

AIR QUALITY MONITORING IN FOOTWEAR INDUSTRIAL AREAS USING TAIWAN AIR QUALITY MONITORING NETWORK (TAQMN) IN TAIPEI CITY

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI KAWASAN INDUSTRI ALAS KAKI MENGUNAKAN JARINGAN PEMANTAUAN KUALITAS UDARA TAIWAN (TAQMN) DI KOTA TAIPEI

**Wahyu Ratnaningsih¹, Wisnu Prayogo², Mochammad Charis Hidayatullah³, Rifka Noor
Azizah⁴, Husna Muizzati Shabrina⁵, Laili Fitria^{6*}**

¹ Department of Plastic and Rubber Processing Technology, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Department Building Engineering Education, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

³Department of Leather Product Processing Technology, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

⁴Department Environmental Engineering, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

⁵Department Environmental Engineering, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia

⁶ Department Environmental Engineering, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*Corresponding author: fitria.laili@gmail.com

Abstract :

Footwear industry in Taiwan is a large industry that supplies about 50% of the world's shoe needs. It has a positive impact on the economy, but it is also a special concern about its environmental impact, especially on air quality in Taiwan. This study aims to investigate the air quality in the footwear industrial park in Taipei City using the Taiwan Air Quality Monitoring Network (TAQMN). This study collected data from outdoor air quality measurements in the footwear industrial park in Taipei City using the Air Quality Monitoring System (AQMS) and determined its characteristics. Data were collected for 12 days from one of the stations in Datong District by monitoring the levels of major pollutants including nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), sulfur dioxide (SO₂), PM_{2.5} and PM₁₀. The results show that the air quality in footwear industries has levels of PM_{2.5}, PM₁₀, and NO₂ that exceed the thresholds set by the WHO. This has a negative impact on respiratory health and is an urgent public health issue. Factors of activity in the footwear industry, transportation, and weather patterns have important roles that determine the air quality in this region. A deep understanding of the air quality in this region is expected to provide a basis for more effective and targeted environmental policy planning to improve air quality and people's well-being in the city of Taipei.

Keywords: air quality, footwear industry, TAQMN, AQI

Intisari :

Industri alas kaki di Taiwan merupakan industri besar yang mensuplai sekitar 50% kebutuhan sepatu di dunia. Hal tersebut berdampak positif bagi ekonomi, namun juga menjadi perhatian khusus mengenai pengaruhnya terhadap lingkungan terutama pada kualitas udara di Taiwan. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kualitas udara di kawasan industri alas kaki di Kota Taipei menggunakan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan (TAQMN). Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data dari hasil pengukuran kualitas udara di luar ruangan di kawasan industri alas kaki di Kota Taipei menggunakan Sistem Pemantauan Kualitas Udara (AQMS) dan menentukan karakteristiknya. Pengumpulan data dilakukan selama 12 hari yang diambil dari salah satu stasiun yaitu di Distrik Datong dengan memantau kadar polutan utama di antaranya nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), PM_{2,5} dan PM₁₀. Hasil penelitian menunjukkan kualitas udara di kawasan industri alas kaki yang memiliki tingkat PM_{2,5}, PM₁₀, dan NO₂ yang melebihi ambang batas yang ditetapkan WHO. Hal tersebut memberikan dampak negatif pada kesehatan pernapasan dan menjadi isu kesehatan masyarakat yang mendesak. Faktor-faktor dari kegiatan dalam industri alas kaki, transportasi, dan pola cuaca memiliki peran penting yang menentukan kualitas udara di kawasan ini. Pemahaman yang mendalam tentang kualitas udara di kawasan ini diharapkan dapat memberikan dasar bagi perancangan kebijakan lingkungan yang efektif dan lebih terarah guna meningkatkan kualitas udara dan kesejahteraan masyarakat di kota Taipei.

Kata kunci: Kualitas Udara, Industri Sepatu, TAQMN, AQI.

Pendahuluan

SDGs atau yang dinamakan *Sustainable Development Goals* adalah penerapan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan untuk pertumbuhan yang inklusif dan adil yang telah disepakati pada tahun 2015 oleh para pemimpin dunia dan anggota PBB [1]. Salah satu agenda dalam SDGs yaitu penanggulangan perubahan iklim yang ditunjukkan oleh beberapa penelitian yang menyatakan bahwa terdapat tingkat pemahaman dan komitmen kuat mengenai SDGs di kalangan perusahaan internasional [2,3]. Oleh karenanya, perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai implementasi SDGs pada berbagai sektor industri/perusahaan, sehingga pada tahun 2030 tujuan tersebut dapat tercapai.

Negara Taiwan sebagai salah satu negara industri telah diakui sebagai negara berdaulat oleh PBB merupakan salah satu yang diharapkan telah menerapkan kebijakan SDGs. Tak hanya itu, menurut Pusat Ekonomi dan Kebudayaan Taipei di Chennai, industri sepatu di Taiwan merupakan salah satu industri yang memproduksi sepatu hingga mampu mensuplai sekitar 50% kebutuhan sepatu dan 90% kebutuhan sepatu kets bernilai tinggi di seluruh dunia [4]. Pada penelitian sebelumnya yakni penelitian mengenai pengelolaan dan efisiensi penggunaan air di Taiwan telah diperoleh hasil yang mampu membantu mengurangi potensi risiko dan kerentanan pasokan air akibat dampak perubahan iklim dan proses SDGs [3,5]. Dalam hal ini, industri alas kaki juga memiliki peranan/dampak yang penting terutama indikator 13 yakni penanganan dan perubahan iklim.

Atmosfer kompetisi industri alas kaki di Taiwan yang cukup kompetitif, menuntut industri tersebut tidak hanya mengimplementasikan harga produksi yang paling murah tetapi juga kualitas produk yang baik, sehingga banyak dari industri alas kaki lebih banyak menerapkan kebijakan produksi yang massif dengan waktu produksi yang tergolong cepat [6,7]. Industri alas

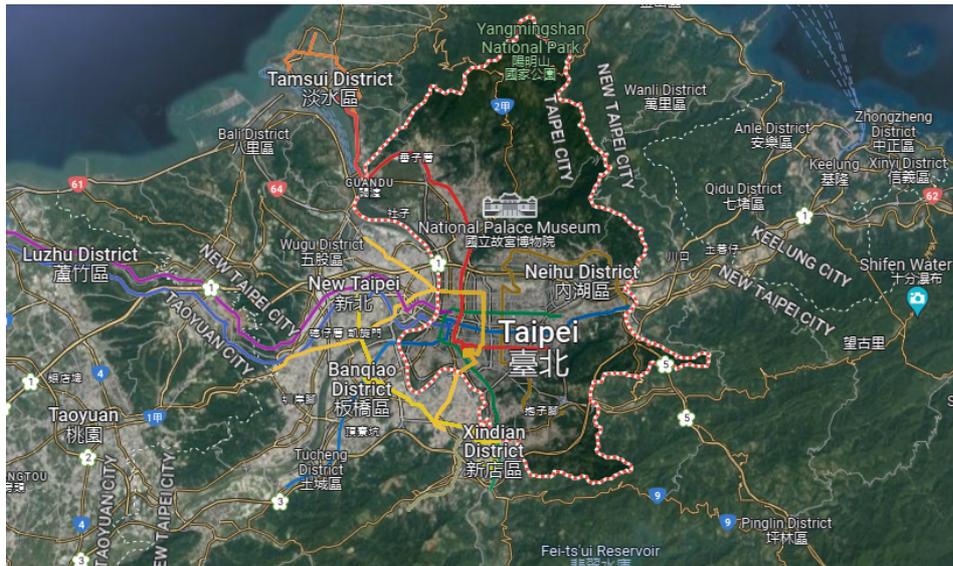
kaki di Taiwan berkembang sangat pesat dikarenakan SDM memadai dan *labor cost* yang bersaing membuat kluster industri tersebut menjadi industri inti/*core industry* yang kompetitif [8–10]. Hal tersebut merupakan dampak positif untuk ekonomi, namun juga menjadi sebuah perhatian khusus mengenai pengaruhnya terhadap lingkungan terutama pada kualitas udara di Taiwan.

Proses yang digunakan dalam pembuatan produk alas kaki berkontribusi secara signifikan terhadap polusi udara, yang berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Misalnya, penggunaan bahan sintesis dan perekat pada produksi alas kaki sering menggunakan senyawa organik yang mudah menguap (VOC), yang menghasilkan kabut asap dan dapat memiliki efek berbahaya bagi kesehatan pernapasan [11,12]. Selain itu, proses suhu tinggi dalam produksi karet dan plastik dapat melepaskan materi partikulat dan polutan lainnya [13,14]. Industri alas kaki juga cenderung bergantung pada bahan-bahan seperti kulit sintesis, yang berasal dari produk berbasis minyak bumi. Produksi bahan-bahan ini melibatkan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang signifikan [15,16]. Perlakuan kimiawi yang digunakan untuk memproses bahan-bahan ini juga dapat melepaskan VOC dan polutan lainnya ke atmosfer [17–19].

Sebelum berkembangnya teknologi, metode untuk mengukur polusi udara biasanya mengandalkan peralatan tetap yang mahal dan rumit, yang membatasi siapa yang dapat mengumpulkan data, mengapa data tersebut harus dikumpulkan, dan bagaimana data tersebut dapat diakses [20]. Namun dengan teknologi yang semakin maju, metode untuk mengukur polusi udara dapat menggunakan sensor monitor polusi udara yang portabel, lebih murah dan mudah digunakan. Selain itu data yang diperoleh memiliki resolusi waktu yang tinggi dan secara *realtime*, sehingga menawarkan peluang untuk meningkatkan berbagai kemampuan pemantauan polusi udara saat ini dan dapat membuka pintu untuk aplikasi pemantauan udara baru [21,22]. Metode pengukuran tersebut yaitu menggunakan Sistem Pemantauan Kualitas Udara (AQMS) untuk terus memantau materi partikulat, SO₂, NO_x, CO, dan polutan udara lainnya sepanjang tahun. Alat ini juga mengukur kecepatan, arah, dan faktor cuaca lainnya. Data yang diukur dapat dikirim ke otoritas pusat regional dalam berbagai bentuk dan dipantau dari jarak jauh. Oleh karena itu, pada penelitian ini dengan menggunakan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan, dilakukan pengukuran kualitas udara di luar ruangan di kawasan industri alas kaki di kota Taipei dan menentukan karakteristiknya. Nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), PM_{2,5} dan PM₁₀ adalah lima polutan utama yang kadarnya dipantau. Hasil dari pengukuran tersebut diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai kualitas udara di kawasan industri alas kaki di kota Taipei untuk merancang kebijakan lingkungan yang efektif guna turut memberikan solusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan yakni mengenai penanganan dan perubahan iklim.

Metode

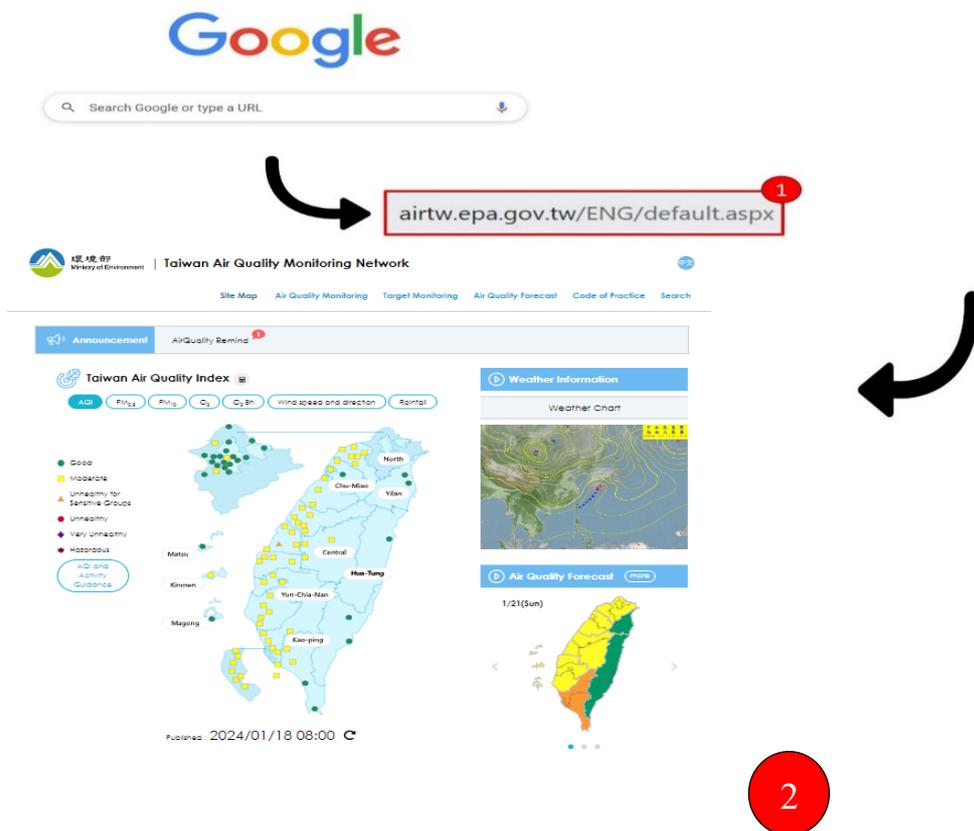
Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kualitas udara di kawasan industri alas kaki di Kota Taipei dengan lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data kualitas udara diperoleh dari Sistem Pemantauan Kualitas Udara (AQMS). AQMS adalah alat untuk memantau materi partikulat, SO₂, NO_x, CO, dan polutan udara lainnya sepanjang tahun. Dari data yang dikumpulkan kemudian dilakukan analisis kualitas udara berdasarkan Indeks Kualitas Udara (AQI).

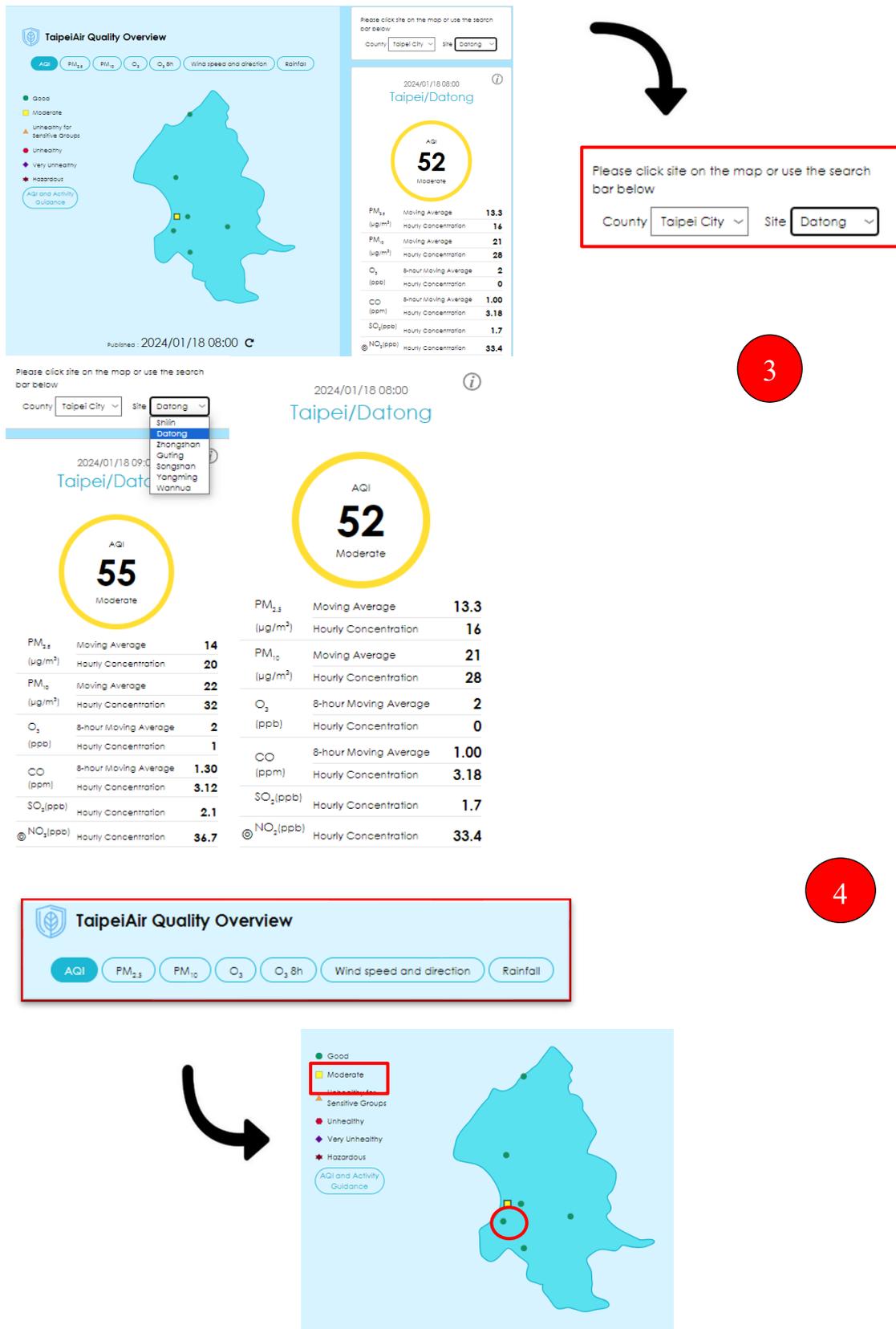


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Pemantauan kualitas udara di Kota Taipei dilakukan menggunakan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan (TAQMN) dari tanggal 7 Mei hingga 18 Mei 2022. Pengumpulan data tersebut akan menilai seberapa kawasan industri alas kaki tersebut telah mencapai tingkat polusi udara berdasarkan Indeks Kualitas Udara (AQI). Berikut ini adalah langkah-langkah untuk menggunakan sistem pemantauan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan (<https://airtw.epa.gov.tw/ENG/default.aspx>) untuk mendapatkan hasil pemantauan kualitas udara di lokasi tertentu.





Gambar 2. Cara Menggunakan Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan

Analisis Data

Hasil data pemantauan kualitas udara yang dikumpulkan kemudian dibandingkan dengan data dari indeks kualitas udara yang diatur oleh Menteri Lingkungan Hidup (MOENV) Negara Taiwan dalam websitenya <https://airtw.moenv.gov.tw/ENG/Information/Standard/AirQualityIndicator.aspx#tg4>. Tabel 1 adalah tabel indeks kualitas udara dan panduan untuk menginterpretasikan nilai kualitas udara dengan memantau dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan.

Tabel 1. Indeks Kualitas Udara dan Panduan Penggunaannya

Air Quality Index (AQI)							
AQI	O ₃ (ppm) 8h	O ₃ (ppm) 1-h ⁽²⁾	PM _{2.5} (µg/m ³) 24-h	PM ₁₀ (µg/m ³) 24-h	CO (ppm) 8-h	SO ₂ (ppb) 1-h	NO ₂ (ppb) 1-h
Good 0 - 50	0.000 - 0.054	-	0.0 - 15.4	0-50	0 - 4.4	0-20	0-30
Moderate 51 - 100	0.055 - 0.070	-	15.5 - 35.4	51-100	4.5 - 9.4	21-75	31-100
Unhealthy for Sensitive Groups 101 - 150	0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 54.4	101-254	9.5 - 12.4	76-185	101-360
Unhealthy 151 - 200	0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	54.5 - 150.4	255-354	12.5 - 15.4	186-304 ⁽³⁾	361-649
Very Unhealthy 201 - 300	0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355-424	15.5 - 30.4	305-604 ⁽³⁾	650-1249
Hazardous 301 - 400	(2)	0.405 - 0.504	250.5 - 350.4	425 - 504	30.5 - 40.4	605-804 ⁽³⁾	1250-1649
Hazardous 401 - 500	(2)	0.505 - 0.604	350.5 - 500.4	505-604	40.5 - 50.4	805-1004 ⁽³⁾	1650-2049

AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
Air Quality Index Levels of Health Concern	Good	Moderate	Unhealthy for Sensitive Groups	Unhealthy	Very Unhealthy	Hazardous
Status Color	Green	Yellow	Orange	Red	Purple	Maroon
Impact on Human Health	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.	Health alert: everyone may experience more serious health effects.	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.
Activity Guidance for the General Public	Enjoy your usual outdoor activities.	Enjoy your usual outdoor activities.	1. Everyone experiencing discomfort such as sore eyes, cough or sore throat should consider reducing outdoor activities. 2. For students, it's ok to be active outside, but are recommended to reduce prolonged strenuous exercise.	1. Everyone experiencing discomfort such as sore eyes, cough or sore throat should reduce physical exertion, particularly outdoors. 2. Students should avoid prolonged strenuous exercise, and take more breaks during outdoor activities.	1. Everyone should reduce outdoor activities. 2. Students should stop outdoor activities and move all activities and classes indoors.	1. Everyone should avoid outdoor activities and keep doors and windows closed. If it is necessary to go out, please wear a mask. 2. Students should stop outdoor activities and move all activities and classes indoors.
Activity Guidance for Sensitive Groups	Enjoy your usual outdoor activities.	Unusually sensitive groups are recommended to watch for symptoms such as coughing or shortness of breath, but can still be active outside.	1. People with heart, respiratory and cardiovascular problems, children, teenagers and older adults are recommended to reduce physical exertion and outdoor activities. 2. People with asthma may need to use their reliever inhalers more often.	1. People with heart, respiratory and cardiovascular problems, children, teenagers and older adults are recommended to stay indoors and reduce physical exertion. If it is necessary to go out, please wear a mask. 2. People with asthma may need to use their reliever inhalers more often.	1. People with heart, respiratory and cardiovascular problems, children, teenagers and older adults should stay indoors and reduce physical exertion. If it is necessary to go out, please wear a mask. 2. People with asthma should use their reliever inhalers more often.	1. People with heart, respiratory and cardiovascular problems, children, teenagers and older adults should stay indoors and avoid physical exertion. If it is necessary to go out, please wear a mask. 2. People with asthma should use their reliever inhalers more often.

Hasil dan Pembahasan

Jaringan Pemantauan Kualitas Udara Taiwan (TAQMN) yang didirikan pada tahun 1990 saat ini jumlahnya mencapai 72 stasiun. Lima polutan utama yang kadarnya dipantau antara lain Nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂), PM_{2,5} dan PM₁₀. Banyak sumber polusi di industri yang kini tunduk pada regulasi atau kontrol. Pabrik-pabrik industri alas kaki yang memiliki cerobong asap tanpa filter harus menjalani inspeksi rutin dan dapat dikenai sanksi apabila gagal membatasi polusi udara yang mereka hasilkan [23]. Oleh karena itu dilakukan pemantauan kualitas udara di kawasan industri alas kaki untuk memantau kelima jenis polutan tersebut. Alat ini juga mengukur kecepatan, arah, dan faktor cuaca lainnya. Data yang diukur dapat dikirim ke otoritas pusat regional dalam berbagai bentuk dan dipantau dari jarak jauh.

Data Pemantauan Kualitas Udara di Kawasan Industri Alas Kaki

Untuk meningkatkan pengetahuan publik tentang tingkat polusi udara saat ini, data dapat dirilis secara online agar mudah diakses oleh publik. Dengan pendekatan ini, masyarakat dapat menghindari aktivitas di luar ruangan dan mengurangi dampak negatif polusi terhadap kesehatan mereka. Hasil pemantauan kualitas udara di Kota Taipei distrik Datong terangkum dalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pemantauan kualitas udara (AQI) di Kota Taipei

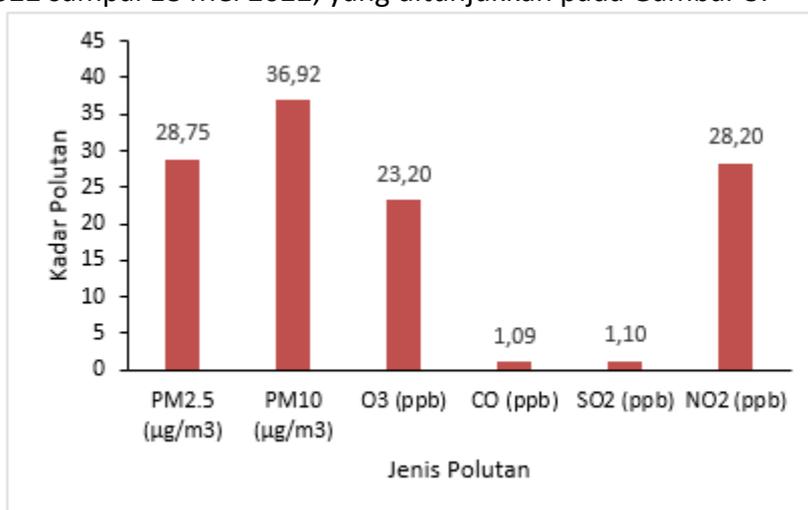
Hari	Tanggal	AQI	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (ppb)	CO (ppb)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)
1	7 Mei 2022	73 (Moderate)	29	35	23.2	0.57	0.5	17.2
2	8 Mei 2022	58 (Moderate)	18	21	6.4	0.64	0.9	17.4
3	9 Mei 2022	87 (Moderate)	17	37	17.1	1.24	1.5	25.9
4	10 Mei 2022	63 (Moderate)	22	27	12.4	1.10	1.2	31.6
5	11 Mei 2022	95 (Moderate)	35	50	19.4	1.55	0.7	49.5
6	12 Mei 2022	112 (unhealthy)	43	59	12.7	1.13	0.9	23.5
7	13 Mei 2022	124 (unhealthy)	47	55	12.5	1.25	1.4	23.1
8	14 Mei 2022	92 (Moderate)	32	33	20.9	0.82	1.2	37.9
9	15 Mei 2022	74 (Moderate)	25	26	22.2	0.92	1.4	34.0
10	16 Mei 2022	69 (Moderate)	17	28	17.4	1.52	1.1	27.1
11	17 Mei 2022	77 (Moderate)	26	30	5.0	1.17	1.2	24.2
12	18 Mei 2022	95 (Moderate)	34	42	9.1	1.24	1.2	27.0

Dengan menggunakan data dari sistem pemantauan kualitas udara di stasiun kota Taipei, dapat diamati bahwa dari tanggal 7 Mei hingga 18 Mei 2022 selama periode 24 jam, indeks kualitas udara (AQI) untuk wilayah Datong berkisar antara 58 dan 124, dimana AQI terendah pada periode tersebut adalah 58. Hal ini terjadi pada tanggal 8 Mei 2022 pada pukul 09.00 pagi, yang menunjukkan bahwa kualitas udara di Distrik Datong di Kota Taipei dalam level *moderate*. Variabel signifikan lainnya termasuk PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, CO, SO₂, dan NO₂ masing-masing memiliki nilai 18 µg/m³, 21 µg/m³, 6,4 ppb, 0,64 ppb, 0,9 ppb dan 17,4 ppb. Level tersebut mengindikasikan kualitas udara yang dapat diterima, namun untuk beberapa polutan, terdapat kemungkinan masalah kesehatan yang moderat bagi sejumlah kecil orang yang sangat sensitif terhadap polusi udara.

Di sisi lain terdapat nilai AQI yang menunjukkan kondisi udara yang tidak sehat, yang terjadi pada tanggal 13 Mei 2022 pada pukul 09.00 pagi. Masing-masing variabel signifikan lainnya, termasuk $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , CO , SO_2 , dan NO_2 masing-masing memiliki nilai $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 12,5 ppb, 1,25 ppb, 1,4 ppb dan 23,1 ppb. Kondisi udara yang tidak sehat itu memberikan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Dengan kondisi udara tersebut, manusia mengalami ketidaknyamanan seperti sakit mata, batuk atau sakit tenggorokan, dan harus mempertimbangkan untuk mengurangi aktivitas di luar ruangan. Bagi akademisi diperbolehkan untuk beraktivitas di luar ruangan, namun disarankan untuk mengurangi olahraga berat yang berkepanjangan.

Analisis Kualitas Udara di Kawasan Industri Alas Kaki

Berdasarkan data yang diperoleh dari pemantauan kualitas udara menggunakan AQMS, kemudian dilakukan analisis hubungan kualitas udara di kawasan tersebut dengan industri yang berhubungan terutama industri alas kaki. Berdasarkan Tabel 2 dibuat grafik kadar polutan rata-rata yang dihasilkan pada masing-masing jenis polutan dari pemantauan kualitas udara pada tanggal 7 Mei 2022 sampai 18 Mei 2022, yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kadar polutan rata-rata dari masing-masing jenis polutan

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, diketahui nilai $PM_{2,5}$ rata-rata yang dihasilkan sebesar $28,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai tersebut di atas ambang batas yang ditetapkan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) di mana konsentrasi rata-rata tahunan $PM_{2,5}$ tidak boleh melebihi $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan paparan rata-rata 24 jam tidak boleh melebihi $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lebih dari 3 - 4 hari per tahun [24]. Hasil pengukuran tersebut juga sejalan dengan penelitian Yeh, et al. pada tahun 2022 yang menemukan bahwa kadar $PM_{2,5}$ di Distrik Datong termasuk dalam kategori *moderate* dengan konsentrasi di atas $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [25].

WHO menetapkan pedoman kualitas udara dengan merekomendasikan tingkat dan target sementara untuk polutan udara yang umum yaitu PM, O_3 , NO_2 , dan SO_2 yang terangkum dalam tabel 3.

Jenis polutan lain yang termasuk dalam tabel tersebut yang masih memenuhi standar yang direkomendasikan oleh WHO di antaranya PM_{10} , O_3 , CO , SO_2 . Namun terdapat hari di mana pada saat pemantauan kadar PM_{10} di atas standar WHO yaitu pada tanggal 11 Mei 2022 hingga 13 Mei 2022. $PM_{2,5}$ dan PM_{10} adalah partikel halus yang dapat terhirup dengan diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil. Paparan $PM_{2,5}$ dalam jangka panjang telah dikaitkan dengan

kematian dini, terutama pada orang yang menderita penyakit jantung atau paru-paru kronis. Hal ini juga dapat menurunkan pertumbuhan fungsi paru-paru pada anak.

Tabel 3. Batas maksimum polutan yang direkomendasikan oleh WHO

Pollutant	Averaging Time	2021 AQGs
PM _{2.5} , µg/m ³	Annual	5
	24-hour ^a	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annual	15
	24-hour ^a	45
O ₃ , µg/m ³	Peak season ^b	60
	8-hour ^a	100
NO ₂ , µg/m ³	Annual	10
	24-hour ^a	25
SO ₂ , µg/m ³	24-hour ^a	40
CO, mg/m ³	24-hour ^a	4

Polutan lain yang menjadi fokus dari emisi industri alas kaki adalah tingginya kadar polutan NO₂ yaitu sebesar 28,20 ppb. Data yang diperoleh dari penelitian ini melebihi ambang batas yang ditetapkan WHO [24]. Pedoman WHO saat ini menyatakan bahwa konsentrasi rata-rata tahunan NO₂ tidak boleh melebihi 10 ppb, sedangkan paparan rata-rata 24 jam tidak boleh melebihi 25 ppb lebih dari 3 - 4 hari per tahun. Tingginya kadar NO₂ yang merupakan salah satu gas rumah kaca tidak lepas dari pengaruh kawasan industri alas kaki di wilayah tersebut. Industri alas kaki merupakan salah satu dari delapan sektor industri yang berkontribusi besar pada emisi gas rumah kaca (GRK) [18]. Sumber pencemaran industri alas kaki utamanya berasal dari bengkel moulding. Selain itu, pada proses pencetakan, digunakan berbagai bahan perekat dan pengolah serta bahan pembersih sehingga dihasilkan sejumlah besar gas organik yang mudah menguap. Oleh karena itu, gas organik yang mudah menguap dihasilkan di seluruh lini produksi. Gas organik yang mudah menguap tersebut turut berkontribusi secara tidak langsung terhadap perubahan iklim melalui proses kimia [14].

Berdasarkan data di atas, pada kadar polutan CO yang dihasilkan, meskipun tidak melampaui ambang batas yang direkomendasikan WHO, industri alas kaki mempunyai kontribusi terhadap jejak karbon yang dihasilkan. Jejak karbon menentukan ukuran kuantitatif dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan tertentu dalam kaitannya dengan emisi GRK. Analisis dampak lingkungan sangat berguna bagi sektor alas kaki, sehingga memungkinkan adanya nilai yang obyektif, dimana gas rumah kaca yang paling mungkin dilepaskan selama perakitan sepatu adalah CO₂, CH₄, NO₂, yang pelepasannya terkait dengan konsumsi energi dan pembakaran fosil [26].

Menyadari dampak lingkungan ini, diharap perusahaan di industri alas kaki mulai mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Inovasi seperti teknologi manufaktur rendah emisi dan penggunaan bahan ramah lingkungan menjadi lebih umum [19]. Kerangka kerja peraturan juga berkembang untuk mengatasi masalah ini, dengan pemerintah menerapkan standar lingkungan yang lebih ketat [22].

Data-data yang dihasilkan dari pemantauan kualitas udara menggunakan AQMS memberikan gambaran menyeluruh tentang komposisi polutan udara kawasan industri alas kaki. Pemahaman yang mendalam tentang kualitas udara di kawasan ini dapat memberikan dasar bagi

perancangan kebijakan lingkungan yang lebih terarah. Menyadari dampak lingkungan ini, diharapkan perusahaan di industri alas kaki dapat mulai mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Inovasi seperti teknologi manufaktur rendah emisi dan penggunaan bahan ramah lingkungan. Kerangka kerja peraturan juga perlu dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, dengan menerapkan standar lingkungan yang lebih ketat. Selain itu diharapkan kebijakan yang nantinya ditentukan tersebut memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas udara dan kesejahteraan masyarakat di kota Taipei.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan kualitas udara di kawasan industri alas kaki yang memiliki tingkat PM_{2,5}, PM₁₀, dan NO₂ yang melebihi ambang batas yang ditetapkan WHO. Hal tersebut memberikan dampak negatif pada kesehatan pernapasan dan menjadi isu kesehatan masyarakat yang mendesak. Faktor-faktor dari kegiatan dalam industri alas kaki, transportasi dalam pendistribusian, dan pola cuaca memiliki peran penting yang menentukan kualitas udara di kawasan ini. Saran berdasarkan kesimpulan penelitian ini yaitu perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait peranan faktor-faktor dari kegiatan industri alas kaki tersebut, sehingga pemahaman yang mendalam tentang kualitas udara di kawasan ini dapat memberikan dasar bagi perancangan kebijakan lingkungan yang efektif dan lebih terarah guna meningkatkan kualitas udara dan kesejahteraan masyarakat di kota Taipei.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit Politeknik ATK Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan untuk dapat mempublikasikan artikel penelitian.

Daftar Pustaka

- [1]. ElMassah S, Mohieldin M., "Digital transformation and localizing the Sustainable Development Goals (SDGs)", *Ecol Econ. Elsevier*, 169:106490, 2020.
- [2]. Giri FS, Chaparro TS., "Measuring business impacts on the SDGs: a systematic literature review: Measuring business impact on the SDGs", *Sustain Technol Entrep.* 2, 2023.
- [3]. Lin M-H., "Integrated Decision Framework on UN SDGs and Climate Adaptation: SDG 6 in Taiwan", *Geophys Res Abstr.* 21:1, 2019.
- [4]. Kandavel S., Tamil Nadu, "Showcases its Strength to Taiwan footwear Manufacturers in a Bid to Attract Investment", 2023.
- [5]. Ding P, Wang G, Chen B, Wan G., "Urban Air Pollution in Taiwan before and after the Installation of a Mass Rapid Transit System", *J Environ Qual [Internet]*, 45:1731–9, 2016. Available from: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/jeq2015.08.0432>
- [6]. Fruin WM., *Networks, Markets, and the Pacific Rim: Studies in Strateg*, Oxford University Press Inc; 1998.
- [7]. García AN, Font R., *Thermogravimetric kinetic model of the pyrolysis and combustion of an ethylene-vinyl acetate copolymer refuse Fuel*, 83:1165–73, 2004.
- [8]. Deyo FC, Doner RF, Hershberg E., *Economic Governance and the Challenge of Flexibility in East Asia*, Rowman and Littlefield Inc; 2001.

- [9]. Shu-Hwei Fang, Hsiung-Wen Chen. "Air quality and pollution control in Taiwan. Atmos Environ" [Internet]. 1996;30:735–41. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/1352231094002142>
- [10]. Sommer F, Dietze V, Baum A, Sauer J, Gilge S, Maschowski C, et al., "Tire abrasion as a major source of microplastics in the environment. Aerosol air Qual Res", *Taiwan Association for Aerosol Research*, 18:2014–28, 2018.
- [11]. Deng X, Wang J, Li Q., "Volatile Organic Compounds in Footwear Production: Health and Environmental Impacts", *Atmos Environ*. 242, 2021.
- [12]. DiNapoli T., *Global Shoe Waste: The Environmental Impact of Footwear*, 2022.
- [13]. Lee H, Park J., "Air Pollution from Rubber and Plastic Footwear Production: A Review", *J Ind Ecol*. 24:1291–305, 2020.
- [14]. Mahmud Y, Rashed-Ul-Islam M, Islam MO, Moin TS, Rahman KT., "Assessment of the Carbon Footprint and VOCs Emissions Caused by the Manufacturing Process of the Footwear Industry in Bangladesh" *Text Leather Rev* [Internet]. 2021;4:23–9. Available from: <https://www.tlr-journal.com/tlr-4-1-2021-mahmud/>
- [15]. Goncalves A., "Petroleum-Based Materials and Their Environmental Impact", *J Mater Sci*. 54:234–45, 2019.
- [16]. Prasetyawati ND, Sudaryanto S., "Pengaruh Pencemaran Udara Terhadap Terjadinya Air", *Borne Disease*, 18:111–20, 2021.
- [17]. Smith R. Chemical Treatments and Air Quality: Implications for the Footwear Industry. *Environ Chem Lett*. 2020;18:1907–14.
- [18]. Rosário Filho NA, Urrutia-Pereira M, D'Amato G, Cecchi L, Ansotegui IJ, Galán C, et al., "Air pollution and indoor setting", *World Allergy Organ J. Elsevier Inc*. 14:100499, 2021.
- [19]. Wang L., "Innovations in Sustainable Footwear Manufacturing", *Int J Fash Technol*. 12:76–89, 2022.
- [20]. Chang S-C, Lee C-T., "Evaluation of the Trend of Air Quality in Taipei, Taiwan from 1994 to 2003", *Environ Monit Assess* [Internet]. 2007;127:87–96. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-006-9262-1>
- [21]. Jen-Hao Liu, Yu-Fan Chen, Tzu-Shiang Lin, Da-Wei Lai, Tzai-Hung Wen, Chih-Hong Sun, et al., "Developed urban air quality monitoring system based on wireless sensor networks", 2011 Fifth Int Conf Sens Technol [Internet]. IEEE; 2011. p. 549–54. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6137040/>
- [22]. Johnson R, Davis M., "Regulatory Advances and Environmental Standards in Footwear Manufacturing", *Policy Environ Manag Rev*. 19:567–79, 2023.
- [23]. Ding P-H, Wang G-S, Guo Y-L, Chang S-C, Wan G-H., "Urban air pollution and meteorological factors affect emergency department visits of elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan", *Environ Pollut* [Internet]. 2017;224:751–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749116308879>
- [24]. World Health Organization, WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Heal Organ*. 2021;290.
- [25]. Yeh H-C, Chen Y-C, Wei C., "Mapping dust storm PM_{2.5} pollution risk using indicator kriging in northern Taiwan. *Terr Atmos Ocean Sci*" [Internet]. 2020;31:313–23. Available from: <http://tao.cgu.org.tw/index.php/articles/archive/atmospheric-science/item/1702>

p-ISSN : 1411-7703

e-ISSN : 2746-2625

- [26]. Gajewski R, Ferrer J, Martínez MA, Cuesta N, Gajewski A., "Footwear carbon print in footwear industry", *19th IGWT Synposium "Commodity Sci Res Pract - Curr Achiev Futur challenges*, 1, 2015.