

ANALISIS KLASTER KANDUNGAN KIMIA AIR HUJAN DI SEBAGIAN WILAYAH INDONESIA

CLUSTER ANALYSIS CHEMICAL CONTENT OF RAIN WATER IN SOME AREAS IN INDONESIA

Ai Citraningsih* dan Waluyo Eko Cahyono
Alumni Departemen Statistika FMIPA Universitas Padjadjaran*
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN),
Jl Djujungan No.133 Bandung 40173
Pos-el : aicitra41@gmail.com

ABSTRACT

One of the sources air pollutant are motor vehicles. Type of pollutant gases originating from motor vehicles which are sulphate (SO₄) and nitrate (NO₃). Both types of these gases can chemically react with air to produce acid rain. In this research, we grouping observation stations through k-means cluster analysis based on Euclidean distance. The grouping is expected to be an evaluation, a group which areas require special attention because it has the characteristics of a water content of rain mainly sulphate and nitrate are high. Based on the results of analysis, we can be concluded that 21 observation stations can be grouped into four clusters. The cluster which has an average of the most high chemical content is the second cluster whose members four stations, in which these areas can be categorized as area (province) that have a high number of vehicles.

Keywords: air pollution, motor vehicles, acid rain, sulphate, nitrate, k-means clustering.

ABSTRAK

Salah satu sumber pencemar udara adalah kendaraan bermotor. Jenis gas pencemar yang bersumber dari kendaraan bermotor diantaranya adalah sulfat (SO₄) dan nitrat (NO₃). Kedua jenis gas tersebut dapat bereaksi secara kimia dengan udara sehingga menghasilkan hujan asam. Pada penelitian ini dilakukan pengelompokan stasiun pengamatan melalui analisis klaster *k-means* berdasarkan jarak Euclidean. Pengelompokan tersebut diharapkan dapat menjadi evaluasi, kelompok daerah mana yang memerlukan perhatian khusus karena memiliki karakteristik kandungan air hujan terutama sulfat dan nitrat yang tinggi. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa 21 stasiun pengamatan dapat dikelompokkan menjadi empat klaster. Klaster yang memiliki rata-rata kandungan kimia yang paling tinggi adalah klaster 2 yang beranggotakan 4 stasiun, dimana wilayah-wilayah tersebut dapat dikategorikan sebagai daerah (provinsi) yang memiliki jumlah kendaraan bermotor yang tinggi.

Kata Kunci: pencemaran udara, kendaraan bermotor, hujan asam, sulfat, nitrat, klaster *k-means*.

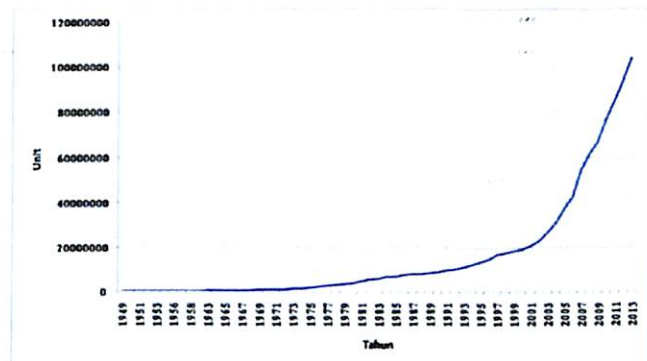
PENDAHULUAN

Udara merupakan sumber daya alam yang sangat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup di Bumi, sehingga udara perlu dipelihara, dijaga, dan dijamin mutunya melalui pengendalian pencemaran udara.¹ Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI Nomor 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain (emisi) ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yuridiksi

Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Salah satu sumber emisi adalah sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor.

Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, hal ini ditunjukkan pada Gambar 1 dimana terdapat peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang cukup signifikan terutama setelah tahun 2000. Gas buang kendaraan bermotor mengandung berbagai zat berbahaya, diantaranya karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_x), dan partikulat (PM₁₀).² Kandungan gas buang tersebut dapat merugikan kehidupan manusia,

diantaranya adalah gas sulfat (SO_4) dan nitrat (NO_3) di atmosfer jika bereaksi secara kimia dengan kelembaban udara akan menghasilkan hujan asam.³



Gambar 1. Perkembangan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia (Sumber: Badan Pusat Statistik, <http://bps.go.id/linkTabelStatistik/view/id/1413>)

Hujan asam merupakan satu dari masalah paling serius mengenai lingkungan di beberapa lokasi di dunia.⁴ Hujan asam pertama kali diperkenalkan oleh Angus Smith ketika ia menulis tentang polusi industri di Inggris.³ Batas normal pH air hujan dalam atmosfer bersih adalah antara 5,0 dan 5,6.⁵ Menurut Yatim,⁶ sekitar 50% SO_x terutama SO_2 yang ada dalam atmosfer adalah alamiah berasal dari letusan gunung dan kebakaran hutan, sedangkan sisanya antropogenik yaitu berasal dari kegiatan manusia terutama pembakaran bahan bakar fosil. NO_x juga berasal dari sumber alamiah dan antropogenik yang sebagian besar disumbang dari pembakaran bahan bakar fosil. Sumber alamiah NO_x yaitu aktivitas jasad renik tanah. Sehingga dapat dikatakan bahwa hujan asam sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri, pembangkit tenaga listrik, dan kendaraan bermotor yang akan menghasilkan gas SO_x dan NO_x .

Hujan asam dapat berdampak terhadap kesehatan, hutan, pertanian, ekosistem akuatik, dan material.⁶ Kerusakan hutan oleh hujan asam menyebabkan kematian hutan (*Forest Dieback* atau *Waldsterben*) sehingga terjadi peningkatan risiko terjadinya tanah longsor dan juga kelonggaran salju pada musim dingin. Hujan asam juga mengakibatkan keracunan kronik dan penurunan hasil pertanian. Oleh karena dampak hujan asam yang sangat merugikan, perlu adanya upaya identifikasi daerah mana saja yang memiliki potensi hujan asam. Hal tersebut dapat dilakukan salah satunya dengan melakukan pengelompokan daerah berdasarkan kandungan kimia air hujan, terutama sulfat (SO_4) dan nitrat (NO_3).

Berdasarkan dampak yang ditimbulkan dari hujan asam yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah membuat pengelompokan (*clustering*) stasiun pengamatan berdasarkan kandungan kimia air hujan yang berada di sebagian wilayah di Indonesia. Dari pengelompokan tersebut diharapkan dapat menjadi evaluasi kelompok daerah mana yang memerlukan perhatian khusus karena memiliki karakteristik kandungan air hujan terutama sulfat dan nitrat yang tinggi, dimana keduanya berpotensi menyebabkan hujan asam.

Analisis kluster merupakan salah satu metode statistika multivariat, dimana sejumlah objek pengamatan dikelompokkan menjadi beberapa kelompok (kemudian disebut kluster). Menurut Madhulatha,⁷ Singla,⁸ dan Kouser,⁹ suatu kluster merupakan kelompok objek yang memiliki kemiripan (*similar*) diantaranya dan memiliki ketidakmiripan (*dissimilar*) dengan objek pada kluster lainnya.

METODOLOGI

Lokasi dan Data

Penelitian ini menggunakan data kimia air hujan yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan data jumlah kendaraan bermotor yang bersumber dari BPS.¹⁰ Pada penelitian ini unsur kimia air hujan yang dilibatkan adalah sulfat (SO_4) dan nitrat (NO_3). Kedua unsur ini diukur dalam satuan yang sama yaitu mg/l. Data dari BMKG berupa data bulanan pada tahun 2010 yang selanjutnya dirata-ratakan, sehingga didapat data rata-rata bulanan selama tahun 2010. Data yang didapat direkap dan disusun berdasarkan bulan dan stasiun pengamatan. Data rekap tersebut kemudian dirata-ratakan pada masing-masing stasiun pengamatan, sehingga didapat 21 data pengamatan berpasangan unsur sulfat (SO_4) dan nitrat (NO_3). Stasiun pengamatan yang dilibatkan adalah Angkasa Pura, Banjar Baru, Beto Ambari, Branti, Citeko, Juanda, Kemayoran, Kenten, Kototabang, Ngurahrai, Panakukang, Patimura, Pulau Baai, Sampali, Samratulangi, Selaparang, Siantan, St Thaha, Supadio, Temindung, dan Winangun.

Pengolahan Data

Seluruh analisis dalam penelitian ini menggunakan bantuan *software* STATISTICA. Langkah pertama dalam analisis kluster adalah menghitung ukuran ketidakmiripan dengan menggunakan Jarak Euclidean (*Euclidean Distance*). Selanjutnya, mengidentifikasi jumlah

kluster dengan metode kluster hierarki (*hierarchical clustering*). Jumlah kluster tersebut kemudian digunakan dalam analisis kluster *k-means* (*k-means clustering*). Hasil pengelompokkan kemudian divalidasi untuk untuk melihat variabel mana yang merupakan variabel pembeda dalam pengklasteran melalui uji parsial F.¹¹

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data kimia air hujan yang telah direkap, berikut ini disajikan beberapa besaran statistik yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi data kimia air hujan

| Unsur | Rata-rata | Min | Maks | Varians |
|-----------------|-----------|--------|--------|---------|
| SO ₄ | 1,2458 | 0,5291 | 3,2000 | 0,4675 |
| NO ₃ | 0,5869 | 0,0493 | 1,5926 | 0,1743 |

Rentang nilai pengamatan relatif sama, hal ini dapat dilihat pada nilai minimum dan maksimum yang tercantum pada Tabel 1. Keragaman data pengamatan sulfat (SO₄) dan nitrat (NO₃) cukup kecil yaitu 0,4675 dan 0,1743. Unsur kimia air hujan nitrat (NO₃) dengan nilai rata-rata dan varians masing-masing sebesar 0,5869 mg/l dan 0,1743 lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata dan varians sulfat (SO₄) masing-masing sebesar 1,2459 mg/l dan 0,4675.

Kandungan sulfat (SO₄) terendah teramati di stasiun Kototabang (Sumatera Barat) yaitu sebesar 0,5291 mg/l. Kandungan nitrat (NO₃) terendah teramati di stasiun Samratulangi (Sulawesi Utara) yaitu sebesar 0,0493 mg/l. Sedangkan kandungan sulfat (SO₄) dan nitrat (NO₃) tertinggi teramati di stasiun Juanda (Jawa Timur) masing-masing sebesar 3,2000 mg/l dan 1,5926 mg/l.

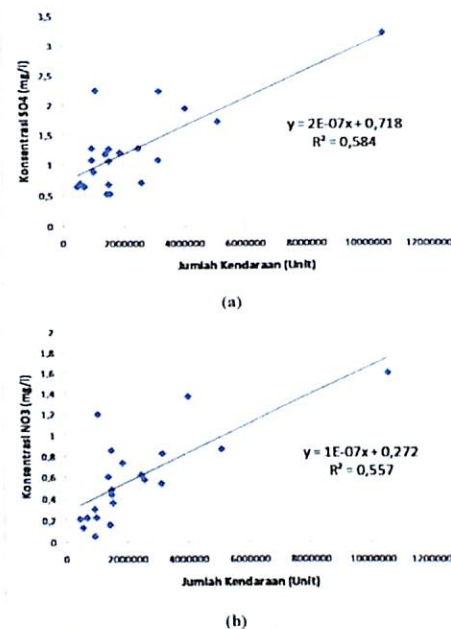
Tabel 2. Korelasi antara jumlah kendaraan bermotor dengan konsentrasi SO₄ dan NO₃

| Unsur | SO ₄ | NO ₃ |
|---------|-----------------|-----------------|
| r | 0,7650 | 0,7470 |
| p-value | 0,0000* | 0,0000* |

*signifikan pada taraf 5%

Berdasarkan Tabel 2, jumlah kendaraan bermotor memiliki hubungan yang erat dengan konsentrasi SO₄ dan NO₃ di udara dimana besar korelasi (r) mendekati nilai 1 dan nilai signifikansi 0,0000. Besar korelasi yang bernilai positif (korelasi positif) dapat diartikan bahwa jika terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor maka akan terjadi peningkatan konsentrasi SO₄ dan NO₃. Hal tersebut juga

dapat dibuktikan melalui Gambar 2 yang menunjukkan garis regresi positif.

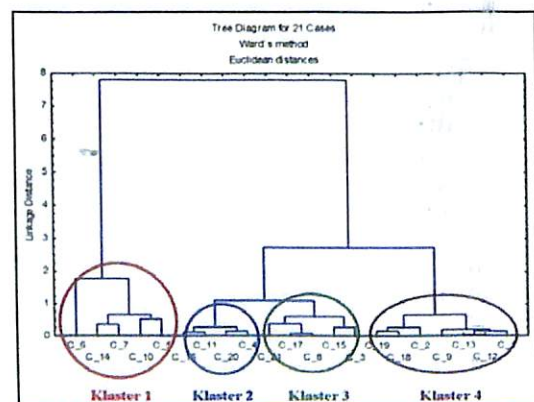


Gambar 2. Korelasi antara jumlah kendaraan dengan SO₄ (a) dan NO₃ (b)

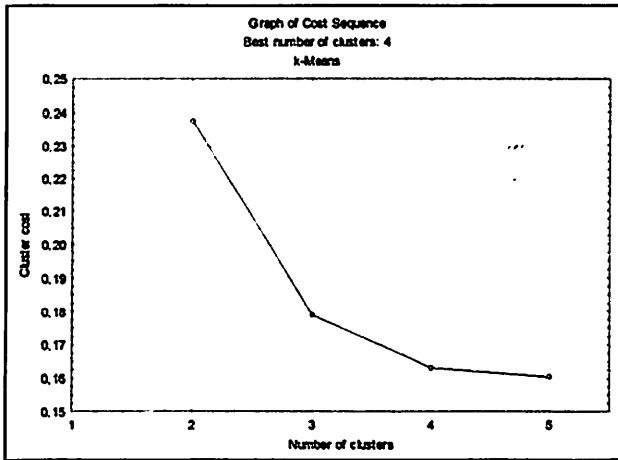
Identifikasi inisial jumlah kluster yang digunakan dalam kluster *k-means* menggunakan metode kluster hierarki dan metode penggabungan (*agglomerative method*) Ward's Method. Jarak Euclidean dari objek analisis ditunjukkan pada Tabel 3 dan hasil pengelompokkan ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 3. Jarak Euclidean

| SP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0,00 | 0,29 | 0,21 | 0,92 | 1,25 | 2,89 | 1,85 | 0,56 | 0,18 | 1,68 | 0,76 | 0,09 | 0,11 | 1,76 | 0,39 | 0,67 | 0,50 | 0,44 | 0,31 | 0,79 | 0,60 |
| 2 | 0,29 | 0,00 | 0,39 | 0,89 | 1,29 | 2,94 | 1,91 | 0,58 | 0,20 | 1,77 | 0,79 | 0,19 | 0,18 | 1,74 | 0,63 | 0,70 | 0,55 | 0,28 | 0,18 | 0,78 | 0,76 |
| 3 | 0,21 | 0,39 | 0,00 | 0,71 | 1,04 | 2,68 | 1,67 | 0,37 | 0,37 | 1,47 | 0,55 | 0,24 | 0,25 | 1,55 | 0,26 | 0,48 | 0,31 | 0,39 | 0,30 | 0,60 | 0,99 |
| 4 | 0,92 | 0,89 | 0,71 | 0,00 | 0,45 | 2,06 | 1,03 | 0,37 | 1,02 | 0,96 | 0,23 | 0,89 | 0,89 | 0,85 | 0,82 | 0,26 | 0,42 | 0,62 | 0,72 | 0,13 | 0,55 |
| 5 | 1,25 | 1,29 | 1,04 | 0,45 | 0,00 | 1,65 | 0,63 | 0,71 | 1,38 | 0,52 | 0,50 | 1,25 | 1,25 | 0,56 | 1,03 | 0,59 | 0,76 | 1,04 | 1,11 | 0,52 | 0,71 |
| 6 | 2,89 | 2,94 | 2,68 | 2,06 | 1,65 | 0,00 | 1,03 | 2,37 | 3,03 | 1,23 | 2,15 | 2,90 | 2,90 | 1,28 | 2,62 | 2,25 | 2,41 | 2,68 | 2,76 | 2,17 | 2,11 |
| 7 | 1,85 | 1,91 | 1,67 | 1,03 | 0,63 | 1,03 | 0,00 | 1,34 | 2,01 | 0,38 | 1,13 | 1,88 | 1,87 | 0,35 | 1,64 | 1,22 | 1,38 | 1,65 | 1,73 | 1,14 | 1,32 |
| 8 | 0,56 | 0,58 | 0,37 | 0,37 | 0,71 | 2,37 | 1,34 | 0,00 | 0,67 | 1,19 | 0,21 | 0,54 | 0,54 | 1,20 | 0,49 | 0,12 | 0,06 | 0,37 | 0,41 | 0,21 | 0,31 |
| 9 | 0,18 | 0,20 | 0,37 | 1,02 | 1,35 | 3,03 | 2,01 | 0,67 | 0,00 | 1,83 | 0,88 | 0,13 | 0,13 | 1,86 | 0,56 | 0,79 | 0,63 | 0,46 | 0,32 | 0,89 | 0,76 |
| 10 | 1,68 | 1,77 | 1,47 | 0,96 | 0,62 | 1,23 | 0,38 | 1,19 | 1,83 | 0,00 | 0,98 | 1,70 | 1,70 | 0,62 | 1,39 | 1,08 | 1,22 | 1,54 | 1,59 | 1,01 | 1,09 |
| 11 | 0,76 | 0,79 | 0,55 | 0,23 | 0,50 | 2,15 | 1,13 | 0,21 | 0,88 | 0,98 | 0,00 | 0,75 | 0,75 | 1,00 | 0,60 | 0,10 | 0,26 | 0,56 | 0,62 | 0,13 | 0,32 |
| 12 | 0,09 | 0,19 | 0,24 | 0,89 | 1,25 | 2,90 | 1,88 | 0,54 | 0,13 | 1,70 | 0,75 | 0,00 | 0,01 | 1,74 | 0,46 | 0,66 | 0,50 | 0,37 | 0,23 | 0,77 | 0,64 |
| 13 | 0,11 | 0,18 | 0,25 | 0,89 | 1,25 | 2,90 | 1,87 | 0,54 | 0,13 | 1,70 | 0,75 | 0,01 | 0,00 | 1,73 | 0,47 | 0,66 | 0,49 | 0,35 | 0,22 | 0,76 | 0,64 |
| 14 | 1,76 | 1,74 | 1,55 | 0,85 | 0,56 | 1,28 | 0,35 | 1,20 | 1,86 | 0,62 | 1,00 | 1,74 | 1,73 | 0,00 | 1,58 | 1,08 | 1,25 | 1,46 | 1,56 | 0,97 | 1,26 |
| 15 | 0,39 | 0,63 | 0,26 | 0,82 | 1,03 | 2,62 | 1,64 | 0,49 | 0,56 | 1,39 | 0,60 | 0,46 | 0,47 | 1,58 | 0,00 | 0,56 | 0,43 | 0,64 | 0,55 | 0,69 | 0,32 |
| 16 | 0,67 | 0,70 | 0,48 | 0,26 | 0,59 | 2,25 | 1,22 | 0,12 | 0,79 | 1,08 | 0,10 | 0,66 | 0,66 | 1,08 | 0,56 | 0,00 | 0,17 | 0,47 | 0,52 | 0,13 | 0,37 |
| 17 | 0,50 | 0,55 | 0,31 | 0,42 | 0,76 | 2,41 | 1,39 | 0,06 | 0,63 | 1,22 | 0,26 | 0,50 | 0,49 | 1,25 | 0,43 | 0,17 | 0,00 | 0,35 | 0,38 | 0,29 | 0,28 |
| 18 | 0,44 | 0,28 | 0,39 | 0,62 | 1,04 | 2,68 | 1,65 | 0,37 | 0,46 | 1,54 | 0,56 | 0,37 | 0,36 | 1,46 | 0,64 | 0,47 | 0,36 | 0,00 | 0,13 | 0,52 | 0,62 |
| 19 | 0,31 | 0,19 | 0,20 | 0,72 | 1,11 | 2,76 | 1,73 | 0,41 | 0,52 | 1,59 | 0,62 | 0,23 | 0,22 | 1,56 | 0,55 | 0,52 | 0,38 | 0,14 | 0,00 | 0,60 | 0,61 |
| 20 | 0,79 | 0,78 | 0,60 | 0,13 | 0,52 | 2,17 | 1,14 | 0,23 | 0,89 | 1,03 | 0,13 | 0,77 | 0,76 | 0,97 | 0,69 | 0,13 | 0,29 | 0,32 | 0,60 | 0,00 | 0,44 |
| 21 | 0,60 | 0,73 | 0,39 | 0,55 | 0,71 | 2,31 | 1,32 | 0,31 | 0,76 | 1,09 | 0,32 | 0,64 | 0,64 | 1,26 | 0,32 | 0,32 | 0,28 | 0,62 | 0,61 | 0,44 | 0,80 |



Gambar 3. Diagram pohon analisis kluster hierarki



Gambar 4. Cost sequence untuk jumlah kluster

Berdasarkan Gambar 3, data pengamatan cenderung berkelompok menjadi empat kluster. Hal tersebut juga didukung oleh hasil pada Gambar 4, dimana pada Gambar tersebut terlihat bahwa titik *cluster cost* menurun tajam sampai titik empat kluster dan melandai saat menuju lima kluster.

Setelah didapat bahwa jumlah kluster yang memungkinkan adalah empat kluster, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kluster *k-means*. Berdasarkan hasil analisis didapatkan hasil pengelompokan data sebanyak empat kluster dengan anggota pada masing-masing kluster adalah sebagai berikut:

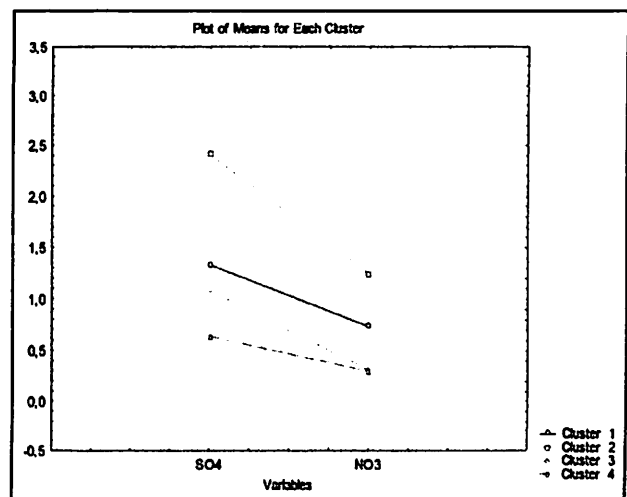
1. Anggota kluster 1 adalah stasiun Branti (Lampung), Citeko (Jawa Barat), Panakukang (Sulawesi Selatan), Selaparang (Nusa Tenggara Barat), dan Temindung (Kalimantan Timur).
2. Anggota kluster 2 adalah stasiun Juanda (Jawa Timur), Kemayoran (DKI Jakarta), Ngurahrai (Bali), dan Sampali (Sumatera Utara).
3. Anggota kluster 3 adalah stasiun Beto Ambari (Sulawesi Tenggara), Kenten (Sumatera Selatan), Samratulangi (Sulawesi Utara), Siantan (Kalimantan Barat), dan Winangun (Sulawesi Utara).
4. Anggota kluster 4 adalah stasiun Angkasa Pura (Papua), Banjar Baru (Kalimantan Selatan), Kototabang (Sumatera Barat), Patimura (Maluku), Pulau Baai (Bengkulu), St Thaha (Jambi), dan Supadio (Kalimantan Barat).

Besaran statistik dari masing-masing kluster disajikan pada Tabel 4.

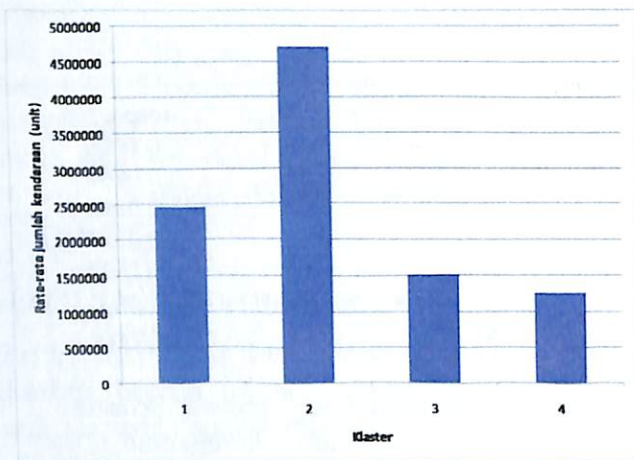
Tabel 4. Besaran statistik setiap kluster (dalam satuan mg/l)

| Unsur | Kluster | Rata-rata | Varians |
|-----------------|---------|-----------|---------|
| SO ₄ | 1 | 1,3327 | 0,0481 |
| | 2 | 2,4065 | 0,2998 |
| | 3 | 1,0810 | 0,0187 |
| | 4 | 0,6382 | 0,0061 |
| NO ₃ | 1 | 0,7336 | 0,0150 |
| | 2 | 1,2459 | 0,1060 |
| | 3 | 0,3184 | 0,0390 |
| | 4 | 0,2974 | 0,0269 |

Tabel 4 menunjukkan bahwa kluster 2 memiliki rata-rata dan keragaman data pengamatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tiga kluster lainnya. Hal ini juga dapat dilihat dari Gambar 5 dimana garis rata-rata kluster 2 (warna merah) berada jauh di atas garis rata-rata kluster lainnya, dimana rata-rata sulfat (SO₄) dan nitrat (NO₃) adalah sebesar 2,4065 mg/l dan 1,2459 mg/l. Kluster 1 (warna biru) cenderung dalam rentang sedang diantara kluster lainnya. Kluster 3 (warna hijau) dan kluster 4 (warna merah muda) memiliki data pengamatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kluster lainnya. Kedua kluster ini memiliki nilai rata-rata nitrat (NO₃) yang hampir sama yaitu 0,3184 mg/l untuk kluster 3 dan 0,2974 mg/l untuk kluster 4, namun jika dilihat dari rata-rata sulfat (SO₄) kluster 3 memiliki rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan kluster 4. Berdasarkan hal tersebut, kluster 2 dapat dikatakan merupakan stasiun-stasiun pengamatan di wilayah dengan jumlah kendaraan bermotor yang relatif tinggi sebagai penyumbang polusi udara sebagai kontribusi terhadap hujan asam, sedangkan kluster 4 merupakan stasiun-stasiun pengamatan di wilayah yang tingkat kimia air hujan yang paling rendah.



Gambar 5. Rata-rata kimia air hujan tiap kluster



Gambar 6. Rata-rata jumlah kendaraan bermotor setiap klaster

Berdasarkan data BPS,¹⁰ jumlah kendaraan bermotor di Jawa Timur, DKI Jakarta, Bali, dan Sumatera Utara cukup tinggi yaitu masing-masing sebesar 10.568.384 unit, 1.077.473 unit, 3.171.824 unit, dan 4.036.502 unit, sehingga stasiun-stasiun pengamatan tersebut dapat dikatakan berada di wilayah padat kendaraan bermotor. Berdasarkan Gambar 6, rata-rata jumlah kendaraan bermotor paling tinggi adalah klaster 2, sedangkan yang terendah adalah klaster 4.

Jika dikaitkan dengan korelasi positif antara jumlah kendaraan dengan SO₄ dan NO₃, hasil dari pengelompokan mendukung hal tersebut. Urutan nilai statistik dan rata-rata jumlah kendaraan bermotor pada setiap klaster memberikan hasil yang sama, yaitu klaster dengan potensi tertinggi yaitu klaster 2 dan yang terendah adalah klaster 4.

Tabel 5. Hasil analisis of varians (ANOVA) klaster k-means

| Sumber Variasi | df | SS | F | p-value |
|-----------------|----|--------|---------|---------|
| SO ₄ | | | | |
| Between | 3 | 8,1468 | 38,3740 | 0,0000* |
| Within | 17 | 1,2030 | - | - |
| NO ₃ | | | | |
| Between | 3 | 2,7916 | 22,7526 | 0,0000* |
| Within | 17 | 0,6953 | - | - |

* signifikan pada taraf 5%

Tabel 5 menunjukkan apakah SO₄ dan NO₃ merupakan variabel pembeda dalam pengelompokan atau bukan. Kedua nilai p-value pada Tabel 5 mendekati nol, hal ini dapat diartikan bahwa SO₄ dan NO₃ merupakan variabel pembeda atau berkontribusi dalam pengelompokan data ke dalam empat klaster.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa dari 21 stasiun pengamatan, kandungan sulfat (SO₄) terendah teramati di stasiun Kototabang (Sumatera Barat) yaitu sebesar 0,5291 mg/l sedangkan kandungan nitrat (NO₃) terendah teramati di stasiun Samratulangi (Sulawesi Utara) yaitu sebesar 0,0493 mg/l. Kandungan sulfat (SO₄) dan nitrat (NO₃) tertinggi di stasiun Juanda (Jawa Timur) masing-masing sebesar 3,2000 mg/l dan 1,5926 mg/l. 21 stasiun pengamatan dapat dikelompokkan menjadi empat klaster dengan distribusi anggota sebanyak 5 stasiun, 4 stasiun, 5 stasiun, dan 7 stasiun. Klaster 2 yang beranggotakan 4 stasiun merupakan stasiun pengamatan di wilayah yang memiliki tingkat kimia air hujan yang paling tinggi yaitu stasiun Juanda (Jawa Timur), Kemayoran (DKI Jakarta), Ngurahrai (Bali), dan Sampali (Sumatera Utara), hal ini dapat dikaitkan dengan wilayah-wilayah tersebut dapat dikategorikan sebagai daerah (provinsi) yang memiliki jumlah kendaraan bermotor yang tinggi. Sedangkan klaster 4 yang beranggotakan 7 stasiun yaitu stasiun Angkasa Pura (Papua), Banjar Baru (Kalimantan Selatan), Kototabang (Sumatera Barat), Patimura (Maluku), Pulau Baai (Bengkulu), St Thaha (Jambi), dan Supadio (Kalimantan Barat) merupakan stasiun pengamatan di wilayah yang memiliki tingkat kimia air hujan yang paling rendah dibandingkan dengan stasiun pengamatan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer yang telah memberikan dukungan dan memfasilitasi data sekunder dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), sehingga terlaksananya penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Republik Indonesia, 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Lembaran Negara RI No 41, Jakarta : Sekretariat Negara.
- Siswantoro, dkk, 2012. Analisa Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor 4 Tak Berbahan Bakar Campuran Premium dengan Variasi Penambahan Zat Aditif. Jurnal Bidang Teknik 4 (1) : 75-84.

- ³Cahyono, W. E., 2007. Pengaruh Hujan Asam pada Biotik dan Abiotik. *Jurnal Berita Dirgantara* 8 (3): 48-51.
- ⁴Cherón, R.M., 2013. Chemical Composition, Fluxes and Seasonal Variation of Acid Deposition in Carmen Island, Campeche, Mexico. *Journal of Environmental Protection* 4: 50-56.
- ⁵Budiawati, T., 2009. Analisis Hujan Asam dan CO₂ Atmosfer . Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan Mipa. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- ⁶Yatim, E.M., 2007. Dampak dan Pengendalian Hujan Asam di Indonesia. *Jurnal kesehatan Masyarakat* 2 (1) .
- ⁷Madhulatha, T.S., 2012. An Overview on Clustering Methods. *IOSR Journal of Engineering* 2 (4): 719-725.
- ⁸Singla, A. dan Karambir, 2012. Comparative Analysis and Evaluation of Euclidean Distance Function and Manhattan Distance Function Using K-Means Algorithm. *International Journal of Advanced research in Computer Science and Software Engineering* 2 (7).
- ⁹Kouser, K. dan Sunita, 2013. A Comparative Study of K Means Algorithm by Different Distance Measures. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* 1.
- ¹⁰BPS, 2012. Statistik Indonesia 2012. Jakarta: Badan Pusat Statistik. 664 hlm.
- ¹¹Sitepu, R., Irmeilyana dan Berry Gultom, 2011. Analisis Klaster terhadap Tingkat Pencemaran Udara pada Sektor Industri di Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains* 14 (3A).