

Pengelompokan Titik Wilayah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Kualitas Udara Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Means

Adrian Firmansyah,
Politeknik Statistika STIS

Aprilia Lutviana Dewi,
Politeknik Statistika STIS

Emalia Septiani Hirna,
Politeknik Statistika STIS

M. Bagus Adji Briliyanto,
Politeknik Statistika STIS

Muti Nurjannah,
Politeknik Statistika STIS

Rani Nooraeni
Politeknik Statistika STIS, raninoor@stis.ac.id

ABSTRAK. Salah satu target SDGs adalah menangani permasalahan pencemaran udara, WHO menyebutkan bahwa pencemaran udara merupakan risiko gangguan kesehatan terbesar di dunia. Diperkirakan terdapat sekitar 6,5 juta orang meninggal tiap tahun akibat paparan polusi udara. Provinsi DIY merupakan salah satu daerah yang masih memiliki masalah pencemaran lingkungan, mobilitas manusia yang tinggi dengan bertambahnya pengguna kendaraan bermotor membuat pencemaran semakin meningkat. Selain itu, konsumsi energi dan aktivitas industri yang tidak terkendali terutama di daerah perkotaan juga ikut memperburuk kualitas udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan wilayah-wilayah di Provinsi DIY berdasarkan data kualitas udara yang terekam pada 75 titik amatan agar diperoleh gambaran umum karakteristik wilayah tertentu dengan masalah pencemaran udara spesifik meliputi gas pencemar CO, SO₂, NO₂, dan O₃. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari Kementerian Lingkungan Hidup Provinsi DIY, sedangkan metode yang digunakan adalah *fuzzy c-means clustering*. Hasilnya, dari *profile data* sebelum dilakukan pengelompokan diperoleh kadar CO, SO₂, NO₂, dan O₃ terendah berada pada titik-titik wilayah permukiman dan tertinggi berada pada titik perempatan jalan, *training camp*, kampus fakultas teknik, dan industri dan hasil dari perbandingan *clustering validity index* terbentuk sebanyak 2

kelompok. Kelompok 1 memiliki titik tengah kadar pencemar gas NO₂, SO₂, CO, dan O₃ yang lebih tinggi dibandingkan kelompok 2. Kelompok 1 terdiri atas 45 anggota, dimana sebagian besar kelompok ini merupakan titik industri, persimpangan jalan, serta pusat keramaian. Sedangkan kelompok 2 terdiri atas 30 anggota, dimana sebagian besar kelompok ini merupakan titik permukiman.

Kata Kunci: *pencemaran udara, kualitas udara, fuzzy c-means clustering*

1. PENDAHULUAN

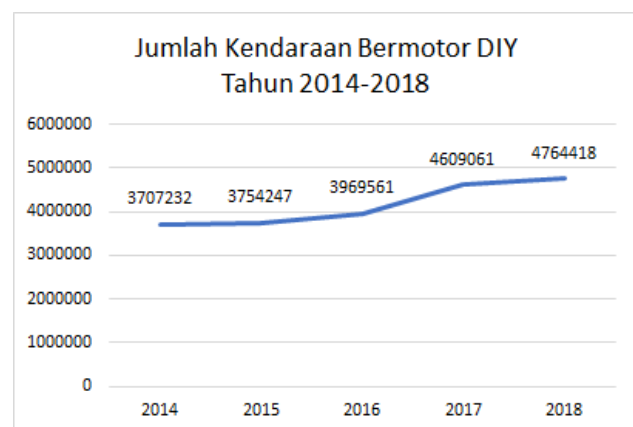
Sustainable Development Goals (SDGs) merupakan rencana pembangunan global terdiri dari 17 tujuan dan 169 target yang dirumuskan oleh United Nations (UN) yang berlaku sejak tahun 2016 hingga 2030. Salah satu target SDGs di antaranya adalah menangani permasalahan pencemaran udara yang berdampak pada kesehatan manusia. WHO menyebutkan bahwa pencemaran udara merupakan risiko gangguan kesehatan terbesar di dunia. Terdapat sekitar 6,5 juta orang meninggal tiap tahun akibat paparan polusi udara. Adanya berbagai pembangunan seperti pembangunan pusat industri, transportasi, dan infrastruktur menjadi pemicu terjadi perubahan kualitas udara. Perubahan itu

dikarenakan adanya zat pencemar berbentuk partikel kecil dan gas-gas tertentu yang terkandung dalam udara. Bahan pencemar gas primer terdiri dari karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO_x), dan sulfur (SO_x) [1]. Pencemar ini bersumber dari aktivitas kendaraan, industri, PLTU, dan pembakaran sampah. Bahaya yang ditimbulkan dapat berupa gangguan paru-paru dan kardiovaskular pada manusia serta kematian tanaman dan hewan. Sedangkan bahan pencemar sekunder berbahaya yang diperoleh dari reaksi fotokimia pencemar gas primer yaitu ozon (O₃).

Konsumsi energi dan aktivitas industri yang tidak terkendali terutama di daerah perkotaan juga ikut memperburuk kualitas udara. Indeks Kualitas Udara (IKU) merupakan nilai yang menunjukkan mutu kebaikan atau kualitas udara dengan nilai ideal 100, yaitu menggambarkan kualitas udara terbaik. IKU di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) tahun 2018 sebesar 84,25 sudah mencapai target Rencana Strategis (Renstra) tahun 2018 sebesar 83,00. Namun angka tersebut mengalami penurunan dibandingkan IKU DIY pada tahun 2017 sebesar 88,08 [2], [3]. Kehidupan sehari-hari melibatkan berbagai peralatan modern turut serta dalam mencemari udara. Pembangkit listrik sebagai penyalur energi ke setiap rumah untuk dimanfaatkan sebagai penerangan, daya televisi, daya AC, dan peralatan listrik lainnya. Bahan bakar untuk pembangkit di Indonesia sebagian besar berupa batu bara dan minyak yang menimbulkan residu atau limbah sisa sebagai kontributor emisi gas. Disamping itu, kegiatan sehari-hari seperti pembakaran sampah terbuka juga ikut berperan dalam pencemaran udara [4]. Provinsi DIY merupakan daerah yang padat penduduk. Pada tahun 2015 provinsi DIY merupakan provinsi terpadat keempat di Indonesia sebesar 1174 jiwa/km² [5]. Disamping itu, adanya peningkatan jumlah wisatawan berimplikasi pada kepadatan penduduk di

provinsi DIY yang juga semakin bertambah, terutama disaat liburan [6]. Peningkatan kepadatan penduduk akan mempengaruhi kualitas udara di suatu wilayah. Kepadatan penduduk secara positif dan signifikan mempengaruhi emisi udara [7]. Mobilitas manusia yang tinggi dengan bertambahnya pengguna kendaraan bermotor membuat pencemaran juga akan meningkat [8].

Salah satu kontributor utama pencemaran udara di provinsi DIY yaitu kendaraan bermotor. Selain itu, kurangnya akses dalam penggunaan transportasi umum juga menyebabkan pengguna kendaraan pribadi terus meningkat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di provinsi DIY selalu meningkat setiap tahunnya [9, 10, 11].



Sumber: Statistik Transportasi Darat, Badan Pusat Statistik (diolah)

Grafik 1. Jumlah Kendaraan Bermotor di Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2014-2018

Permasalahan lingkungan provinsi DIY juga semakin kompleks dengan keberadaan industri rumahan. Provinsi DIY dikenal sebagai kota wisata yang terdapat banyak industri-industri rumah tangga kreatif seperti industri pembatikan, industri padat karya, dan industri lainnya. Industri pembatikan provinsi DIY terindikasi adanya kontaminasi dari karbon monoksida pada ruang kerja [12]. Selain itu, terdapat pengembangan kawasan untuk lokasi industri di wilayah Bantul juga menimbulkan permasalahan

yang dirasakan masyarakat sekitar. Seperti permasalahan limbah udara pada cerobong asap pabrik aspal di Tegalyoso, Piyungan [13].

Berbagai permasalahan lingkungan dari provinsi DIY di atas menunjukkan adanya keragaman sumber pencemaran udara dengan level berbahaya yang beragam juga. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penanganan yang beragam sesuai kondisi pencemaran di wilayah yang bersangkutan. Untuk itu, peneliti ingin melakukan pengelompokan wilayah berdasarkan data kualitas udara yang terekam pada 75 titik amatan yang tersebar di provinsi DIY pada tahun 2018 dengan menggunakan metode pengelompokan lebih tepatnya *fuzzy c-means clustering*. Data yang digunakan bersumber dari data Kementerian Lingkungan Hidup Provinsi DIY tahun 2018.

Tujuan penelitian ini yaitu

- 1) Mengetahui gambaran umum kualitas udara ambien menurut jenis polutan CO, SO₂, NO₂, dan O₃
- 2) Mengelompokkan wilayah-wilayah di provinsi DIY agar diperoleh gambaran umum karakteristik wilayah tertentu dengan masalah pencemaran udara spesifik meliputi gas pencemar CO, SO₂, NO₂, dan O₃. Pengelompokan ini akan mempermudah penanganan masalah pencemaran udara di wilayah-wilayah provinsi DIY sesuai sumber pencemaran

2. TINJAUAN PUSTAKA

CLUSTERING

Clustering merupakan salah satu metode *unsupervised* pada *data mining*. Metode pengelompokan dalam *data mining* berbeda dengan metode konvensional yang biasa digunakan untuk pengelompokan [18]. Metode pengelompokan ini banyak jenisnya salah satunya *Fuzzy Clustering*.

FUZZY C-MEANS CLUSTERING

Fuzzy C-Means (FCM) merupakan salah satu teknik *fuzzy clustering* (pengelompokan fuzzy) yang paling sederhana. Dun (1973) mengusulkan teknik ini yang kemudian disempurnakan oleh Bezdek (1981). Fungsi objektif FCM :

$$J_m(U, V) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K u_{ik}^m \|x_i - v_k\|^2 ; \quad v_k = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ik}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ik}^m}$$

U : *membership matrix* yang berisikan derajat keanggotaan (u_{ik})

V : *centroid matrix* yang berisikan vektor pusat kelompok (v_k)

u_{ik} : derajat keanggotaan antara data ke- i dengan kelompok ke- k

v_k : vektor yang merupakan pusat kelompok ke- k

x_i : vektor yang berisi data pada observasi ke- i

m : *fuzzifier*/parameter ke-*fuzzy*-an

Nilai m merupakan parameter yang mengontrol kemungkinan adanya irisan antar kelompok yang terbentuk. Tidak terdapat aturan khusus nilai yang tepat untuk m . Bezdek et al. (1984) merekomendasikan nilai m yang berkisar 1.5 hingga 3. Sedangkan jika terdapat *outlier* Wu (2012) merekomendasikan m berkisar 1.5 hingga 4 untuk memberikan efek *robust* pada data yang mengandung *outlier*. Nilai m ini ikut memengaruhi ketahanan FCM terhadap noise dan pencilaan [16].

Kelebihan dari FCM yaitu memperbaiki pusat kelompok dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang sehingga dapat dilihat bahwa pusat kelompok akan bergerak menuju ke lokasi yang tepat. Selain itu, metode kelompok ini juga memiliki akurasi yang tinggi dan waktu komputasi yang cepat. Dibandingkan dengan k -means, algoritma c -means lebih unggul dalam mengatasi data *outlier*. Saat clustering dengan c -means, data *outlier* akan bergabung menjadi satu kelompok dengan pusat kelompok, sedangkan k -means, data *outlier* membentuk kelompok

tersendiri. Ini terjadi karena FCM memiliki derajat keanggotaan untuk mengelompokkan ke dalam kelompok yang semestinya [17].

VALIDITAS CLUSTERING

1) Partition Coefficient Index (PCI)

Partition Coefficient Index (PCI) atau indeks koefisien partisi merupakan fungsi validitas Fuzzy C-Means pertama yang diusulkan oleh Bezdek 1974. PCI mengukur jumlah *overlapping* antar kelompok yang biasa mengandung informasi geometrik. Persamaan PCI sebagai berikut:

$$PCI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N u_{ik}^2$$

Di mana N adalah objek penelitian, sedangkan c adalah banyak kelompok dan u_{ik} adalah nilai keanggotaan objek ke- k dengan pusat kelompok ke- i . PCI berada dalam rentang $\frac{1}{c} \leq PCI \leq 1$. Jika mendekati 1 maka kelompok tersebut dapat dikatakan optimal atau menghasilkan kinerja pengelompokan terbaik untuk data set tersebut [20].

2) Modified Partition Coefficient Index (MPCI)

Modified Partition Coefficient Index (MPCI) adalah salah satu fungsi validitas dengan penyempurnaan dari PCI dan PEI yang digagaskan oleh Dave (1996), untuk mengatasi kekurangan PCI dan PEI yang mana memiliki kecenderungan berubah secara monotonik dengan seiring dengan berubahnya nilai c . Kemudian MPCI yang didapat berada pada $0 \leq MPCI \leq 1$, jika mendekati 1 maka kelompok tersebut dapat dikatakan optimal atau terbaik. Persamaan MPCI sebagai berikut:

$$MPCI = 1 - \frac{c}{c-1} (1 - PCI)$$

Di mana c adalah banyak kelompok dan PCI adalah *Partition Coefficient Index*. [21]

3) Partition Entropy Index (PEI)

Partition Entropy Index (PEI) diusulkan oleh James C. Bezdek pada tahun 1974 digunakan untuk mengevaluasi keteracakan data di dalam kelompok [22]. Indeks validitas ini didefinisikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$PEI = -\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K u_{ij} \times \log_2 u_{ij} \right)$$

Pada umumnya kelompok optimal akan diperoleh jika nilai yang didapat semakin kecil (mendekati 0). Nilai yang semakin kecil (mendekati 0) memiliki arti bahwa kualitas kelompok yang diperoleh semakin baik [23].

4) Fuzzy Silhouette Index

Silhouette Index (SI) dapat digunakan untuk memvalidasi baik sebuah data, kelompok tunggal (satu kelompok dari sejumlah kelompok) atau bahkan keseluruhan kelompok. Indeks ini menghitung rata-rata nilai setiap titik pada himpunan data. Perhitungan nilai setiap titik adalah selisih nilai *separation* dan *compactness* yang dibagi dengan maksimum antara keduanya. Jumlah kelompok terbaik dipilih dengan nilai *Silhouette* yang paling mendekati 1 (Rosseeuw, 1987). Misalkan terdapat N buah titik pada suatu himpunan data, terdapat pula di dalamnya kelompok p dan kelompok q dengan x_i adalah titik pusat p dan y_j merupakan titik pada kelompok q , sehingga $a_{p,i}$ adalah rata-rata jarak titik x_i ke tiap titik pada kelompok p dan $d_{q,i}$ merupakan rata-rata jarak titik x_i ke tiap titik di kelompok q . Rumus indeks *Silhouette* adalah sebagai berikut.

$$SIL = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N S_{x_i}$$

$$S_{x_i} = \frac{(b_{q,i} - a_{p,i})}{\max\{a_{p,i}, b_{q,i}\}}, p \neq q$$

$$b_{q,i} = \min d_{q,i}; q = 1, 2, \dots, k$$

$$d_{q,i} = \frac{1}{n_q} \sum_{j=1}^{n_q} d(x_i, y_j)$$

$$a_{p,i} = \frac{1}{n_p} \sum_{k=1}^{n_p} d(x_i, x_k)$$

5) Xie Beni Index (XBI)

Xie Beni Index (XBI) ditemukan oleh Xie dan Beni dan pertama kali dikemukakan pada tahun 1991. Kriteria dalam pengukuran validitas suatu kelompok terdiri dari ukuran kedekatan antar anggota tiap kelompok (*compactness*) dan ukuran keterpisahan antar kelompok (*separation*). Ukuran validitas kelompok menggunakan XBI dirumuskan sebagai berikut:

$$XBI = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ik}^{w*} \|V_i - X_j\|^2}{n * \min_{i,j} \|V_i - V_j\|^2}$$

Dengan c = banyak kelompok, n = banyak objek yang dikelompokkan, μ_{ik} = derajat keanggotaan fuzzy, w = pangkat pembobot (*fuzzifier*), $n * \min_{i,j} \|V_i - V_j\|^2$ = jarak minimum antara pusat kelompok dan v_i dan v_j . [25].

3. METODOLOGI

Variabel Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari database Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DIY tahun 2018. Data tersebut diambil dari 75 titik amatan yang diukur menggunakan alat pengukur konsentrasi zat pencemar udara yang tersebar di seluruh provinsi DIY. Namun data tersebut memiliki keterbatasan. Sebagian besar titik amatan berada di Kota Yogyakarta dan sekitarnya (dapat dilihat pada Gambar 4). Sementara sebagian kecil titik amatan menyebar di Kabupaten Bantul, Kabupaten Sleman, Kabupaten Kulon Progo, dan Kabupaten Gunung Kidul. Adapun variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kadar gas pencemar CO, SO₂, NO₂, dan O₃ di setiap titik amatan dengan satuan $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (mikrogram per normal meter kubik).

Definisi Operasional

1. Karbon monoksida (CO) adalah gas pencemar primer yang dapat mengganggu metabolisme otot dan fungsi enzim intraseluler. Sumbernya antara lain dari

pembakaran sampah domestik dan berbagai aktivitas industri seperti industri logam, industri gas kimia, dan industri bahan bakar.

2. Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas pencemar primer yang merupakan bagian dari gugus pencemar SO_x. Sumber pencemaran SO_x berasal dari pembakaran arang, minyak bakar gas, kayu, dan aktivitas industri seperti pemurnian petroleum, dan peleburan baja.
3. Nitrogen dioksida (NO₂) adalah gas pencemar primer yang empat kali lebih berbahaya dibandingkan NO. Sumbernya berasal dari kendaraan bermotor, kegiatan industri, PLTU, dan pembakaran sampah.
4. Ozon (O₃) adalah gas pencemar sekunder yang dihasilkan dari proses fotokimia antara sinar matahari dan komponen pencemar primer[26].

Baku mutu kualitas udara ambien nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah RI no 41 Tahun 1999, yaitu :

1. Parameter CO₂ dalam waktu pengukuran 24 jam sebesar $10000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
2. Parameter SO₂ dalam waktu pengukuran setahun sebesar $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
3. Parameter NO₂ dalam waktu pengukuran setahun sebesar $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.
4. Parameter SO₂ dalam waktu pengukuran setahun $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$

Metode Penelitian dan Langkah Pengerjaan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy c-means clustering*. Adapun proses analisis yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi langkah-langkah berikut:

1. Melakukan analisis deskriptif terhadap variabel penelitian yang meliputi nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum.
2. Menghitung korelasi antar variabel penelitian.
3. Mendeteksi keberadaan *outlier* dalam data di setiap variabel penelitian.

4. Melakukan pengelompokan wilayah provinsi DIY berdasarkan variabel penelitian dengan metode *fuzzy c-means clustering*.
5. Menginterpretasi hasil pengelompokan.

4. PEMBAHASAN

Profile Data

Berdasarkan Tabel 4.1, kadar CO, SO₂, NO₂, dan O₃ terendah berada pada titik-titik wilayah permukiman/dusun di wilayah Bantul. Sedangkan untuk kadar tertinggi berada pada titik perempatan jalan, *training camp*, kampus fakultas teknik, dan industri. Perempatan jalan Wojo merupakan salah satu jalan utama untuk akses dari Kota Yogyakarta ke Bantul yang seringkali dipadati oleh kendaraan terutama saat waktu akhir pekan (Dishub Bantul). Pada industri Aneka Sinendo menjadi titik wilayah dengan kadar CO tertinggi dikarenakan sebagai industri arang briket tentu akan menimbulkan polusi udara sebagai hasil dari limbah aktivitas industrinya.

Tabel 4.1 Gambaran Umum Kualitas Udara Ambien Menurut Jenis Polutan

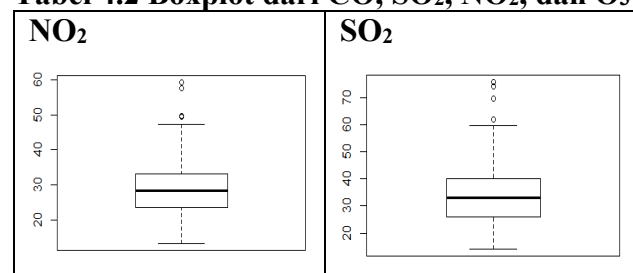
	Min ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Max ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Med ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	Mean ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
NO₂	13,19 (Masjid Al Masur, Desa Bangunjiwo, Bantul)	59,27 (Joglo Boxing Camp, Kota Yogyakarta)	28,32	29,23
SO₂	14,16 (Dusun Kec. Bantul)	75,66 (Perempatan Wojo, Ring road selatan Kota)	32,93	35,36

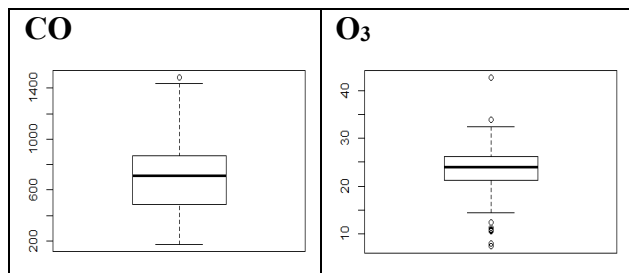
		Yogyakarta)		
CO	174,1 (Dusun Kec. Bantul)	1484,3 (Sebelah barat PT Aneka Sinendo)	711,9	695,7
O₃	7,44 (SD Inpres Sawit, Dusun Panggunharjo, Bantul)	42,70 (Fakultas Teknik UGM)	23,96	23,02

Sumber data: Kementerian Lingkungan Hidup Provinsi DIY tahun 2018, diolah.

Median digunakan sebagai ukuran pemusatan karena data penelitian terdapat outlier. Median zat NO₂ sebesar 28.32 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ masih cukup jauh dari batas nilai baku mutu NO₂ pengukuran per tahun sebesar 100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada Median zat SO₂ sebesar 32.93 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ masih berada setengah dari baku mutu sebesar 60 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada median O₃ sebesar 23.96 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ masih sekitar setengah dari batas nilai baku mutu. Jika berdasarkan ukuran pemusatan, titik-titik wilayah masih jauh dari batas baku mutu. Tetapi apabila melihat dari nilai maksimum kadar zat NO₂, dan O₃ hampir mendekati batas nilai baku mutu tetapi untuk zat SO₂ sudah melewati batas baku mutu pengukuran per tahun.

Tabel 4.2 Boxplot dari CO, SO₂, NO₂, dan O₃





Dari gambar Tabel 4.2 di atas, kita dapat menentukan beberapa ukuran statistik. Dari badan boxplot NO₂ menunjukkan sebaran data tidak simetris, tapi menjulur ke arah kanan (positively skewness). Kemudian, pada badan boxplot SO₂ dapat dilihat sebaran data tidak simetris, tapi menjulur ke arah kanan (*positively skewness*). Pada boxplot CO sebaran datanya tidak simetris, cenderung menjulur ke arah kanan (positively skewness). Untuk boxplot O₃ dapat dilihat sebaran data cenderung simetris. Untuk keempat variabel semuanya memiliki outlier (pencilan).

Oleh karena itu, sebelum mengolah data dilakukan standarisasi data (*scaling data*) sebagai salah satu cara mengatasi pencilan.

Korelasi Antar Variabel

Tabel 4.3 Matriks Korelasi CO, SO₂, NO₂, dan O₃

	NO ₂	SO ₂	CO	O ₃
NO ₂	1,0000	0,3771	0,1875	0,2461
SO ₂	0,3771	1,0000	0,2858	0,4297
CO	0,1875	0,2858	1,0000	0,4174
O ₃	0,2461	0,4297	0,4174	1,0000

Berdasarkan matriks korelasi pada Tabel 4.3 di atas, diperoleh nilai korelasi antar variabel kurang dari 0,5. Menurut Gujarati (2003) menyebutkan jika nilai korelasi melebihi 0,8 maka hal itu menandakan terjadi multikolinearitas. sehingga dapat dikatakan tidak terjadi pelanggaran asumsi non multikolinearitas.

Penentuan Jumlah Kelompok

Tabel 4.4 Indeks Validitas Kelompok

Jumlah Kelompok	FSI	PE	PC	MPC	XBI
2	0,8052	0,2504	0,8517	0,7034	0,0998
3	0,8525	0,3266	0,8272	0,7408	0,1845
4	0,8302	0,4257	0,7831	0,7109	0,0683
5	0,8141	0,4499	0,7757	0,7196	0,0888
6	0,8344	0,4606	0,7840	0,7408	0,0818

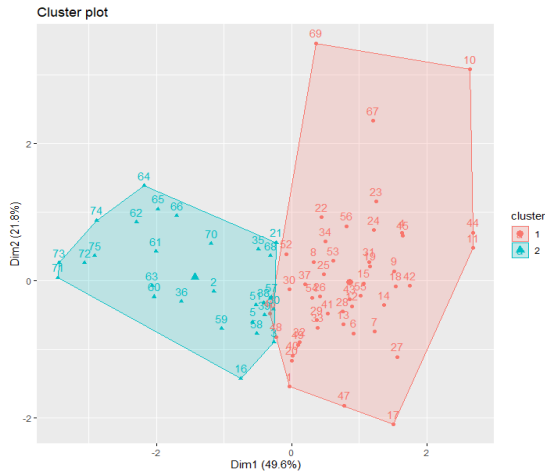
Untuk mengetahui nilai k optimum dalam clustering, diperlukan clustering validity index, yaitu *partition coefficient*, *modified partition coefficient*, dan *fuzzy silhouette index* yang bernilai tinggi, serta *partition entropy*, dan *xie-beni index* bernilai rendah. Berdasarkan rekomendasi Wu (2012), nilai m optimum berkisar 1.5 hingga 4 untuk memberikan efek robust pada data yang mengandung outlier seperti data penelitian ini. Berdasarkan output tabel di atas diperoleh *fuzzifier* sebesar 2 dengan banyak kelompok yang digunakan sebanyak dua.

Kelompok yang Terbentuk

Cluster plot



Gambar 1. Cluster Plot Sebelum Standarisasi Data



Gambar 2. Cluster Plot Setelah Standarisasi Data

Pada Gambar 1, digambarkan sebaran titik amatan berdasarkan kelompok. Pengelompokan didasarkan pada jarak terdekat titik amatan dengan nilai tengah (*centroid*) kelompok. Berdasarkan gambar tersebut, terdapat bagian kelompok satu dan kelompok dua yang nampak tumpang tindih. Hal ini disebabkan karena jarak amatan pada masing-masing kelompok dengan titik tengah kelompok ada yang hanya berbeda tipis, sehingga ada beberapa amatan yang tampak tumpang tindih berada di antara kelompok satu dan kelompok dua.

Untuk mengatasi kelompok yang tumpang tindih atau adanya irisan antar kelompok dilakukan standarisasi data sebagai cara juga untuk mengatasi data yang terdapat *outlier* pada data penelitian. Pada gambar 2 menunjukkan kelompok satu anggota kelompok relatif menyebar karena terdapat beberapa titik amatan yang nilainya cukup jauh dengan anggota lain, sedangkan kelompok dua cenderung mengelompok.

Berdasarkan *cluster plot* setelah standarisasi data diperoleh kelompok 1 terdiri atas 45 anggota yang Sebagian besar merupakan titik wilayah industry dan pusat keramaian (aktivitas).

Industri	Sebelah Timur PT Jogjatex, Sebelah Utara PT Jogjatex, Sebelah Selatan PT Jogjatex, Halaman PT Jogjatex, Halaman PT Madu Baru, Depan GKBI Medari, PC GKBI
-----------------	--

	Medari, Sebelah Utara PC GKBI Medari, Sebelah Timur PC GKBI Medari, Sebelah Selatan PC GKBI Medari, Sebelah Barat PC GKBI Medari, PT Aneka Sinendo, Sebelah Barat PT Aneka Sinendo, Sebelah Utara PT Aneka Sinendo, dan Sebelah Timur PT Aneka Sinendo.
Persimpangan Jalan	Simpang Empat Ngelang, Pertigaan Teteg/Simpang Tiga, Perempatan Gose, Perempatan Druwo, Perempatan Mirota Kampus, Perempatan Gading, Simpang Empat Siyono, Perempatan RSUD Wonosari., Perempatan Janti, dan Perempatan Denggung
Pusat Keramaian	Terminal Wates, Terminal Wonosari, Depan Pasar Sepeda Jl. Menteri Supeno, Depan RS PKU Muhammadiyah Yogyakarta, dan Depan Pasar Beringharjo.
Perkantoran	Depan Kantor Hotel Tentrem, Depan Kantor Kecamatan Getis, Depan Mirota Godean, Depan TVRI, Depan Kantor Merapi Golf, Depan Kantor Kec. Jetis.
Penginapan dan Permukiman	Depan Hotel Shapir, Hotel Matahari Jl. Parang Tritis, Perum Nogotirto II, dan Asrama Susteran Cab. Gejayan.
Lainnya	Samping Rumah Bpk. Budi Pawiro, Depan rumah Bpk. Santosa, Ruko Janti, Depan UPN Seturan, Fakultas Teknik UGM, dan Kompleks Makam Tompeyan.

Kelompok 2 terdiri atas 30 anggota yang sebagian merupakan titik wilayah permukiman

Permukiman	Rumah Bapak Santosa, Perumahan Fakultas Teknik UGM, Rumah Jalan Sabirin No. 22, Bending Sukunan, Depan Rumah Bapak Slamet, Depan Asrama Rohadi Oesman, Depan Rumah Bapak Wardani, Samping Perumahan Kehakiman, Dusun Tersan, Rumah Bu Yumiati, RT 6 Padukuhan 6 Nglebang, Perum Nogotirto II, dan RT 2 RW 15 Balong Lor.
Industri	Sebelah Barat PT. Jogjatex, Sebelah Utara PT. Madu Baru, Sebelah Timur PT. Madu Baru, Sebelah Selatan PT. Madu Baru, Sebelah Barat PT. Madu Baru, Sebelah Selatan PT. Aneka Sinendo.
Persimpangan Jalan	Simpang Tiga Toyon dan Perempatan Janti.
Toko	Depan Toko Besi Dongkelan dan Depan Ruko Bayeman.
Lainnya	Depan Kampus STTL, Depan Kantor Kecamatan Patuk, Depan Hotel Shapir, Utara Hotel Shapir, Joglo Boxing Premiere Camp, Masjid Al-Mansur, Depan UPN Seturan dan Utara SD Inpres Sawit.

Pada *pairs plot*, terlihat bahwa kelompok satu (warna merah) merupakan kelompok titik amatan yang memiliki *z-score* NO₂ dalam rentang -1 sampai 1 dan kelompok dua (warna hitam) merupakan kelompok titik amatan yang memiliki *z-score* NO₂ dalam rentang -1 sampai 3. Hal ini dapat diartikan bahwa kelompok satu merupakan kompok titik amatan dengan kadar NO₂ lebih tinggi dibandingkan kelompok dua. Masing-masing variabel yang dikombinasikan dengan NO₂ menunjukkan hasil bahwa kelompok satu merupakan kelompok titik amatan dengan kadar SO₂ lebih tinggi, kadar CO lebih tinggi, dan kadar O₃ lebih tinggi dibandingkan kelompok titik amatan yang ada di kelompok dua. Interpretasi pada NO₂ tersebut sejalan dengan dengan hasil pada SO₂, CO, dan O₃

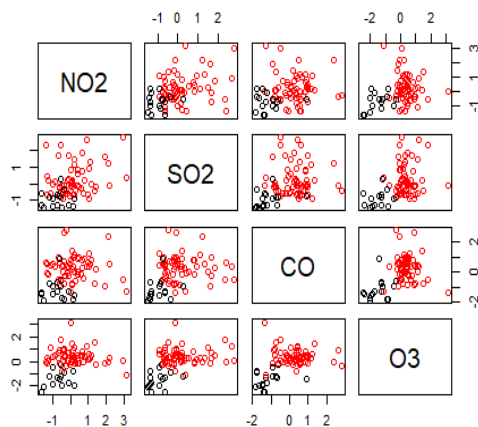
Dari penjabaran *pairs plot* di atas, diketahui bahwa kelompok satu merupakan kelompok titik amatan dengan kadar NO₂, SO₂, CO, dan O₃ yang lebih tinggi dibandingkan titik amatan yang berada pada kelompok dua. Ini sejalan dengan titik *centroid* yang dihasilkan oleh masing-masing kelompok.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *profile data* sebelum dilakukan pengelompokan diperoleh kadar CO, SO₂, NO₂, dan O₃ terendah berada pada titik-titik wilayah permukiman/dusun di wilayah Bantul. Sedangkan untuk kadar tertinggi berada pada titik perempatan jalan, *training camp*, kampus fakultas teknik, dan industri. Berdasarkan ukuran pemusatan, titik-titik wilayah masih jauh dari batas baku mutu. Tetapi apabila melihat dari nilai maksimum kadar zat NO₂, dan O₃ hampir mendekati batas nilai baku mutu dan untuk zat SO₂ sudah melewati batas baku mutu pengukuran per tahun.

Selanjutnya dilakukan pengelompokan dengan hasil perbandingan *clustering validity index*

Pairs Plot

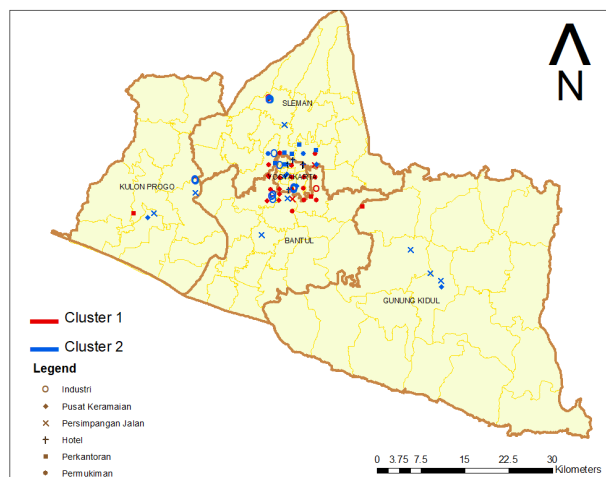


Gambar 3. Pairs Plot CO, SO₂, NO₂, dan O₃

diperoleh nilai *fuzzifier* sebesar dua dengan dua kelompok. Sehingga pengkelompokan titik-titik wilayah pemantauan udara provinsi D.I Yogyakarta dengan metode Fuzzy C-Means berdasarkan variabel kadar NO_2 , SO_2 , CO , dan O_3 diperoleh dua kelompok dengan jumlah keanggotaan kelompok pertama sebanyak 45 titik wilayah yang sebagian besar terdiri dari titik wilayah industri, persimpangan jalan, dan pusat keramaian. Sedangkan kelompok kedua sebanyak 30 titik wilayah yang sebagian besar didominasi titik wilayah permukiman. Titik *centroid* kelompok satu untuk semua variabel kadar NO_2 , SO_2 , CO , dan O_3 lebih tinggi dibanding kelompok dua. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada kelompok kedua merupakan titik-titik wilayah yang rawan akan peningkatan polusi udara yang diakibatkan keempat zat tersebut. Pada kelompok dua titik *centroid* keempat variabel lebih rendah daripada kelompok pertama yang mengindikasikan bahwa titik amatan pada wilayah permukiman memiliki kadar keempat zat pencemar tersebut yang rendah.

6. KRITIK DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemetaan pada Gambar 3, pemantauan kualitas udara ambien di Provinsi Yogyakarta menunjukkan titik pengukuran banyak terdapat di Kota Yogyakarta dibandingkan Kabupaten lainnya. Akan lebih baik menambah titik wilayah pengukuran yang mewakili setiap Kawasan (industri, perumahan, padat lalu lintas, dst.) di setiap kabupaten/kota supaya lebih merata untuk mewakili kabupaten/kota masing-masing dalam pengukuran kualitas udara.



Gambar 4. Persebaran kelompok yang terbentuk di Provisnis DIY 2018.

Hasil pengkelompokan juga menunjukkan bahwa pemerintah Yogyakarta sudah cukup baik dalam penanganan kualitas udara. Kelompok satu merupakan kawasan rawan polusi dengan titik wilayah kelompok tersebut merupakan industri, persimpangan jalan, tempat umum (terminal, gedung, rumah sakit). Hal ini mengindikasikan bahwa persimpangan jalan pada kelompok satu tinggi akan keempat zat polutan karena seringkali padat kendaraan bermotor. Untuk mengurangi penumpukan kendaraan di jalan dapat dilakukan kebijakan seperti ganjil-genap pada jalan-jalan tertentu supaya arus kendaraan dapat tersebar dan tidak berkumpul pada satu tempat yang dapat meningkatkan kadar polutan pada jam-jam tertentu. Selain itu, wilayah industri di kelompok ini juga perlu diperhatikan pembuangan limbah udaranya dikarenakan kadar dari SO_2 di titik wilayah tertentu yang hampir mencapai baku mutu per tahun.

Sedangkan kelompok dua yang dominan permukiman rendah akan kadar polutan sehingga warga setempat aman dari kontaminasi polutan yang berefek pada kesehatan. Selain itu, kelompok dua juga terdapat 6 titik wilayah industri yang menandakan bahwa kawasan industri juga memiliki sisi yang aman untuk para

pegawainya dari polutan udara hasil limbah industri.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bappeda Provinsi D.I. Yogyakarta. 2014. Polusi Udara dan Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor sebagai Prasyarat Pemberian Perpanjangan STNK.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2017. Laporan Kinerja 2017. Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan: Jakarta.
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2018. Laporan Kinerja 2018. Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan: Jakarta.
- [4] Badan Pusat Statistik. "Kepadatan Penduduk Menurut Provinsi, 2000-2015" [Tabel Dinamis]. Diunduh dari <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/842>.
- [5] Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. 2018. Laporan Analisa Hasil Pemantauan Kualitas Udara di Kota Yogyakarta.
- [6] Tribunjogja.com (2019). "Kualitas Udara di Kota Yogyakarta Masih Baik, Namun Polusi Dapat Meningkatkan Saat Liburan". Diunduh dari <https://jogja.tribunnews.com/2019/08/04/kualitas-udara-di-kota-yogyakarta-masih-baik-namun-polusi-bisa-meningkat-saat-liburan>.
- [7] Zuhri, M.S. (2014). Pengaruh Faktor-faktor Demografi Terhadap Emisi Udara di Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi dan Pembangunan*, Vol. 14 (2), 13-37.
- [8] Rosdiyansyah, F. (2017). K-Means dan Fuzzy C-Means Pada Analisis Data Polusi Udara di Kota X. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, Vol. 5 (1).
- [9] Badan Pusat Statistik. 2014. Statistik Transportasi Darat. Badan Pusat Statistik: Jakarta.
- [10] Badan Pusat Statistik. 2016. Statistik Transportasi Darat. Badan Pusat Statistik: Jakarta.
- [11] Badan Pusat Statistik. 2018. Statistik Transportasi Darat. Badan Pusat Statistik: Jakarta.
- [12] Damiyanti, dkk (2003). Pencemaran Udara di Ruang Proses Pematikan Industri Rumah Tangga Batik (Studi Kasus: Industri Rumah Tangga di Kampung Taman Kotamadya Yogyakarta). *Jurnal Manusia dan Lingkungan Universitas Gajah Mada*, Vol. 10 (1), 19-32.
- [13] Radar Jogja. 2016. Asap Pabrik Aspal Masih Mengepul, Pemerintah Kabupaten Sleman Angkat Tangan.
- [14] Efiyah, Uum. 2014. Penerapan Algoritma Fuzzy C-Means untuk Pengelompokan Harga Gabah di Tingkat Penggilingan Berdasarkan Kualitas Gabah [Skripsi], Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- [15] Sitepu, R, dkk (2011). Analisis Cluster terhadap Tingkat Pencemaran Udara pada Sektor Industri di Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, Vol. 13 (3), 11-17.
- [16] Ningrum, F, dkk (2011). Fuzzy C-Means Clustering dengan Analisis Robust. *Seminar Nasional Statistika 12 November 2011*.
- [17] Tan, P.N., Steinbach, M., Kumar, V. 2006. Introduction to Data Mining. Pearson Education, Inc.
- [18] Nooraeni, R. (2015). Cluster Method Using A Combination Of Cluster Kprototype Algorithm And Genetic Algorithm For Mixed Data. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*, Vol. 7 (2), 81-98.
- [19] Pramana, S., dkk. 2018. *Data Mining dengan R: Konsep dan Implementasinya*. In Media, Jakarta.
- [20] Wu, K.L. & Yang, M.S.(2005). A Cluster Validity Index For Fuzzy Clustering. *Taiwan: Pattern Recognition Letters*, Vol. 26.
- [21] Haqiqi, B.N. & Kurniawan, R.(2015). "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy C-Means Dan Subtractive Fuzzy C-Means". Diunduh dari : https://www.researchgate.net/publication/291832481_ANALISIS_PERBANDINGAN_METODE_FUZZY_C-

MEANS_DAN_SUBTRACTIVE_FUZZY_C-MEANS

- [22] Mashfuufah, S., Deden I. (2018). Penerapan Partition Entropy Index, Partition Coefficient Index dan Xie Beni Index untuk Penentuan Jumlah Kelompok Optimal pada Algoritma Fuzzy C-Means dalam Pemetaan Tingkat Kesejahteraan Penduduk Jawa Tengah. *The 7th URECOL STIKES PKU Muhammadiyah Surakarta*.
- [23] Sormin, R. P. A., dkk. (2015). Aplikasi Metode *Fuzzy C-Means* Untuk Pengkelompokan Kelayakan Rumah Di Desa Wayame, Ambon. *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*. Vol 9 (2), 135-146.
- [24] Khairati, A. F., dkk (2019). Kajian Indeks Validitas pada Algoritma K-Means Enhanced dan K-Means MMCA. *PRISMA Prosiding Seminar Nasional Matematika* 2. 161-170.
- [25] Muchsin, A.K., Sudarma, M. (2015). Penerapan Fuzzy C-Means Untuk Penentuan Besar Uang Kuliah Tunggal Mahasiswa Baru. *Lontar Komputer*. Vol 6 (3), 175-184.
- [26] Keputusan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 153 Tahun 2002 Tentang Baku Mutu Udara Ambien Daerah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.