ini menunjukkan bahwa pola hubungan antara jarak tempat tinggal dan keluhan kesehatan tetap terlihat, meskipun tingkat keluhan secara umum lebih rendah dibandingkan musim giling. Hasil analisis disajikan pada tabel berikut:

Tabel 14 Hubungan Zona dengan Keluhan Kesehatan (Musim Tidak Giling)

Zona	Rendah (n)	Rendah (%)	Sedang (n)	Sedang (%)	Total
0-500 m	0	0	8	100	8
500-1000 m	0	0	8	100	8
1000-1500 m	8	100	0	0	8
1500-2000 m	8	100	0	0	8
Total	16	50%	16	50%	32

Faktor jarak tempat tinggal menunjukkan hubungan yang signifikan dengan keluhan kesehatan. Hasil uji Fisher Exact menunjukkan nilai $p = 0,000$, yang berarti terdapat hubungan yang signifikan antara jarak tempat tinggal dengan keluhan kesehatan. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui konsep dose-response relationship, di mana semakin tinggi tingkat paparan terhadap polutan, maka semakin besar risiko dampak kesehatan yang ditimbulkan (Bälä et al. 2021). Masyarakat yang tinggal lebih dekat dengan sumber pencemar memiliki intensitas paparan yang lebih tinggi, sehingga lebih berisiko mengalami gangguan kesehatan dibandingkan masyarakat yang tinggal lebih jauh.

Tabel 15 Hasil Uji Chi-Square Hubungan Zona Tempat Tinggal dengan Keluhan Kesehatan

Chi-Square Tests ^a		
	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Fisher's Exact Test	.000	.000

a. Musim = Musim Giling

Selain itu, hasil uji Wilcoxon menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara keluhan kesehatan pada musim giling dan tidak giling ($p = 0,000$). Seluruh responden mengalami peningkatan keluhan kesehatan pada musim giling. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh aktivitas industri memiliki dampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Menurut (WHO, 2021), paparan polutan udara dalam jangka pendek dapat memicu respons akut pada sistem pernapasan, seperti iritasi dan penurunan fungsi paru. Oleh karena itu, peningkatan keluhan kesehatan pada musim giling dalam penelitian ini dapat dijelaskan oleh meningkatnya paparan debu partikulat.

Tabel 16 Hasil Uji Wilcoxon Hubungan Antara Keluhan Kesehatan pada Musim Giling dan Tidak Giling

Test Statistics ^a	
Z	Keluhan Kesehatan Musim Tidak Giling - Keluhan Kesehatan Musim Giling -4,944 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

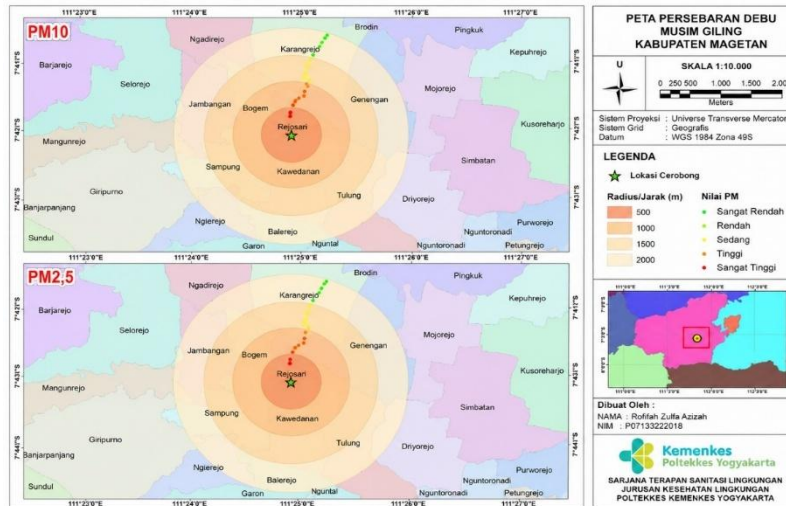
a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

8. Analisis Spasial

a. Musim Giling

Hasil pemetaan menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS) menunjukkan persebaran konsentrasi debu partikulat (PM₁₀ dan PM_{2,5}) pada musim giling di sekitar Pabrik Gula X.

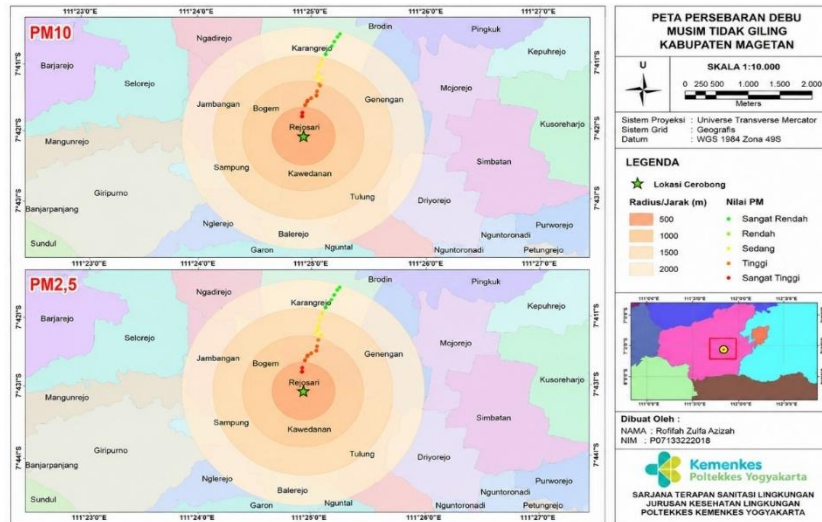


Gambar 4 Peta Persebaran Debu PM₁₀ (atas) dan PM_{2,5} (bawah) pada Musim Giling

Berdasarkan peta tersebut, terlihat bahwa konsentrasi debu cenderung lebih tinggi pada wilayah yang berada dekat dengan sumber pencemar, yaitu cerobong pabrik. Pada zona 0–500 meter, sebagian besar titik pengukuran menunjukkan kategori sedang hingga tinggi. Seiring bertambahnya jarak dari sumber pencemar, konsentrasi debu cenderung menurun. Pada zona 500–1000meter hingga 1500–2000 meter, nilai konsentrasi debu didominasi oleh kategori rendah hingga sedang. Pola sebaran titik pengukuran menunjukkan kecenderungan mengarah ke bagian utara dari lokasi cerobong pabrik, yang mengindikasikan adanya pengaruh arah angin terhadap persebaran debu di wilayah penelitian (Bayraktar et al., 2024).

b. Musim Tidak Giling

Hasil pemetaan persebaran debu pada musim tidak giling menunjukkan pola yang serupa, namun dengan tingkat konsentrasi yang relatif lebih rendah dibandingkan musim giling.



Gambar 5 Peta Persebaran Debu PM₁₀ (atas) dan PM_{2.5} (bawah) pada Musim Tidak Giling

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pola sebaran debu partikulat (PM_{2,5} dan PM₁₀) antara musim giling dan musim tidak giling di sekitar Pabrik Gula X. Konsentrasi debu cenderung lebih tinggi pada musim giling, terutama pada zona terdekat dengan sumber pencemar (0–500 meter), kemudian menurun seiring bertambahnya jarak dari pabrik. Arah angin yang dominan turut memengaruhi distribusi debu sehingga wilayah yang berada pada jalur angin menerima paparan debu yang lebih besar. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya keluhan kesehatan masyarakat, di mana hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara keluhan kesehatan pada musim giling dan musim tidak giling. Selain itu, terdapat hubungan yang bermakna antara kadar PM_{2,5} dan PM₁₀ dengan keluhan kesehatan masyarakat berdasarkan musim dan jarak dari sumber pencemar ($p < 0,05$), sehingga semakin tinggi kadar debu yang terpapar, semakin besar pula kecenderungan masyarakat mengalami keluhan kesehatan.

Penelitian ini memiliki kelebihan karena mampu mengkaji pengaruh musim, jarak, dan arah angin terhadap sebaran debu serta menghubungkannya dengan keluhan kesehatan masyarakat, didukung oleh kemudahan akses lokasi penelitian, kerja sama masyarakat, serta ketersediaan data dan alat ukur yang memadai. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada parameter PM_{2,5} dan PM₁₀, pengambilan data dilakukan pada awal musim giling sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi pada puncak musim giling, serta belum dilakukan pengukuran langsung terhadap faktor meteorologi seperti kecepatan angin, arah angin, suhu, dan kelembapan udara selama periode penelitian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pemantauan kualitas udara secara berkala pada seluruh periode musim giling dengan menambahkan parameter pencemar udara lainnya, melakukan pengukuran faktor meteorologi secara langsung, serta mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi keluhan kesehatan agar diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, bantuan, dan doa selama proses penelitian, khususnya kepada dosen pembimbing, Program Studi Kesehatan Lingkungan, pihak Pabrik Gula X, masyarakat yang telah bersedia menjadi responden, serta keluarga dan sahabat atas segala dukungan yang diberikan. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kesehatan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bălă, G.-P., Răjnoveanu, R.-M., Tudorache, E., Motișan, R. & Oancea, C., 2021, 'Air pollution exposure—the (in)visible risk factor for respiratory diseases', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19615–19628.
- Bayraktar, O.M. & Mutlu, A., 2024, 'Analyses of industrial air pollution and long-term health risk using different dispersion models and WRF physics parameters', *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17(10), 2277–2305.
- BPS-Statistic of Magetan Regency, 2025, *Kabupaten Magetan Dalam Angka. BPS Kabupaten Magetan*.
- Farmer, D.K., Boedicker, E.K. & DeBolt, H.M., 2021, 'Dry Deposition of Atmospheric Aerosols: Approaches, Observations, and Mechanisms', *Annual Review of Physical Chemistry*, 72(1), 375–397.
- Kementerian Kesehatan, 2023, *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*.
- Li, Z., Ming, T., Shi, T., Zhang, H., Wen, C.-Y., Lu, X., Dong, X., Wu, Y., Richter, R. de, Li, W. & Peng, C., 2021, 'Review on pollutant dispersion in urban areas-part B: Local mitigation strategies, optimization framework, and evaluation theory', *Building and Environment*, 198, 107890.
- Liu, K., Hua, S. & Song, L., 2022, 'PM2.5 Exposure and Asthma Development: The Key Role of Oxidative Stress', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022(1).
- Parra, L., 2022, 'Remote Sensing and GIS in Environmental Monitoring', *Applied Sciences*, 12(16), 8045.
- Republik Indonesia, 2021, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- WHO, 2021, *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, WHO*.
- WHO, 2021, *Public Health, Environmental, and Social Determinants of Health (PHE), Geneva: WHO*.