TESIS – RE 185401

IDENTIFIKASI SUMBER PENCEMAR LOGAM PADA *PARTICULATE MATTER* (PM) (STUDI KASUS: SURABAYA BARAT)

TRESTA NURINA CIPTANINGAYU
03211850012003

DOSEN PEMBIMBING
Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM.

DOSEN CO-PEMBIMBING
Prof. Dr. Muhayatun Santoso, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2020

TESIS – RE 185401

IDENTIFIKASI SUMBER PENCEMAR LOGAM PADA *PARTICULATE MATTER* (PM) (STUDI KASUS: SURABAYA BARAT)

TRESTA NURINA CIPTANINGAYU
03211850012003

DOSEN PEMBIMBING
Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM.

DOSEN CO-PEMBIMBING
Prof. Dr. Muhayatun Santoso, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL,PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

THESIS – RE 185401

IDENTIFICATION OF METAL POLLUTANT SOURCES ON PARTICULATE MATTER (PM) (CASE STUDY: WEST SURABAYA)

TRESTA NURINA CIPTANINGAYU
03211850012003

SUPERVISOR
Dr.Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM.

CO-SUPERVISOR
Prof. Dr. Muhayatun Santoso, M.T.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, PLANNING AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :
TRESTA NURINA CIPTANINGAYU
NRP : 03211850012003

Tanggal Ujian : 27 Juli 2020
Periode Wisuda : September 2020

Disetujui Oleh :

Pembimbing:

1. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM
   NIP :19820119 200501 1 001

Co-Pembimbing:

1. Prof. Dr. Muhayatun Santoso, MT.
   NIP : 19640718 198803 2 001

Penguji :

1. Prof. Ir. Joni Hermana, MScES., PhD
   NIP : 19600618 198803 1 002

2. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT
   NIP : 19660116 199703 1 001

3. Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., PhD
   NIP : 19620816 199003 1 004

Kepala Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM
NIP : 19820119 200501 1 001

ABSTRAK

IDENTIFIKASISUMBER PENCEMAR LOGAM PADA *PARTICULATE MATTER* (PM) (STUDI KASUS: SURABAYA BARAT)

Nama Mahasiswa : Tresta Nurina Ciptaningayu
NRP : 03211850012003
Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

ABSTRAK

Kota Surabaya khususnya di wilayah Surabaya bagian barat digunakan sebagai daerah industri, pergudangan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir),dan pelabuhan. Aktivitas pada semua lokasi tersebut berpotensi menghasilkan emisi $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ mengandung logam. Partikulat ini dapat menyebabkan gangguan pernafasan serta kematian. Oleh sebab itu diperlukan penelitian mengenai konsentrasi $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ serta logam berat yang terkandung di dalam PM.

Pengambilan sampel $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ menggunakan Gent Stacked Filter Unit (Gent SFU) setiap enam (6) hari sekali pada bulan Oktober 2019-April 2020. Sampel tersebut kemudian dianalisis secara gravimetri untuk mendapatkan konsentrasi massa dari$PM_{2,5}$ dan PM_{10} serta dilakukan analisis menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescene*) untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ serta konsentrasinya. Konsentrasi unsur tersebut selanjutnya digunakan sebagai input PMF (*Positive Matrix Factorization*) untuk mengidentifikasi potensi sumber pencemar. Hasil analisis PMF digunakan untuk menentukan lokasi sumber pencemar dengan menggunakan CPF (*Conditional Probability Function*).

Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} diketahui sebesar 11,47 µg/m^3 dan 27,49 µg/m^3atau sebesar 11,45 µg/Nm^3 dan 26,98 µg/Nm^3 dengan unsur yang teridentifikasi sebanyak 18 unsur, yaitu Na, Mg, Al, Si, S, K, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br dan Pb. Potensi sumber pencemar $PM_{2,5}$ adalah gabungan industri Cu dan pembakaran biomassa, aktivitas industri Ni, aktivitas industri logam non ferrous, aktivitas transportasi, aktivitas industri besi dan baja, aktivitas konstruksi, debu tanah dan aktivitas pelabuhan serta aktivitas industri Pb. Potensi sumber pencemar $PM_{2,5-10}$ adalah aktivitas konstruksi, debu tanah, aktivitas transportasi, aktivitas industri logam non ferrous, aktivitas industri Ni, aktivitas pelabuhan, dan garam laut. Estimasi lokasi sumber pencemar $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ adalah daerah yang membentang dari utara hingga barat daya. Berdasarkan hasil penelitian ini, konsentrasi $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ serta konsentrasi unsur logamnya masih memenuhi baku mutu. Kebijakan yang disarankan adalah upaya mitigasi agar konsentrasi tersebut tetap memenuhi kualitas baku mutu dengan melakukan pemasangan barrier dengan *green vegetation* serta menetapkan ambang batas yang diijinkan untuk konsentrasi logamberat. Namun kedua saran tersebut tidak dalam lingkup penelitian ini, sehingga diperlukan penelitian lanjutan terkait dengan hal tersebut.

Kata kunci: *particulate matter*, logam, industri, *green vegetation*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF METAL POLLUTANT SOURCES ON PARTICULATE MATTER (PM) (CASE STUDY: WEST SURABAYA)

Name	: Tresta Nurina Ciptaningayu
Student Identity Number	: 03211850012003
Supervisor	: Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

ABSTRACT

Surabaya city, especially western area of Surabaya is utilized as industrial,warehousing, final disposal site (FDS),and port areas. Activities at those areas produce emissions particularly $PM_{2,5}$ (particulate matter less than 2,5 μm) and PM_{10}(particulate matter less than 10 μm). $PM_{2,5}$ and $PM_{2,5\text{-}10}$contain metals.These particulates cause respiratory disorders and death. Therefore, it is necessary to research the concentration of $PM_{2,5}$ and $PM_{2,5\text{-}10}$ and the heavy metals contained in the PMs.

Sampling for $PM_{2,5}$ and $PM_{2,5\text{-}10}$were conducted using Gent Stacked Filter Unit (Gent SFU) every six (6) days between October 2019-April 2020. The samples then were analyzed using gravimetry to gain a mass concentration of $PM_{2,5}$ and PM_{10} and analyzed using XRF (X-Ray Fluorescene) to determine the elements contained within $PM_{2,5}$ and $PM_{2,5\text{-}10}$ and their concentration. The concentration of elements is then used as PMF (Positive Matrix Factorization) inputs to identify potential pollutant sources. The results of the PMF analysis are then used to determine the source of location of pollutants by using CPF (Conditional Probability Function).

The observed concentrations of $PM_{2,5}$ and PM10are 11.47 $\mu g/m^3$ and 27.49 $\mu g/m^3$ or 11.45 $\mu g/Nm^3$ and 26.98 $\mu g/Nm^3$. 18 elements areidentified in the PMs, namely Na, Mg, Al, Si, S, K, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, and Pb. Potential sources of pollutants $PM_{2,5}$ are a combination of Cu industries and biomass burning, Ni industries, non-ferrous metal industries, transportation activities, iron and steel industries, construction activities, dust, port activities, and Pb industries. Potential sources of pollutants for $PM_{2,5\text{-}10}$ are construction activities, dust, transportation activities, non-ferrous metals industries, Ni industries. The estimated location of the pollutantsof $PM_{2,5}$ and $PM_{2,5\text{-}10}$ are spread out from north to southwest. Based on the analysis, the concentrations of $PM_{2,5}$, $PM_{2,5\text{-}10}$, and metal elements are still met the standard quality. The policies for mitigating the pollution are by applying green vegetation barriers and applying the allowable threshold of heavy metals concentration in the city. The policies suggested in this research are beyond the scope of this research and needed to be determined through another research.

Keywords : particulate matter, heavy metal, industry, green vegetation

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis dengan judul "Identifikasi Sumber Pencemar Logam Pada *Particulate Matter* (PM) (Studi Kasus: Surabaya Barat)". Atas terselesaikannya Laporan Tesis ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM. selaku dosen pembimbing dan Ibu Prof. Dr. Muhayatun Santoso, MT. selaku dosen co-pembimbing tesis, terimakasih atas arahan, bimbingan, ilmu, kesabaran dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, MScES., PhD., Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT. dan Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., PhD. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan dan bimbingan demi kebaikan penulis.
3. Keluarga dan teman-teman terdekat yang telah banyak mendoakan dan membantu penulis baik materi maupun mental.
4. Teman-teman mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Lingkungan ITS khususnya angkatan 2018 yang telah bersama-sama berjuang dalam menyelesaikan tesis serta dukungan dan semangat yang diberikan.
5. Pihak lain yang terkait yaitu Pusat Teknologi Sains dan Teknologi Nuklir Terapan-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTNT-BATAN)terima kasih atas kerja samanya selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tesis ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik,dan saran dari berbagai pihak agar Tesis ini menjadi lebih baik.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Ruang Lingkup 4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Pencemaran Udara 5
2.2. *Particulate Matter* (PM) 6
2.2.1 Sumber Pencemar PM 8
2.2.2 Unsur Penyusun PM 9
2.2.3 Dampak PM terhadap Kesehatan 13
2.3 Spektroskopi *X-ray Fluorescene* (XRF) 15
2.4 Reseptor Model *Positive Matrix Factorization (PMF)* 16
2.5 *Conditional Probability Function* (CPF) 20
2.6Reduksi Polutan oleh Tumbuhan 20
2.7 Hasil Penelitian Sebelumnya 23
BAB 3 METODE PENELITIAN 25
3.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian 25
3.2 Kerangka Penelitian 26
3.3 Pelaksanaan Penelitian 28
3.4 Analisis Data 32
3.4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} 33
3.4.2 Identifikasi Unsur pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ 34

3.4.3 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ 34
3.4.4.Estimasi Lokasi Sumber Pencemar 37
3.5 Kesimpulan dan Saran 38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} 39
4.2 Identifikasi Unsur Pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ 47
4.3 Identifikasi Sumber Pencemar Pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ 52
4.3.1 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5}$ 55
4.3.2 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5-10}$ 60
4.4 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar 62
4.4.1 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar $PM_{2,5}$ 63
4.4.2 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar $PM_{2,5-10}$ 68
4.5Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara 74
4.5.1 Green Vegetation 75
4.5.2 Pembuatan Ambang Batas 80
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 84
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 86
LAMPIRAN 1 DATA PENGAMATAN KONSENTRASI $PM_{2,5}$ DAN PM_{10} 87
LAMPIRAN2 ARAH ANGIN DOMINAN PER HARI 89
LAMPIRAN 3 KONSENTRASI UNSUR PADA $PM_{2,5}$ 97
LAMPIRAN 4 KONSENTRASI UNSUR PADA $PM_{2,5-10}$ 99
LAMPIRAN 5 MATRIKS KORELASI TIAP UNSUR PADA $PM_{2,5}$ 101
LAMPIRAN 6 MATRIKS KORELASI TIAP UNSUR PADA $PM_{2,5-10}$ 102
DAFTAR PUSTAKA 103

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional 5
Tabel 2.2 Baku Mutu PM_{10} dan $PM_{2.5}$ di Indonesia, USA dan WHO 8
Tabel 2.3 Baku Mutu Logam Berat Pb di Udara Ambien 11
Tabel 2.4 Baku Mutu Logam Berat As (Arsen) di Udara Ambien 12
Tabel 2.5 Baku Mutu Logam Berat Cd (Kadmium) di Udara Ambien 12
Tabel 2.6 Baku Mutu Logam Berat Hg (Merkuri) di Udara Ambien 12
Tabel 2.7 Baku Mutu Logam Berat Mn (Mangan) di Udara Ambien 13
Tabel 2.8 Baku Mutu Logam Berat Ni (Nikel) di Udara Ambien 13
Tabel 2.9 Unsur Penanda dalam PM 19
Tabel 3.2 Pengambilan Sampel di Terminal Osowilangun 29
Tabel 3.3 Daftar Aktivitas Potensi Sumber Pencemar di Surabaya Barat 37
Tabel 4.1 Konsentrasi Unsur yang Teridentifikasi pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5\text{-}10}$ 47
Tabel 4.2Industri dan Aktifitas Potensi Sumber Pencemar Hasil Analisis CPF ... 73
Tabel 4.3 Konsentrasi yang Diserap Tumbuhan 79
Tabel 4.4 Nilai Maksimum dari European Community 81
Tabel 4.5 Usulan Baku Mutu Logam Berat di Udara Ambien 83

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran $PM_{2.5}$ (EPA, 2019)..... 7
Gambar 3.1 (a) Lokasi Penelitian (b) Arah Angin Dominan..... 30
Gambar 3.2 Gen Stacked Filter Unit dan Kestrel 5500 32
Gambar 3.3 (a) Kontainer Filter (b) Pompa Vakum dengan Flow Meter dan Pengatur Waktu (c) Kestrel 5500 (d) Filter sebelum digunakan dan setelah digunakan (e) Kaset Filter..... 32
Gambar 3.4 Gambar XRF 34
Gambar 3.5 Hasil Metode CPF 38
Gambar 4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$ 39
Gambar 4.2 Konsentrasi PM_{10} 40
Gambar 4.3 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat..... 40
Gambar 4.4 Konsentrasi $PM_{2,5}$Tiap Bulan..... 42
Gambar 4.5 Konsentrasi PM_{10} Tiap Bulan 42
Gambar 4.6 Arah Angin Bulan Oktober 2019 45
Gambar 4.7 Arah Angin Bulan November 2019 45
Gambar 4.8 Arah Angin Bulan Desember 2019..... 45
Gambar 4.9 Arah Angin Bulan Januari 2020..... 45
Gambar 4.10 Arah Angin Bulan Februari 2020..... 46
Gambar 4.11 Arah Angin Bulan Maret 2020..... 46
Gambar 4.12 Arah Angin Bulan April 2020..... 46
Gambar 4.13 Rata-Rata Konsentrasi Tiap Unsur pada $PM_{2,5}$..... 50
Gambar 4.14 Rata-Rata Konsentrasi Tiap Unsur pada $PM_{2,5-10}$ 50
Gambar 4.15 Matriks Konsentrasi Tiap Unsur 54
Gambar 4.16 Matriks Uncertainty Tiap Unsur 54
Gambar 4.17 Regresi Antara Konsentrasi $PM_{2,5}$ yang Diamati dengan Konsentrasi Prediksi 55
Gambar 4.18 Regresi Antara Konsentrasi $PM_{2,5-10}$ yang Diamati dengan Konsentrasi Prediksi 55
Gambar 4.19 Profil Faktor Industi Peleburan dan Pembakaran Biomassa 57
Gambar 4.20 Profil Faktor Industri Logam 57

Gambar 4.21 Profil Faktor Industi Logam Non-Ferrous 58
Gambar 4.22 Profil Faktor Transportasi 58
Gambar 4.23 Profil Faktor Industri Besi dan Baja 58
Gambar 4.24 Profil Faktor Konstruksi 58
Gambar 4.25 Profil Faktor Debu tanah dan Aktifitas Pelabuhan 58
Gambar 4.26 Profil Faktor Peleburan Timbal 59
Gambar 4.27 Fingerprint Tiap Faktor dari $PM_{2,5}$ 59
Gambar 4.28 Kontribusi Tiap Faktor Pada $PM_{2,5}$ 59
Gambar 4.29 Fingerprint Tiap Faktor pada $PM_{2,5-10}$ 61
Gambar 4.30 Profil Faktor Pada $PM_{2,5-10}$ 62
Gambar 4.31 Kontribusi Tiap Faktor Pada $PM_{2,5-10}$ 62
Gambar 4.32 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Faktor 1 (Campuran Industri Peleburan dan Pembakaran Biomassa) 63
Gambar 4.33 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Ni 64
Gambar 4.34 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Zn 65
Gambar 4.35 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur S 65
Gambar 4.36 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Mn, Fe 67
Gambar 4.37 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Ca 67
Gambar 4.38 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Al, Si, Ti 67
Gambar 4.39 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Pb 68
Gambar 4.40 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Ca 70
Gambar 4.41 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Al, Si, Ti 70
Gambar 4.42 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur S 70
Gambar 4.43 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Zn, Pb 71
Gambar 4.44 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Ni, Cu 71
Gambar 4.45 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Br 71
Gambar 4.46 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Na dan Cl 72
Gambar 4.47 Potensi Sumber Pencemar Hasil Analisis CPF 73
Gambar 4.48Kondisi Lalu Lintas di Sekitar Lokasi Sampling 73
Gambar 4.49Kawasan Pergudangan 74
Gambar 4.50Konstruksi Jalan dan Depo 74

BAB 1
PENDAHULUAN

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah populasi penduduk yang terus meningkat menyebabkan tingginya aktivitas yang dilakukan pada berbagai sektor seperti pertanian, perdagangan, industri maupun transportasi. Aktivitas yang terus meningkat ini berdampak pada kondisi lingkungan yang terus menurun. Pencemaran udara menjadi salah satu akibat dari tingginya aktivitas penduduk. Pencemaran udara menjadi perhatian yang serius karena selain dapat menurunkan kualitas lingkungan juga berdampak pada kesehatan manusia. Pencemaran udara dapat menyebabkan penyakit pernafasan dan gangguan sistem kardiovaskular.

Pencemaran udara adalah masuknya zat atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999). Dalam pencemaran udara, *Particulate Matter* (PM) merupakan salah satu indikator dari adanya pencemaran udara. PM terbentuk dari campuran partikel padat dan cairan yang ada di udara termasuk debu, asap dan abu. Sumber dari PM dapat berasal dari sumber antropogenik dan sumber alami. Sumber antropogenik berasal dari proses pembakaran seperti industri maupun kendaraan bermotor. Sumber alami dapat berasal dari debu dan air laut yang terkondensasi (Robinson *et al*., 2011). PM terdapat dalam atmosfer dalam jangka waktu yang lama. PM dapat dibedakan menjadi *coarse particle* dengan diameter antara 2,5-10 µm dan *fine particle* dengan diameter kurang dari 2,5 µm (Kim *et al*., 2015).

Penelitian Santoso *et al* (2011) menyebutkan di dalam PM ditemukan logam-logam seperti Al, As, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Mg, Na, Ni, P, Pb, S, Sc, Si, Se, Sr, Ti, V, dan Zn. Logam-logam tersebut terkandung dalam PM_{10} maupun dalam $PM_{2.5}$. Logam berat dalam bentuk partikel tersebut dapat memberikan efek kesehatan terhadap manusia jika terhirup

hingga paru-paru. Efek kesehatan yang ditimbulkan adalah berbagai macam penyakit saluran pernafasan (ISPA), gejala anemia, sistem kekebalan tubuh menurun, gejala autis, kanker paru-paru hingga kematian (Mukhtar *et al*., 2013). Dalam penelitian pada 20 dan 90 kota besar, peningkatan 10 µg/m^3 PM_{10} dapat meningkatkan kematian sebanyak 0,5%. Penyebab kematian mayoritas disebabkan karena penyakit jantung dan paru-paru (Samet *et al*., 2000).

Penelitian Ahmad dan Santoso (2016) menyebutkan bahwa konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kota Surabaya tidak memenuhi kualitas baku mutu tahunan yang ditetapkan oleh PP Nomor 41 Tahun 1999, USEPA dan WHO. Konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kota Surabaya adalah sebesar 15,05 µg/m^3. Selain $PM_{2,5}$, konsentrasi Pb diketahui sebesar 0,28 µg/m^3. Konsentrasi tersebut tidak memenuhi kualitas baku mutu yang ditetapkan oleh USEPA. Penelitian yang dilakukan di Serpong menyatakan sumber polusi berasal dari diesel kendaraan bermotor (30%), industri timbal (12%), pembangkit tenaga listrik (26%), dan debu jalan (17%). Penelitian oleh Mukhtar *et al*. (2013) menyatakan bahwa udara Kota Surabaya mengandung Zn dan Pb dengan konsentrasi tertinggi dibandingkan dengan kota-kota lainnya. Konsentrasi rata-rata Zn sebesar 344,78 µg/m^3 sedangkan di kota lainnya masih di bawah 150 µg/m^3. Konsentrasi Pb di Kota Surabaya mencapai 2664 µg/m^3. Logam Pb dan Zn utamanya berasal dari industri dan lalu lintas (Yongming *et al*., 2006).

Pencemaran udara di ibukota provinsi menjadi masalah yang serius. Pencemaran tersebut berasal dari emisi kendaraan bermotor, pembangkit listrik, industri dan kegiatan rumah tangga. Bahan pencemarnya dapat berupa gas maupun debu (Mukhtar *et al*., 2013). Surabaya merupakan ibukota provinsi Jawa Timur dan menjadi kota terpadat kedua setelah Jakarta. Kota Surabaya khususnya di wilayah Surabaya bagian barat merupakan daerah pergudangan yang banyak dilalui oleh kendaraan pengangkut barang. Di wilayah tersebut terdapat Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Kota Surabaya dan Terminal Teluk Lamong. Selain itu, wilayah Surabaya Barat juga merupakan perbatasan dengan Kabupaten Gresik yang merupakan daerah industri. Adanya aktivitas di pergudangan seperti lalu lintas, emisi dari

TPA, Terminal Teluk Lamong dan wilayah industri di Surabaya bagian barat dan Kabupaten Gresik dikhawatirkan berdampak terhadap kesehatan masyarakat di daerah tersebut.

Berdasarkan penjelasan tersebut maka diperlukan kajian untuk memantau kualitas pencemar PM yang ada di Surabaya Barat. Dalam penelitian Ahmad dan Santoso(2016) belum diketahui estimasi lokasi dari sumber pencemar. Oleh karena itu,penelitian ini meliputi pengukuran konsentrasi harian $PM_{2,5}$ dan PM_{10} kemudian dilanjutkan dengan identifikasi unsur logam yang terdapat pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ menggunakan *X-ray Fluorescen*e (XRF). Hasil dari XRF selanjutnya diolah menggunakan software reseptor model *Positive Matrix Factorization* (PMF) 5.0 untuk mengidentifikasi sumber pencemar. Selanjutnya dilakukan estimasi lokasi sumber pencemar dengan menggunakan*Conditional Probability Function*(CPF). Hasil dari penelitian ini dapat melengkapi penelitian sebelumnya dan dapat digunakan untuk membuat kebijakan dalam pengendalian pencemaran udara di Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa level konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat?
2. Berapa levelkonsentrasi unsur logam di Surabaya Barat?
3. Apa saja yang berpotensimenjadi sumber pencemarpada$PM_{2,5}$dan $PM_{2,5-10}$?
4. Darimana arah sumber pencemar $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ di Surabaya Barat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan konsentrasi harian $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat
2. Menentukan kadar unsur logam pada sampel $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ di Surabaya Barat
3. Mengidentifikasi sumber pencemar dengan menggunakan *software Positive Matrix Factorization* (PMF) 5.0

4. Mengestimasi lokasi sumber pencemar $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ berdasarkan hasil dari PMF 5.0, arah angin serta kecepatan angin yang dapat digunakan untuk membuat kebijakan pengendalian pencemaran udara

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai kualitas udara di Surabaya Barat yang meliputi konsentrasi harian $PM_{2,5}$ dan PM_{10} serta kandungan logam dalam $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. Selain itu juga memberikan informasi mengenai potensi sumber pencemar di Surabaya Barat yang dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat kebijakan pengendalian pencemaran udara di Surabaya Barat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Lokasi sampling berada di Terminal Osowilangun, Kota Surabaya
2. Waktu penelitian adalah 15 Oktober 2019 hingga 6 April 2020
3. Pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}menggunakan metode gravimetri
4. Identifikasi unsur dilakukan menggunakan Spektroskopi *X-Ray Fluorescene* (XRF)
5. Identifikasi sumber pencemar partikulat menggunakan matrik input reseptor model dengan *software Positive Matrix Factorization*(PMF) 5.0
6. Estimasi lokasi sumber pencemar menggunakan metode *Conditional Probability Function* (CPF) dengan dukungan data dari PMF 5.0, arah angin dan kecepatan angin

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah penurunan kualitas udara sehingga tidak dapat digunakan lagi sesuai dengan fungsinya. Sumber dari pencemaran udara dibedakan menjadi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Pencemaran udara dari sumber bergerak dapat berasal dari kendaraan bermotor sedangkan pencemaran udara dari sumber tidak bergerak dapat berasal dari industri (PP Nomor 41 Tahun 1999). Menurut WHO (2018) pencemaran udara adalah adanya kontaminasi dari gas maupun padatan sehingga mengubah karakteristik dari udara. Polutan-polutan yang berbahaya bagi kesehatan meliputi PM_{10} dan $PM_{2.5}$, karbon monoksida, ozon, *black carbon* (BC), sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NOx). Pengendalian pencemaran udara dibutuhkan untuk menjaga kualitas udara tetap memenuhi baku mutu. Di Indonesia baku mutu udara ambien terdapat pada lampiran PP Nomor 41 Tahun 1999. Baku mutu tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	SO_2 (Sulfur Dioksida)	1 Jam	900 µg/Nm^3
		24 Jam	365 µg/Nm^3
		1 Tahun	60 µg/Nm^3
2	CO (Karbon Monoksida)	1 Jam	30.000 µg/Nm^3
		24 Jam	10.000 µg/Nm^3
		1 Tahun	-
3	NO_2 (Nitrogen Dioksida)	1 Jam	400 µg/Nm^3
		24 Jam	150 µg/Nm^3
		1 Tahun	100 µg/Nm^3
4	O_3 (Oksidan)	1 Jam	235 µg/Nm^3
		1 Tahun	50 µg/Nm^3
5	HC (Hidro Karbon)	3 Jam	160 µg/Nm^3
6	PM_{10} (Partikel < 10 µm)	24 Jam	150 µg/Nm^3
	$PM_{2,5}$ (Partikel < 2,5 µm)	24 Jam	65 µg/Nm^3
		1 Tahun	15 µg/Nm^3
7	TSP	24 Jam	230 µg/Nm^3

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
	(Debu)	1 Tahun	90 µg/Nm^3
8	Pb (Timah Hitam)	24 Jam	2 µg/Nm^3
		1 Tahun	1 µg/Nm^3
9	Dustfall (Debu Jatuh)	30 Hari	10 Ton/km^2/Bulan (Pemukiman)
			20 Ton/km^2/Bulan (Industri)
10	Total Fluorides (as F)	24 Jam	3 µg/Nm^3
		90 Hari	0,5 µg/Nm^3
11	Fluor Indeks	30 Hari	40 µg/100 cm^2 dari kertas limed filter
12	Khlorine & Khlorine Dioksida	24 Jam	150 µg/Nm^3
13	Sulphat Indeks	30 Hari	1 mg SO_3/100 cm^3 Dari Lead Peroksida

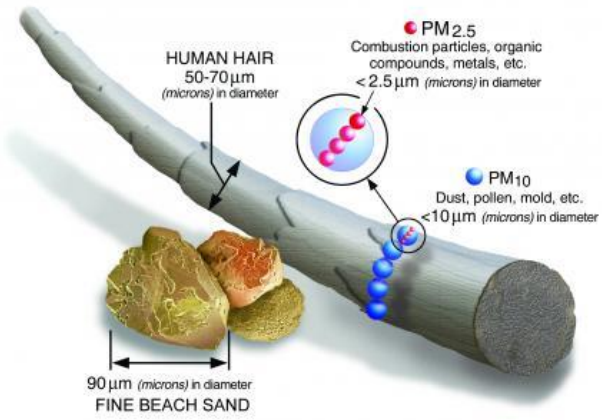
Sumber : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999

Penyebab pencemaran udara dapat dibedakan menjadi dua yaitu secara alami dan antropogenik. Pencemaran secara alami berasal dari debu, abu, gas vulkanik, dan juga proses pembusukan bahan-bahan organik. Pencemaran secara antropogenik dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, debu dari industri dan pemakaian zat kimia (Zakaria dan Azizah, 2013).

2.2. *Particulate Matter* (PM)

EPA (2019) menyatakan PM merupakan suatu campuran kompleks dari partikel padat dan cair sangat kecil yang ditemukan di udara. Partikel-partikel berukuran besar seperti debu dapat dilihat dengan mata namun juga terdapat partikel yang sangat kecil sehingga untuk melihat partikel tersebut perlu menggunakan mikroskop. *Environmental Protection Agency* (EPA) mengelompokkan partikel tersebut ke dalam dua ukuran, PM_{10} dan $PM_{2.5}$. PM_{10} merupakan partikel yang memiliki diameter 10 mikrometer atau lebih kecil. $PM_{2,5}$ adalah partikel halus yang memiliki diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil. Jika dibandingkan dengan ukuran rambut manusia maka ukurannya 30 kali kebih kecil dari rambut manusia yang rata-rata memiliki

diameter 70 mikrometer (Gambar 2.1). Dalam PP No.41 tahun 1999 PM merupakan salah satu dari 12 parameter pencemar udara yang memiliki dampak paling berbahaya bagi kesehatan manusia.



Gambar 2.1 Perbandingan Ukuran $PM_{2.5}$ (EPA, 2019)

Partikulat di atmosfer dibagi menjadi partikel primer dan sekunder. Konsentrasi massa di udara ambien mengandung partikel primer dan sekunder. Partikel primer langsung diemisikan melalui sumber yang terkait, umumnya partikel ini mengalami beberapa perubahan pada saat dilepaskan dari sumber menuju reseptor. Sumber sekunder merupakan partikulat yang dihasilkan dari serangkaian reaksi kompleks di atmosfer (Fernando *et al*, 2017).

Konsentrasi massa PM dapat meningkat disebabkan oleh adanya peningkatan aktivitas, suhu dan kelembaban, arah dan kecepatan angin. Pemantuan konsentrasi PM merupakan bagian dari pengendalian yang bertujuan agar konsentrasi PM tidak sampai melebihi nilai baku mutu kualitas udara ambien. Nilai baku mutu konsentrasi dari WHO untuk PM_{10} sebesar 50 $\mu g/m^3$ (24 jam) dan 20 $\mu g/m^3$ (tahunan), sedangkan $PM_{2.5}$ adalah 25 $\mu g/m^3$ (24 jam) dan 10 $\mu g/m^3$ (tahunan) (WHO AQG, 2006). Menurut US EPA nilai baku mutu PM_{10} sebesar 150 $\mu g/m^3$ dan 50 $\mu g/m^3$ (tahunan) sedangkan nilai baku mutu $PM_{2,5}$ sebesar 35 $\mu g/m^3$ dan 15 $\mu g/m^3$ (tahunan). Perbandingan nilai baku PM berdasarkan publikasi WHO, US EPA, dan Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Baku Mutu PM_{10} dan $PM_{2.5}$ di Indonesia, USA dan WHO

Parameter	Indonesia [(a)]		US EPA [(b)]		WHO [(c)]	
	24 Jam	1 Tahun	24 Jam	1 Tahun	24 Jam	1 Tahun
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	150	-	150	50	50	20
$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	65	15	35	15	25	10

Sumber : (a) PP. No 41 tahun 1999 (b) *US EPA* Vol.78, No.1 *January* 2013 (*NAQG for PM*) (c) *WHO AQG*,2006

2.2.1 Sumber Pencemar PM

Sumber pencemaran dapat berasal dari sumber alami dan dari kegiatan antropogenik. Contoh sumber pencemaran udara alami adalah pencemaran udara yang dihasilkan dari aktivitas vulkanik/gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, sporran dan lain-lain. Pencemaran udara akibat aktivitas manusia (kegiatan antropogenik), secara kuantitatif lebih besar. Untuk kategori ini sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat aktivitas transportasi, industri, dan dari dekomposisi ataupun pembakaran sampah (Soedomo, 2001).

Partikulat dapat dihasilkan dari debu tanah kering yang terbawa oleh angin, proses vulkanis yang berasal dari letusan gunung berapi maupun uap air laut. Partikulat juga dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar yang mengandung senyawa karbon murni atau bercampur dengan gas-gas organik, seperti penggunaan mesin diesel yang tidak terpelihara dengan baik dan pembakaran batu bara yang tidak sempurna. Pembakaran tersebut dapat membentuk aerosol kompleks dari butir-butiran tar. Emisi partikulat tergantung pada aktivitas manusia, seperti transportasi kendaraan bermotor, proses dari industri (penggilingan dan penyemprotan), bahan bakar yang digunakan oleh industri, dan sumber-sumber non industri, misalnya pembakaran sampah baik domestik ataupun komersial (Molter *et al*., 2010).

Kegiatan industri merupakan kegiatan yang melibatkan berbagai proses seperti penggunaan bahan bakar, proses insinerasi ataupun kegiatan pembakaran bahan baku dengan suhu tinggi (Zannaria *et al*., 2009). Di Indonesia, faktor pembakaran biomassa menyumbang sekitar 40% dari

$PM_{2,5}$ massa di daerah pinggiran kota di Lembang dan sekitar 20% di daerah perkotaan di Bandung (Santoso *et al*., 2008).

Pengukuran komposisi unsur logam adalah faktor utama dalam penggunaan data untuk menentukan kemungkinan sumber pencemar. Sumber penghasil partikulat dapat diperkirakan dengan cara mengetahui unsur-unsur logam yang terkandung dalam partikulat tersebut serta dapat memperlihatkan hubungan korelasi antara unsur logam dengan unsur logam lainnya (Ahmad dan Muhayatun, 2016). Laporan *Europe Environmental Agency* (EEA) tahun 2013 menyatakan faktor sumber emisi primer dari total konsentrasi PM untuk wilayah Eropa sejak tahun 2002-2011 berasal dari tungku pembakaran perumahan, industri dan institusi pemerintah. Sektor tersebut memberi kontribusi peningkatan dari 33% hingga 39% untuk PM_{10} dan 42% hingga 50 % pada tahun 2002 hingga 2011 (EEA, 2013).

Sebagian besar studi melaporkan sumber utama partikel dan logam berat di atmosfer adalah emisi industri, emisi kendaraan dan aerosol sekunder(Suvarapu dan Baek, 2017).Sumber pencemar utama yang teridentifikasi di Malaysia adalah emisi gas buang dari kendaraan, rem dan ban serta debu (Elhadi *et al*., 2017). Sumber utama dari pencemaran logam berat di daerah pedesaan adalah pembakaran batubara dan debu jalan serta tanah. Sedangkan sumber pencemaran di perkotaan adalah emisi dari industri, debu jalan, tanah dan emisi dari kendaraan (Liu *et al*., 2017).Unsur logam berat Cu, Zn, Cd, Pb dan Hg yang terdapat pada $PM_{2,5}$di Tianjin, China, diidentifikasi berasal dari sumber antropogenik seperti kendaraan, limbah dan pembakaran batubara (Chen *et al*., 2015).

2.2.2 Unsur Penyusun PM

$PM_{2.5}$ merupakan campuran kompleks dari berbagai kandungan kimia berbeda baik alami maupun antropogenik yang terbentuk di atmosfer. Unsur di atmosfer yang berasal dari aktivitas antropogenik antara lain arsenik (As), kadmium (Cd), tembaga (Cu), nikel (Ni), seng (Zn), vanadium (V), merkuri (Hg), dan timbal (Pb) (Betha *et al*., 2013). Penelitian yang dilakukan di Serpong tahun 2008-2010 mendapatkan sepuluh unsur dalam $PM_{2.5}$ dan

PM_{10}yang memiliki konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan unsur yang lainnya. Unsur tersebut adalah Timbal (Pb), Aluminium (Al), Natrium (Na), Besi (Fe), Kalium (K), Klorida (Cl), Silika (Si), Sulfur (S), Kalsium (Ca), serta Seng (Zn) (Mukhtar *et al*., 2013). Unsur K merupakan *finger print* dari emisi pembakaran biomassa. Tingginya konsentrasi sulfur (S) disebabkan oleh kendaraan sedangkan unsur S,Ca, Ti, Al dan Si dapat berasal dari *road dust*(Ahmad dan Santoso, 2016).Kajian yang telah dilakukan oleh De bruin *et al*., (2006) adalah melakukan penelitian mengenai identifikasi unsur penanda yang terdapat didalamPM.Unsur logam berat dalam $PM_{2,5}$ yang ditemukan di Dhaka, Bangladesh adalah As, Cd, Cu, Fe, Pb, dan Zn. Konsentrasi unsur-unsur tersebut sebesar 6,3;13;94;433;204;381 ng/m^3 (Salam *et al*, 2008). Unsur yang dominan di Malaysia adalah Ba dan Fe. Konsentrasi Ba adalah 729,29±44,42; 649,21±62,48; dan 312,35±155,52 ng/m^3 pada lokasi yang memiliki lalu lintas tinggi, sedang dan rendah. Selain Fe dan Ba juga terdapat unsur Cu, V, Zn, Pb, Mn, Cr, As, Ni, Cd, Co (Elhadi *et al*., 2017). Penelitian yang dilakukan di pedesaan dan perkotaan Taiyuan China saat *typical haze* menyatakan bahwa terdapat unsur logam berat yang terdapat pada sampel $PM_{2,5}$. Unsur logam yang terdapat dalam $PM_{2,5}$ adalah Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd dan Pb. Konsentrasi unsur yang tertinggi adalah Zn, selanjutnya Pb, Mn, Cr, Cd dan As. Konsentrasi Pb di daerah permukiman, As di daerah perkotaan dan Cd di daerah permukiman maupun perkotaan melebihi dari standar kualitas udara. Konsentrasi unsur-unsur tersebut sebesar 500 ng/m^3; 5 ng/m^3; 6 ng/m^3(Liu *et al*., 2017). Unsur-unsur yang ditemukan pada sampel PM_{10} di daerah perkotaan Lahore, Pakistan adalah Al, Ca, Mg, Fe, S, and Tidan beberapa logam seperti As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn dan Zn. Diantara unsur Al, Ca, Mg, Fe, S dan Ti unsur yang paling sedikit konsentrasinya adalah Ti. Konsentrasi Ti antara 0,1-0,3 µg/m^3 dan rata-rata konsentrasinya adalah 0,2±0,1 µg/m^3. Unsur yang memiliki konsentrasi tertinggi adalah Ca dengan rentang konsentrasi 11,5µg/m^3-32,4µg/m^3. Rata-rata konsentrasinya adalah 18,5±5,8 µg/m^3. Sedangkan untuk logam, unsur yang memiliki konsentrasi terendah adalah As dengan rata-rata konsentrasi 5,0±3,0 ng/m^3. Rentang konsentrasi As tersebut adalah 2,0-8,0 ng/m^3. Unsur

logam yang memiliki konsentrasi tertinggi adalah Zn dengan rentang 1,0 µg/m^3-5,7µg/m^3. Rata-rata konsentrasi Zn adalah 3,0±1,9 µg/m^3. Emisi kendaraan ditandai dengan adanya beberapa unsur seperti EC, OC, As, Pb, Cd, S dan Fe. Pembakaran batubara ditunjukkan oleh unsur-unsur EC, OC, TC, Ca, Zn serta Al dan Mg. Pembakaran biomassa ditunjukkan oleh unsur-unsur Ti, Ca, Zn dan Al serta EC dan OC(Alam *et al*., 2014). Karakteristik PM_{10} yang ditemukan pada daerah industri di pinggir pantai, Viskhapatnam, India adalah unsur-unsur kimia seperti Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Cl^-, F^-, NO^{3-} , SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Mg^{2+} and Ca^{2+}. Dari semua unsur tersebut unsur Al ditemukan memiliki konsentrasi tertinggi. Di lokasi Jogannapalem konsentrasi Al diketahui sebesar 4,1 µg/m^3 dan di Parawada konsentrasi Al sebesar 3,8 µg/m^3. Unsur berikutnya yang juga memiliki konsentrasi tinggi adalah K di Jogannapalem dan Ca di Parawada. (Police *et al*., 2016).

Identifikasi multi unsur PMdapat digunakan sebagai karakterisasi jenis dan estimasi lokasi sumber pencemar sehingga dapat digunakan sebagai dasar acuan pengendalian dan pencegahan pencemaran udara agar tidak melebihi baku mutunya (Rixson *et al*., 2016). Berikut ini nilai baku mutu logam berat di udara dari beberapa negara (Mukhtar *et al*., 2014).

Tabel 2.3 Baku Mutu Logam Berat Pb di Udara Ambien

No.	Negara	Waktu Pengukuran (µg/m^3)				
		1 tahun	24 jam	3 bulan	1 bulan	1 jam
1	Indonesia (PP.41/1999)	1	2			
2	China Grade 1, 2, 3	1				
3	Phillipphines	1		1,5		
4	India = Industrial Area	1	1,5			
5	India= Residential, rural and other	0,75	1			
6	India= Sensitive area	0,5	0,75			
7	Vietnam	0,5	1,5			
8	Ontario (OAQC/TCEQ)	0,5	2			
9	Bangladesh	0,5				
10	Nepal	0,5				
11	Republic of Korea	0,5				
12	Republic of Korea (Seol)	0,5		1		
12	Hongkong (HKSAR's AQO	0,5		1,5		

No.	Negara	Waktu Pengukuran (μg/m^3)				
		1 tahun	24 jam	3 bulan	1 bulan	1 jam
13	Switzerland	0,5				
14	Australia	0,5				
15	European commisson (QS)	0,5				
16	EU 2005, 2012	0,5				
17	UK-2008	0,25				
18	WHO AQGs 2000	0,5				
19	New Zealand 1999			0,2		
20	WHO 2005			1,5		
21	US EPA NA NAAQSc			1,5		
22	Malaysia (MAAQS)			1,5		
23	HK AQO			1,5		
24	United State-EPA (NA AQS)			0,15		
25	Canada					1,5
26	Thailand				1,5	

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

Tabel 2.4 Baku Mutu Logam Berat As (Arsen) di Udara Ambien

No.	Negara	Waktu Pengukuran (μg/m^3)		
		1 tahun	24 jam	1 jam
1.	Vietnam	0,005		0,03
2.	European Commision (AQS)	0,006		
3.	AQS- Environment-European	0,006		
4.	India	0,006		
5.	OAQC/TCEQ	0,5	0,3	

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

Tabel 2.5 Baku Mutu Logam Berat Cd (Kadmium) di Udara Ambien

No.	Negara/organisasi	Waktu Pengukuran (μg/m^3)			
		1 tahun	24 jam	8 jam	1 jam
1.	WHO	0,005			
2.	European commission (QS)	0,005			
3.	Australian Fine Particles Study	0,005			
4.	AQS-Environment-European	0,005			
5.	WHO AQGs 2000	0,005			
6.	Vietnam	0,005		0,2	0,4
7.	OAQC/TCEQ	0,05	2		

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

Tabel 2.6 Baku Mutu Logam Berat Hg (Merkuri) di Udara Ambien

No	Negara/Organisaai	Waktu Pengukuran (μg/m^3)	
		1 tahun	24 jam
1.	WHO,WHO AQGs 2000	1	
2.	OAQC/TCEQ	1	2
3.	AFP, dalam Jurnal Atmosphere	1	
4.	AQM second Edition	1	
5.	Vietnam		0,3

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

Tabel 2.7 Baku Mutu Logam Berat Mn (Mangan) di Udara Ambien

No.	Negara/organisasi	Waktu Pengukuran (μg/m^3)		
		1 tahun	24 jam	1 jam
1.	OAQC/TCEQ	0,015	2,5	
2.	Hope valley, DEC, (AQM in Kwinana)	0,02		
3.	AQM second edition	0,15		
4.	WHO AQGs 2000	0,15		
5.	WHO	0,15	0,018	
6.	Vietnam	0,15	8	10

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

Tabel 2.8 Baku Mutu Logam Berat Ni (Nikel) di Udara Ambien

No.	Negara/organisasi	Waktu Pengukuran (μg/m^3)	
		1 tahun	24 jam
1.	European Commision (AQS) atau AQS-Environment-European	0,02	
2.	India 1 dan 2	0,02	
3.	OAQC/TCEQ	0015	2
4.	Vietnam		1

Sumber : Mukhtar *et al*, 2014

2.2.3 Dampak PM terhadap Kesehatan

Beberapa peneliti epidemiologi berpendapat bahwa partikel udara halus sangat berbahaya karena dapat berpenetrasi menembus bagian terdalam dari paru-paru dan sistem jantung, menyebabkan gangguan kesehatan di antaranya infeksi saluran pernafasan akut, kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular bahkan kematian. Partikel udara halus diperkirakan dapat memberikan kontribusi besar pada angka kematian yang diakibatkan oleh

gangguan kesehatan terkait pencemaran udara (Mukhtar *et al*, 2013). Dampak pajanan partikel debu atau *Particulate Matter* (PM) terhadap kesehatan, baik dalam bentuk padat maupun cair bergantung pada ukurannya. Ukuran partikel yang membahayakan bagi kesehatan saluran pernapasan tersebut umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Ukuran PM yang kurang dari 5 mikron dapat masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli, dan yang lebih besar dari 5 mikron dapat mengganggu saluran pernapasan bagian atas dan menyebabkan iritasi (Kemenkes RI, 2004 dalam Oktaviani dan Prasasti, 2015).

Berbagai penyakit dapat timbul dalam lingkungan pekerjaan yang mengandung debu industri, terutama pada kadar yang cukup tinggi. Debu anorganik dapat menyebabkan (pneumokoniosis) misalnya debu silika (Silikosis), debu asbes (asbestosis), debu timah (Stannosis) (Darmawan, 2013). Bahan-bahan partikulat/debu dapat menyebabkan peningkatan kematian pada bayi prematur, selain itu mengganggu manusia khususnya menyebabkan penyakit paru seperti asma bronkial, penyakit paru obstruksi menahun (COPD), termasuk bronkitis kronis dan empisema, selain itu menyebabkan penyakit jantung. Paparan partikulat di udara yang terpolusi dapat menjadi pencetus asma berulang berupa kasus sesak napas dan batuk, serta iritasi pernapasan pada orang-orang dengan saluran napas yang sensitif (American Lung Association. Outdoor air pollution dalam Sinolungan, 2009). Penelitian oleh Samet *et al*., (2000) menyatakan bahwa ukuran partikel berhubungan signifikan dengan terkumpulnya partikel ukuran diameter <2-3 μm di bagian dalam paru-paru yaitu bronkiolus terminalis dan alveoli.Partikel besar akan terkumpul di saluran napas bagian atas. Partikulat diukur dengan TSPs yaitu seluruh partikel terlarut lebih dari 30-40 μm. Untuk PM_{10} yang dapat masuk lewat secara aerodinamik melalui inhalasi berukuran <10.

Keterpaparan arsenik terkait dengan peningkatan risiko kanker kulit dan paru-paru. Kadmium terkait dengan ginjal dan kerusakan tulang serta telah diidentifkasi potensial menyebabkan karsinogen pada manusia, kanker paru-paru, dan efek neuro - perilaku pada janin, bayi dan anak-anak, dan

meningkatkan tekanan darah pada orang dewasa (Mukhtar *et al*., 2014). Kromium dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan dan pencernaan. Mangan pada dosis yang tinggi dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf. Nikel disamping dikenal karsinogen, juga memiliki efek non-kanker seperti gangguan pada sistem endokrin (WHO, 2007).

Risiko pajanan logam berat melalui inhalasi ini dapat menyerang anak-anak maupun orang dewasa. Di Delhi, India, risiko kematian yang tinggi diakibatkan karena adanya kandungan Pb pada darah anak-anak dan juga kasus kanker akibat Cd, Crdan Ni (Khillare dan Sarkar, 2012). Penelitian lain juga menyatakan bahwa potensi risiko kesehatan yang disebabkan oleh Pb ini berdampak lebih besar terhadap anak-anak dan kandungan Pb yang terdapat pada $PM_{2,5}$ ini berperan penting pada toksisitas miokardial (Zhang *et al*., 2016). Selain itu, penelitian yang dilakukan di Dhanbad, India pada tiga (3) lokasi, kawasan pertambangan, rute transportasi dan kawasan institusi menunjukkan bahwa risiko orang dewasa terpapar oleh Co pada rute transportasi dan kawasan pertambangan sebesar $1{,}2 \times 10^{-4}$ dan $1{,}78 \times 10^{-4}$, melebihi dari nilai baku mutu yang digunakan sebesar 1×10^{-4} (Jena *et al*., 2019).

2.3 Spektroskopi *X-ray Fluorescene* (XRF)

Metode XRF merupakan salah satu metode analisis dari teknik analisis nuklir. Metode analisis XRF didasarkan pada pemancaran sinar X oleh atom yang dieksitasikan oleh foton berenergi tinggi seperti sinar X dan sinar γ (Santoso *et al*, 2010). XRF dapat mendeteksi berbagai unsur dalam partikel dan menghasilkan satu set data konsentrasi dari 25-30 unsur dalam identifikasi sumber polutan udara (Santoso dan Lestiani, 2014).

Prinsip dari XRF adalah menggunakan sinar X karakteristik sekunder yang menjadi ciri dari setiap unsur pada suatu bahan. Sinar X sekunder ini dihasilkan dari ionisasi elektron kulit terdalam akibat pancaran sinar X primer pada energi tertentu. Radiasi sinar X sekunder selanjutnya dideteksi oleh detektor sinar X menjadi pulsa listrik. Pulsa listrik ini diperkuat oleh penguat awal dan penguat akhir. Pulsa yang telah diperkuat oleh penguat akhir

digunakan untuk input untuk *Analog to Digital Converter* (ADC) lalu diubah menjadi bilangan digital. Bilangan digital ini akan diolah dengan komputer menjadi luasan spektrum hasil dan dapat dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif (Rixson *et al*., 2016).

Keunggulan dari XRF adalah metode analisisnya nondestruktif, sedikit risiko kontaminasi, dapat menganalisis multi elemen dalam waktu yang singkat dan hasilnya akurat. Kelemahan XRF adalah tidak dapat mengetahui senyawa yang dibentuk oleh unsur dalam material yang diteliti (Swift, 1995; Setiabudi *et al*, 2012).

2.4 Reseptor Model *Positive Matrix Factorization (PMF)*

Reseptor model adalah pendekatan matematis untuk mengukur kontribusi sumber berdasarkan komposisi atau penanda dari suatu sumber. Prinsip ini digunakan untuk mengidentifikasi unsur dan jenis sumber emisi dari partikulat udara di atmosfer. Satu set data dapat dilihat sebagai matrik Xij dimana i adalah jumlah sampel dan j adalah konsentrasi spesies/unsur yang terukur. Tujuan dari reseptor model adalah untuk menyelesaikan keseimbangan massa kimia antara konsentrasi spesies terukur dan profil sumber, seperti persamaan 2.1. Dimana p adalah jumlah faktor, F adalah profil sumber dan G adalah sejumlah massa yang berkontribusi pada tiap faktor terhadap tiap sampel. Eij adalah residual untuk tiap spesies. Persamaan keseimbangan massa kimia tersebut dapat diselesaikan dengan beberpaa model seperti *Chemical Mass Balance* (CMB), *Principal Components Analysis* (PCA), *Positive Matrix Factorization* (PMF), *UNMIX* (De Bruin *et al*., 2006). Pendekatan reseptor model adalah untuk menentukan kandungan kimia seperti konsentrasi unsur di sejumlah sampel (Hopkee, 2000).

$Xij = \sum_{k=1}^{p} Gik\ Fkj + eij$ atau X = G F + E (Persamaan 2.1)

$eij = Xij - \sum_{k=1}^{p} Gik\ Fkj$ (Persamaan 2.2)

Pada tahun 1993 dan 1994 PMF dikembangkan oleh Pattero dan Tapper sebagai pendekatan pemodelan yang fleksibel dan mendiskipsikan informasi dalam data (Rixson *et al.*,2015). Pemodelan ini digunakan untuk menentukan *trace element* dari komponen terpenting pada aerosol, misalnya *finger*

*print*dari industri, rumah tangga, kendaraan bermotor atau aktifitas lain yang menghasilkan polusi (Ahmad dan Santoso, 2016). PMF diinterpretasikan dengan mengidentifikasi kategori sumber. Analisis tipe sumber dapat berdasarkan informasi profil sumber, analisis arah angin dan data inventarisasi emisi (Pattero, 1997).

Dalam PMF, unsur yang teridentifikasi tersusun dalam matriks X dengan baris berisikan jumlah data sampel dan kolom berisikan jumlah unsur yang teridentifikasi. Matriks X difaktorisasi dalam bentuk matriks Fdan G, dimana matrik F adalah profil faktor dan matrik G adalah kontribusi sumber. Profil faktor ini perlu diinterpretasikan untuk mengidentifikasi jenis sumber yang mungkin berkontribusi pada sampel berdasarkan dari penelitian-penelitian terdahulu maupun dari data inventarisasi emisi. Kelebihan dari PMF ini adalah hasil didapatkan dengan batasan tidak ada sampel yang menghasilkan kontribusi sumber bernilai negatif. Data yang memiliki nilai di bawah deteksi metode dapat tetap digunakan dengan penyesuaian nilai *uncertainty* sehingga data tersebut memiliki pengaruh lebih kecil dibandingkan dengan data yang berada di atas deteksi metode.

Model PMF merupakan perhitungan dengan menggunakan *least-square* dimana diperlukan asumsi jumlah faktor untuk menyelesaikan Persamaan 2.3. Faktor kontribusi dan profil faktor berasal dari model PMF meminimisasi fungsi Q. Persamaannya dapat dilihat sebagai berikut :

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(\frac{Xij - \sum_{k=1}^{p} Gik\ Fkj}{uij} \right)^2$$ (Persamaan 2.3)

PMF memerlukan dua input data, data konsentrasi spesies dan *uncertainty* data untuk memperkirakan kontribusi faktor (G) dan profil faktor (F) (Rixson *et al*, 2015; Wang *et al*, 2018).Pemilihan jumlah faktor dapat ditentukan dari data inventarisasi emisi untuk mengetahui sumber pencemar. Nilai Q atau penyelesaian PMF pada Persamaan 2.3 didapatkan dengan melakukan percobaan menggunakan asumsi jumlah faktor, biasanya antara 4-8 faktor hingga mendapatkan hasil yang dapat diinterpretasikan. Nilai Q yang didapatkan dari model adalah *goodness of fit parameter* dan sebuah perkiraan seberapa baik model sesuai dengan input data (Reff, *et al*., 2012; Santoso,

2008, Wang *et al*, 2018).*Goodness of fit* pada prinsipnya bertujuan untuk mengetahui apakah sebuah distribusi data dari sampel mengikuti sebuah distribusi teoritis tertentu ataukah tidak.Dengan demikian, *goodness of fit* akan membandingkan dua distribusi data, yakni yang teoritis dan yang sesuai kenyataan (frekuensi observasi).

Jumlah faktor sumber pencemar bervariasi antara empat (4) hingga delapan (8), seperti dalam penelitian Santoso *et al*. (2008) menyatakan jumlah faktor yang didapatkan dalam penelitian identifikasi sumber pencemar pada daerah urban dan suburban di Indonesia antara lima (5) hingga delapan (8) faktor. Faktor-faktor tersebut diuraikan sebagai berikut :

- Faktor pertama: Faktor pertama ini memiliki konsentrasi black carbon (BC) dan kalium (K) yang tinggi. Hal tersebut menunjukkan emisi dari biomass burning. Biomas burning menghasilkan karbon (C) dalam konsentrasi tinggi.
- Faktor kedua: Faktor kedua didominasi oleh konsentrasi alumunium (Al), silikon (Si), dan kalsium (Ca). Unsur-unsur tersebut merupakan komponen utama penyusun tanah. Sumber pencemar pada faktor ini dapat berasal dari debu tanah.
- Faktor ketiga: Faktor ketiga memiliki konsentrasi BC, seng (Zn) dan timbal (Pb). Unsur tersebut berasal dari pembakaran minyak pelumas pada two-stroke engine. Unsur besi (Fe) juga mengidentifikasi adanya emisi dari two stroke engine. Zn biasanya digunakan sebagai bahan tambahan dalam minyak pelumas. Selain itu Zn juga dapat berasal dari bahan galvanis dan ban yang telah aus dan penggunaan Zn dalam produksi karet.
- Faktor keempat: Faktor keempat mengandung sulfur (S) sebagai komponen utama yang teridentifikasi sebagai sulfat sekunder. Pada faktor ini juga terdapat konsentrasi BC dan K. Konsentrasi sulfur yang tinggi dapat disebabkan karena pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Sulfur juga dapat disebabkan oleh aktivitas gunung berapi.

- Faktor kelima: Faktor kelima terdiri dari Pb, S, dan BC. Sumber dari unsur tersebut bersumber dari kendaraan bermotor yang memiliki kualitas bahan bakar rendah.
- Faktor keenam: Faktor keenam memiliki dominasi unsur natrium (Na) dan klorida (Cl). Unsur tersebut merupakan karakteristik dari garam laut.
- Faktor ketujuh: Faktor ketujuh didominasi unsur Al, Si, dan Fe dan S. Unsur tersebut teridentifikasi dari debu tanah dan jalan. Debu tanah dan jalan dapat berasal dari perbaikan jalan. Unsur S dapat berasal dari kendaraan yang menggunakan bahan bakar diesel.

Beberapa peneliti juga telah melakukan penelitian mengenai unsur penanda yang terdapat di PM yang dirangkum dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Unsur Penanda dalam PM

Sumber	Unsur Penanda	Referensi
Kerak konstruksi/semen	Sc, Ce, Sm, Fe, Al, Ca, Mg	Lee *et al*(1994); Koistinen *et al*. (2004); Santoso *et al*. (2008); Jain *et al*. (2018)
Debu tanah dan jalan	Al, Si, Ca, Fe, Ti, Mn	Lestiani *et al*. (2013); Santoso *et al*. (2008)
Garam laut	Na, Cl, Mg	Ho *et al*.(2018); Lestiani *et al*. (2013)
Lalu lintas/kendaraan	Fe, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn, Ba, Zn, OC, EC, Ni, Mn,Mo, Sb, S, Br, As, Cd	Banerjee *et al*.(2015); Jain *et al*.(2018); Santoso *et al*. (2011); Santoso *et al*. (2008); Du *et al*. (2019); Alam *et al*. (2014)
Pelabuhan	V, Ni, La, Ce	Pandolfi *et al*.(2011)
Pembakaran biomassa, kayu	BC, K	Santoso *et al*. (2011); Santoso, *et al*. (2008); Jain *et al*. (2018)
Pembangkit listrik	As, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, S	Zajusz-Zubek*et al*. (2015); Santoso *et*

Sumber	Unsur Penanda	Referensi
		al. (2011)
Pembakaran batubara	Se, As, Cd, Pb, Zn, Cr	Du *et al*. (2019), Gao *et al*. (2016); Police *et al*. (2016)
Industri	OC, EC, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Ti; Co, Cr, Zn, V, Cd, As, Pb	Alam *et al*.(2014); Lestiani *et al*. (2013); Banerjee *et al*.(2015); Du *et al*. (2019); Jain *et al*. (2018)

2.5 *Conditional Probability Function* (CPF)

Lokasi sumber pencemar diestimasi dengan menggunakan kontribusi sumber yang dihasilkan dari PMF dan digabungkan dengan data arah angin serta kecepatan angin pada lokasi pengambilan sampel. Data tersebut dianalisis menggunakan metode CPF dengan bantuan software Microsoft Excel. Persamaan dapat dilihat sebagai berikut :

$CPF_{\Delta\theta} = \frac{M_{\Delta\theta}}{n_{\Delta\theta}}$ (Persamaan 2.4)

Dimana ($M_{\Delta\theta}$) menunjukkan jumlah kejadian dari arah angin ($\Delta\theta$) yang memiliki nilai di atas ambang batas (nilai ambang batas adalah 25% nilai tertinggi) dan ($n_{\Delta\theta}$) adalah total jumlah kejadian dari arah angin keseluruhan. Dalam penelitian ini digunakan 16 arah mata angin sehingga ($\Delta\theta$) dibuat pada 22,5º dan hanya menggunakan kecepatan angin >1 m/s. Hasil analisis *CPF* dibentuk dalam plot radar lalu di overlay ke dalam peta lokasi sampling.

2.6Reduksi Polutan oleh Tumbuhan

Mekanisme tumbuhan dalam mereduksi polutan yang terlepas padalingkungan terdiri dari beberapa proses yaitu proses difusiberupa penyebaran polutan ke atmosfer, proses absorbsi berupa penyerapan polutan gasmelalui stomata sehingga gas masuk kedalam jaringan daun,proses adsorbsi berupapenyerapan polutan partikel olehpermukaan daun, batang, ranting, dan proses deposisi partikelbesar oleh daun dan bagian tanaman lainnya (Nasrullah, 2001). Penyerapan partikel dapat dilakukan oleh daun, dan berbagai bagiantumbuhan lainnya seperti ranting dan batang (Hakim, 2014). Menurut Dahlan (1989)ranting pohon yang berbulu menyerappartikel

timbal dan seng lebih banyak dibandingkan ranting yangberkulit licin dan pohon berkulit kasar dapat menyerap timbal lebihtinggi dibandingkan dengan pohon berkulit licin.

Mekanisme penyerapan PM_{10} dan TSP partikel yang berukurankurang dari 10 μm terjadi seperti halnya pada partikel Pb. PartikelPb masuk ke dalam jaringan daun melalui stomata daun yangberukuran besar dan ukuran partikel Pb lebih kecil, sehingga Pbdengan mudah masuk kedalam jaringan daun melalui prosespenyerapan pasif. Partikel yang menempel pada permukaandaun berasal dari tiga proses yaitu sedimentasi akibat gaya gravitasi, tumbukan akibat turbulensi angin, dan pengendapan yang berhubungan dengan hujan.Celah stomata mempunyai panjang sekitar 10 μm dan lebar antara 2 –7 μm, Pb yang juga memiliki ukuran partikel kecil maka partikel Pb akan masuk ke dalam daun lewat celah stomata dan menetap dalam jaringan daun serta menumpuk di antara celah sel jaringan pagar dan jaringan bunga karang. Partikel Pb tidak larut dalam air, maka senyawa Pb dalam jaringan terperangkap dalam rongga antarsel sekitar stomata (Dahlan 2004).

Tingginya serapan pada daun dipengaruhioleh beberapa faktor antara lain jenis vegetasi, bentuk daun,permukaan daun, umur daun dan letak vegetasi. Bentuk daun dapat mempengaruhi kemampuanserapan, semakin kecil daun, maka semakin besar jumlahstomata sehingga semakin besar pula partikel yang mampudiserap oleh daun. Permukaan daun yang berbulumampu menjerap polutan partikel lebih banyak dibandingkandengan permukaan daun yang licin (Wuisang *et al*, 2006).

Penerapan penghijauan ini telah diterapkan di beberapa tempat, di London penghijauan meliputi taman, ruang terbuka hijau, hutan, sungai dan wetlands. Vegetasi atau tanaman mempunyai peran penting dalam mengurangi polutan udara melalui proses deposisi ke permukaan daun. Pemerintah London memberikan beberapa pertimbangan dalam penanaman pohon ini, seperti:

1. Sebagai barier sebaiknya menggunakan pohon yang tumbuh sepanjang musim, bukan pohon yang gugur pada musim tertentu dan semak-semak.

2. Vegetasi harus tahan dengan efek polusi udara, selain itu juga tidak dianjurkan menggunakan tanaman yang beracun
3. Menggunakan jenis pohon yang memiliki daun lebar
4. Agar dapat melindungi orang dari paparan polutan, minimal tinggi pohon yang digunakan adalah 2 meter
5. Vegetasi yang tebal dapat menjadi penghalang yang efektif dari emisi transportasi jalan
6. Vegetasi ini harus bisa bertahan dalam waktu lama dengan perawatan yang tepat

Di Indonesia sendiri terdapat beberapa vegetasi yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi partikel. Berdasarkan hasil pengamatan pohon yang memiliki kategori sangat sesuai dalam menjerap partikel adalah cemara norflok (Araucaria heterophylla). Pohon tersebut merupakan jenis pohon berdaun jarum yang memiliki ranting dan batang yang relatif kasar sehingga dapat menjerap partikel dengan baik. Selain itu terdapat jenis pohon lain seperti (Artocarpus communis), kapuk (Ceiba pentadra), kersen (Mutingia calabura), dan kerai payung (Fillicium decipiens), glodogan tiang (Polyalthia longifolia) dan tanjung (Mimusoph elengi), pohon kersen (Mutingia calabura), bunga kupu-kupu, jati (Tectona grandis), dan ki hujan (Samanea saman), jati (Tectona grandis), sukun (Artocarpus communis), ketapang (Terminalia catapa), bintaro (Cerbera manghas), biola cantik (Ficus lyrata), kerai payung (Fillicium decipiens), saraka (saraca indica), walisongo (Schefflera sp), jati (Tectona grandis), dan glodogan tiang (Polyalthia longifolia). Jenis pohon yang sesuai untuk mengurangi konsentrasi partikel memiliki tajuk pohon yang padat dan rapat serta tekstur kulit ranting dan batang yang kasar hingga agak halus, selain itu kepadatan ranting pohon juga cukup rapat (Al-Hakim, 2014).

Jalur hijau di pinggir jalan dapat mengurangi polutan partikel di sekitar jalan. Tanaman yang paling besar kemampuannya dalam menyerap partikel polutan adalah damar, tanjung dan mahoni, sedangkan pohon saputangan diketahui dapat menyerap Pb sebesar 0,05 mg/g daun (Wuisang et al, 2006).

Berdasarkan hasil inventarisasi tanaman lansekap terdapat 15 jenis tanaman yang bermanfaat sebagai tanaman hias sekaligus sebagai tanaman obat dan bioreduktor Pb. Tanaman tersebut adalah Andong merah (Cordyline fruticosa), Kana (Canna indica), Bunga kertas (Bougenvillea spectabilis), Lili paris (Chlorophytum cormosum), teh-tehan (Duranta repens), cemara udang (Equisetifolia sp), asoka (Saraca indica L.), sisal (Agave gigantea), beringin (Ficus benyamina), lidah mertua (Sansevieria sp), euphorbia (Euphorbia hirta L.), puring (Codiaeum variegatum), daun pletesan (Ruellia tuberosa L.), daun ungu (Syzygium oleira), dan pucuk merah (Graptophyllum pictum L). Hasil analisis kandungan Pb pada 15 jenis tanaman sampel masing-masing adalah <7.000 µg/m³ (<7 ppm) (Laksana, *et al*., 2019).

2.7 Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian Ahmad dan Santoso (2016) tentang PM di Surabaya menggunakan metode PMF untuk mengetahui sumber asal pencemaran. Hasil analisis *reseptor modeling* di dapatkan sumber asal polutan berasal dari biomass, kendaraan bermotor, soil, industri Pb, industri Zn dan industri Fe.

Penelitian lain dilakukan oleh Rixson *et al*.(2015), unsur sampel partikulat yang dikumpulkan di Serpong, pada 2011-2013 diidentifikasikan dengan XRF. Karakterisasi faktor dilakukan dengan menggunakan reseptor *model* PMF dan perkiraan lokasi sumber pencemar menggunakan metode CPF. Hasil menunjukkan rentang rata-rata konsentrasi massa $PM_{2,5}$ adalah 12,63 ± 1,60 hingga 15,89 ± 1,70 µg/m^3.Konsentrasi massa PM_{10} berkisar 29,00 ± 3,96 hingga 31,04 ± 3,28 µg/m^3. Multi unsur yang teridentifikasi dengan XRF adalah Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, S, Si, Ti, V dan Zn. Karakterisasi partikulat halus ($PM_{2,5}$)teridentifikasi 5 faktor. Faktor-faktor tersebut berasal dari industri peleburan logam Pb (9,61%) dan debu tanah (17%).Faktor lainnya berasal dari campuran industri peleburan logam dan garam laut (13,02%), transportasi (44,36%) serta pembakaran biomassa (22,58%).

Beberapa peneliti menemukan konsentrasi yang lebih tinggi logam berat di sekitar kawasan industri dibandingkan dengan daerah perumahan dan / atau

komersial (Suvarapu dan Baek, 2017). Penelitian yang dilakukan di pedesaan dan perkotaan Taiyuan China saat typical haze menyatakan konsentrasi Pb di pedesaan dan As di perkotaan serta Cd di kedua tempat melebihi dari standar. Konsentrasi Pb dan Zn di pedesaan lebih tinggi daripada di perkotaan (Liu *et al*., 2017). Unsur logam berat yang dominan di China adalah Fe. Unsur Fe berkontribusi sebesar 42% dari total emisi unsur logam berat yang terkandung dalam $PM_{2,5}$. Di kawasan China bagian utara yang menghasilkan banyak produk industri diketahui memiliki konsentrasi logam berat Cr, Co, Ni, As dan Sb yang tinggi. Konsentrasi tersebut berkontribusi 8%-18% dari emisi nasional (Liu *et al*., 2018).Konsentrasi logam berat pada $PM_{2,5}$ tertinggi terdapat pada daerah industri. Selain di daerah industri, daerah perkotaan juga memiliki konsentrasi yang tinggi. Selain dari sumber alami, logam berat dalam $PM_{2,5}$ dapat berasal dari area industri dan di daerah perkotaan sumber pencemar logam berat berasal dari kendaraan (Wu *et al*., 2019). Di daerah industri, logam berat Fe, Cd, Cu, Mn, Ni, Cr di $PM_{2,5}$ memiliki konsentrasi yang tinggi sedangkan di daerah komersil konsentrasi konsentrasi logam berat dalam $PM_{2,5}$ yang tinggi adalah Pb. Konsentrasi unsur logam berat tersebut rendah di daerah perumahan (Zhang *et al*., 2015).

BAB 3

METODE PENELITIAN

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Kota Surabaya merupakan ibukota Provinsi Jawa Timur. Luas wilayah Kota Surabaya kurang lebih 326,36 km^2. Sebagian besar wilayah Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 3-6 meter di atas permukaan laut. Kota Surabaya terbagi menjadi 31 kecamatan dan 154 desa/kelurahan. Batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

Batas sebelah utara : Laut Jawa dan Selat Madura
Batas sebelah selatan : Kabupaten Sidoarjo
Batas sebelah barat : Kabupaten Gresik
Batas sebelah timur : Selat Madura

Kota Surabaya bagian barat merupakan wilayah pengembangan Kota Surabaya dalam beberapa pola. Pola pengembangan tersebut adalah :

1. Area permukiman vertikal, area permukiman ini meliputi rumah susun maupun apartemen
2. Area untuk kegiatan jasa dan perdagangan. Area untuk kegiatan jasa dan perdagangan ini termasuk kawasan Teluk Lamong dan kaki Jembatan Suramadu
3. Area untuk industri dan pergudangan. Area ini terkonsentrasi di kawasan pesisir utara di kawasan sekitar Pelabuhan Tanjung Perak dan Terminal Multipurpose Teluk Lamong, dan kawasan selatan kota yang berbatasan dengan Kabupaten Gresik dan Sidoarjo

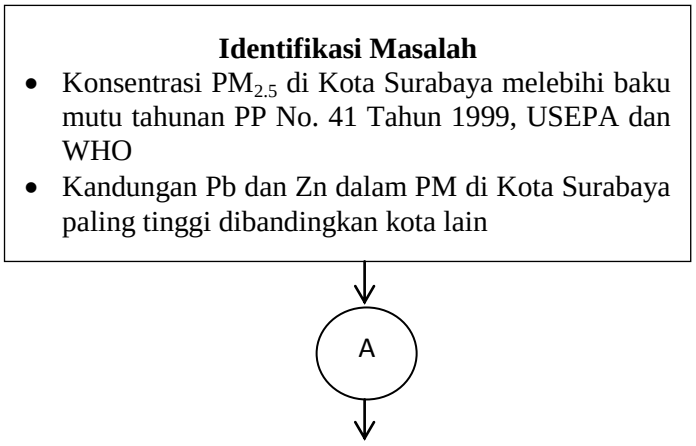
Kota Surabaya bagian barat merupakan kawasan strategis yang berpotensi dikembangkan secara berkelanjutan untuk mendukung pengembangan wilayah kota di waktu yang akan datang. Kawasan bagian barat Kota Surabaya merupakan pendukung pertumbuhan ekonomi dilihat dari aksesbilitasnya. Lokasinya berdekatan dengan Pelabuhan Tanjung Perak dan Jalan Tol Sidoarjo-Surabaya-Gresik. Di kawasan ini terdapat kawasan Pergudangan dan Industri Margomulyo yang berada di Kecamatan Asemrowo dan Kecamatan

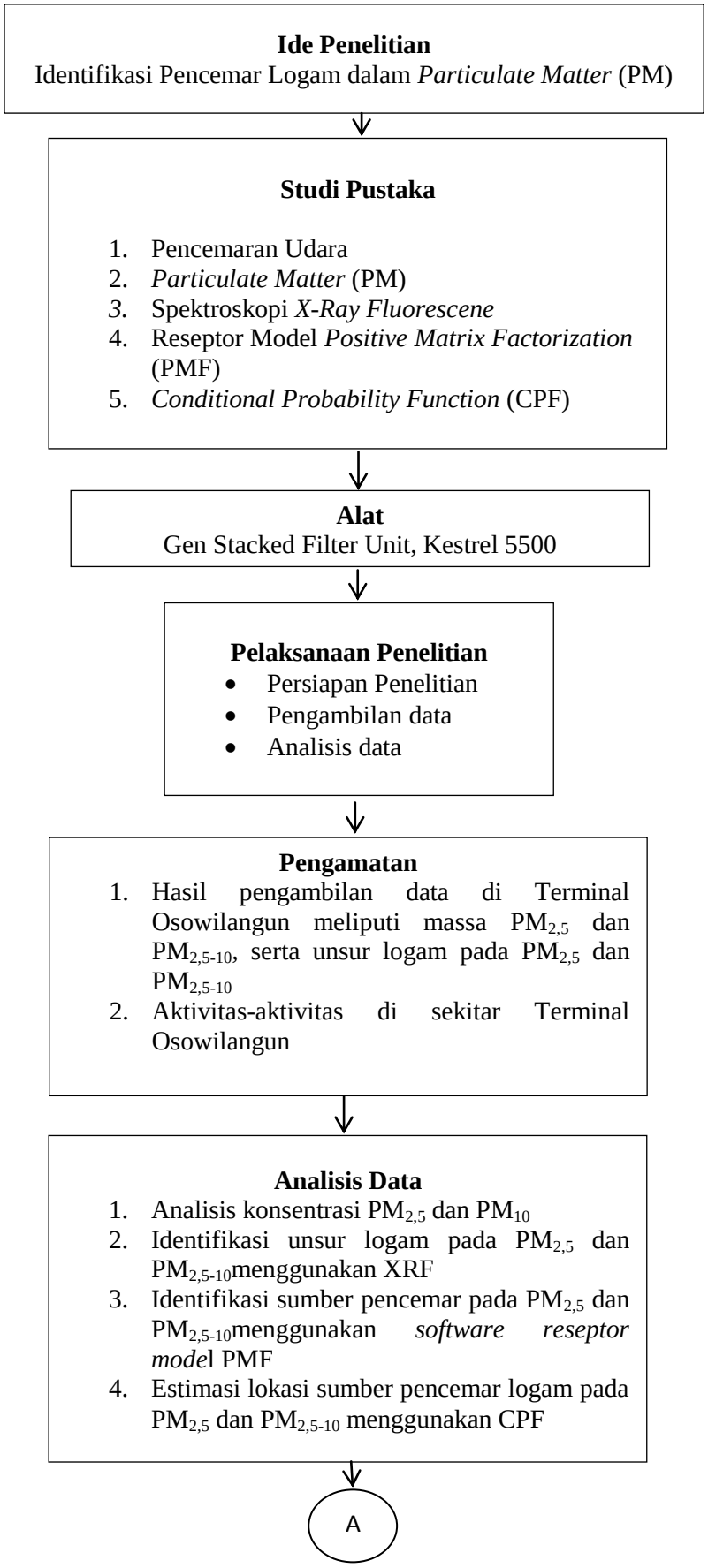
Benowo. Kedua kecamatan tersebut berada dalam Unit Pengembangan XI Tambak Oso Wilangun. Kawasan industri dan pergudangan Margomulyo ini dioptimalisasi dan dikembangkan dengan orientasi *industry smart and clean*. Jumlah industri besar dan sedang di Kecamatan Asemrowo masing-masing sebanyak 20 dan 12 industri. Di Kecamatan Benowo jumlah industri besar sebanyak 3 dan industri sedang sebanyak 8 industri (Surabaya dalam Angka, 2012). Wilayah Surabaya bagian barat juga dikembangkan wilayah pelabuhan dengan pengembangan Terminal *Multipurpose* Teluk Lamong. Terminal Teluk Lamong ini digunakan sebagai kawasan pelabuhan penunjang Pelabuhan Tanjung Perak yang merupakan pelabuhan utama.

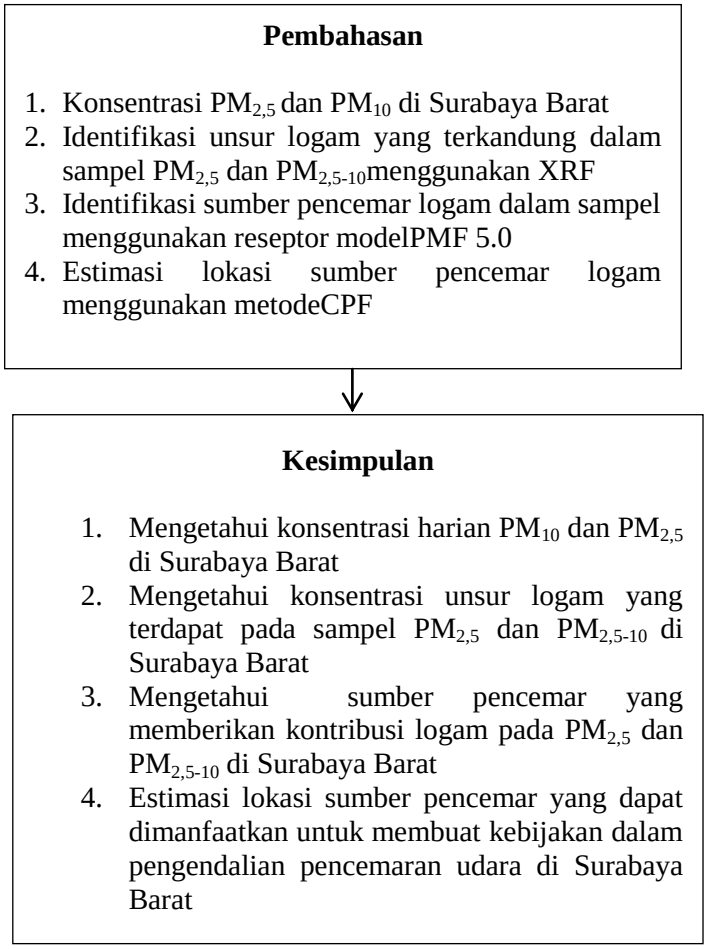
Kecamatan Pakal di Unit Pengembangan XII Sambikerep dan Kecamatan Benowo merupakan kawasan yang dikembangankan sebagai pusat olahraga berskala nasional. Hal ini dilihat dari adanya pembangunan Stadion Gelora Bung Tomo. Wilayah ini akan terintegrasi dengan pengembangan fungsi perdagangan dan jasa di sekitarnya.

Kawasan di sekitar Kali Lamong Kecamatan Benowo dan Kecamatan Pakal merupakan kawasan perlindungan setempat/sempadan sungai yang dimanfaatkan sebagai Ruang Terbuka Hijau, penyediaan vegetasi dan pendukung utilitas kota. Kecamatan Benowo juga merupakan kawasan pengelolaan sampah teknologi tepat guna. Pada kawasan ini terdapat TPA Benowo. TPA ini digunakan untuk pemrosesan akhir sampah di Kota Surabaya dengan konsep *Waste to Energy*.

3.2 Kerangka Penelitian




Ide Penelitian
Identifikasi Pencemar Logam dalam Particulate Matter (PM)
Studi Pustaka
1. Pencemaran Udara
2. Particulate Matter (PM)
3. Spektroskopi X-Ray Fluorescene
4. Reseptor Model Positive Matrix Factorization (PMF)
5. Conditional Probability Function (CPF)
Alat
Gen Stacked Filter Unit, Kestrel 5500
Pelaksanaan Penelitian
• Persiapan Penelitian
• Pengambilan data
• Analisis data
Pengamatan
1. Hasil pengambilan data di Terminal Osowilangun meliputi massa PM2,5 dan PM2,5-10, serta unsur logam pada PM2,5 dan PM2,5-10
2. Aktivitas-aktivitas di sekitar Terminal Osowilangun
Analisis Data
1. Analisis konsentrasi PM2,5 dan PM10
2. Identifikasi unsur logam pada PM2,5 dan PM2,5-10menggunakan XRF
3. Identifikasi sumber pencemar pada PM2,5 dan PM2,5-10menggunakan software reseptor model PMF
4. Estimasi lokasi sumber pencemar logam pada PM2,5 dan PM2,5-10 menggunakan CPF
A



3.3 Pelaksanaan Penelitian

Lokasi penelitian ditentukan setelah melakukan survey di Surabaya Barat dan menganalisis arah angin dominan kemudian dilakukan pengambilan data meliputi arah dan kecepatan angin serta $PM_{2,5}$dan PM_{10}. Dari data tersebut dilakukan analisis data dan pembahasan hingga didapatkan kesimpulan dari penelitian.Lokasi sampling berada di Terminal Osowilangun, Kota Surabaya. Terminal Osowilangun dipilih menjadi lokasi sampling dari hasil analisis arah angin yang telah dilakukan pada bulan September hingga awal Oktober 2019. Dari hasil analisis tersebut didapatkan arah angin dominan berasal dari barat dan timur laut.

Pengambilan sampel dilaksanakan dari 15 Oktober 2019 - 6 April 2020 dandilakukan selama enam (6) hari sekali sesuai dengan EPA *sampling schedule* dan dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pengambilan sampel dilakukan

enam (6) hari sekali agar hasil satu (1) tahun dapat digunakan sebagai *annual average* seperti rekomendasi EPA.Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Pengambilan Sampel di Terminal Osowilangun

No.	Tanggal	Keadaan cuaca	Waktu pengambilan sampel
1	15 Oktober 2019	cerah	14:00
2	21 Oktober 2019	cerah	13:05
3	27 Oktober 2019	mendung	8:20
4	2 November 2019	mendung	8:20
5	8 November 2019	cerah	9:35
6	14 November 2019	cerah	10:05
7	20 November 2019	cerah	7:20
8	26 November 2019	cerah	8:05
9	2 Desember 2019	cerah	8:00
10	8 Desember 2019	cerah	7:55
11	14 Desember 2019	cerah	8:10
12	20 Desember 2019	cerah	8:35
13	26 Desember 2019	cerah	8:15
14	31 Desember 2019	mendung	9:35
15	1 Januari 2020	mendung	12:00
16	7 Januari 2020	mendung	8:55
17	13 Januari 2020	mendung	8:50
18	19 Januari 2020	mendung	8:15
19	25 januari 2020	mendung	8:05
20	31 Januari 2020	mendung	8:23
21	6 Februari 2020	mendung	11:17
22	12 Februari 2020	mendung	6:44
23	13 Februari 2020	cerah	11:37
24	18 Februari 2020	cerah	8:12
25	24 Februari 2020	mendung	8:50
26	1 Maret 2020	cerah	7:40
27	7 Maret 2020	mendung	7:55
28	13 Maret 2020	cerah	7:54
29	19 Maret 2020	cerah	7:58
30	25 Maret 2020	cerah	8:04
31	31 Maret 2020	cerah	8:16
32	6 april 2020	cerah	8:03

(a)

(b)

(c)

Gambar 3.1(a) Lokasi Penelitian (b) Arah Angin Dominan Bulan September-Oktober (c) Arah Angin Dominan Bulan Oktober-Januari

Metode pengambilan data primer dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Gent Stacked Filter Unit*(Gen SFU) yang telah dipasang filter polikarbonat dan diletakkan di atap bangunan dengan ketinggian 3 m dari permukaan tanah. Gen SFUadalah *dichotomous sampler* yang dapat mengumpulkan partikulat udara dengan ukuran 2,5-10 µm dan kurang dari 2,5 µm. Gen SFU ini terdiri dari dua bagian, bagian pertama merupakan kontainer yang berisi filter dan bagian kedua adalah sistem pompa vakum dengan pengatur waktu dan laju alir. Pada bagian terluar kontainer terdapat sistem *impactor stage inlet cut off* sehingga menyebabkan hanya debu berukuran kurang dari 10 µm yang dapat masuk sedangkan debu berukuran lebih dari 10 µm akan jatuh. Udara yang masuk melalui kontainer filter diatur dengan laju 18 L/menit untuk mengumpulkan partikel $PM_{2,5}$berdasarkan hasil penelitian Hopke *et al*. (2000) yang menyatakan laju alir yang dapat mengumpulkan partikel $PM_{2,5}$ adalah sebesar 16-18 L/menit. Data yang didapatkan dari pengukuran ini adalah µg/m^2 luasan filter.

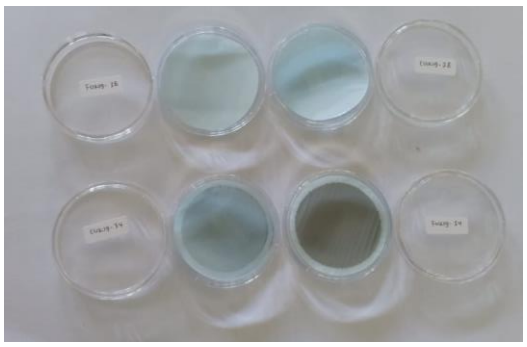
Di dalam Gent SFU terdapat kaset filter yang berfungsi untuk meletakkan filter paper dari bahan polikarbonat. Filter ini memiliki diameter 47 mm dan terdapat dua jenis filter yang digunakan yaitu *coarse* filter dan *fine* filter. *Coarse* filter memiliki pori 8,0 µm sedangkan *fine* filter memiliki pori 0,4 µm. Sebelum digunakan filter tersebut dikondisikan pada ruangan dengan suhu 18-25°C dan kelembaban 40-60%. Filter tersebut selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat awal filter. Pengambilan sampel dilakukan dengan memasang kedua jenis filter pada kaset filter. Kaset filter tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam kontainer filter yang terhubung dengan pompa vakum. Saat digunakan Gent SFU diatur laju alirnya sebesar 18 L/menit. Kestrel 5500 digunakan untuk mengetahui arah angin dan kecepatan angin.Gambar filter, Gen SFU dan Kestrel dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.Selain mengambil data primer, dalam penelitian ini juga diperlukan data sekunder berupa data industri yang ada di Surabaya Barat dan Kabupaten Gresik dan data curah hujan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Gambar 3.2Gen Stacked Filter Unit dan Kestrel 5500

a

b

c



d

e

Gambar 3.3(a) Kontainer Filter (b) Pompa Vakum dengan Flow Meter dan Pengatur Waktu (c) Kestrel 5500 (d) Filter sebelum digunakan dan setelah digunakan (e) Kaset Filter

3.4 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini meliputi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}, identifikasi unsur logam pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$, identifikasi sumber pencemar dan estimasi lokasi sumber pencemar.

3.4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}

Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}dianalisis dengan metode gravimetri. Konsentrasi $PM_{2,5}$ dihasilkan dari pengurangan berat sampel (mg) pada filter halus (*fine filter*) dan filter kosong lalu dibagi dengan volume udara (m^3). Konsentrasi $PM_{2,5-10}$ didapat dari penjumlahan berat pada filter kasar (*coarse filter*) dibagi dengan volume udara. Konsentrasi PM_{10} didapatkan dari penjumlahan konsentrasi pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ Sebelum ditimbang filter dikondisikan terlebih dahulu di ruang bersuhu 18-25°C dengan kelembaban dibawah 55% agar kadar air dalam PM stabil. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu mengenai udara ambien pada $PM_{2,5}$ dan PM_{10}. Konsentrasi $PM_{2,5}$, $PM_{2,5-10}$ dan PM_{10} dihitung dengan menggunakan Persamaan 1, Persamaan 3 dan Persamaan 5.

$$PM_{2,5}(\mu g/m^3) = \frac{\text{berat debu pada filter } (mg)}{\text{volume udara } (m^3)} \times 1000 \quad \ldots \quad \text{Persamaan (1)}$$

$$PM_{2,5}\ (\mu g/Nm^3) = \frac{\text{berat debu pada filter } (mg)}{\text{volume udara standar } (m^3)} \times 1000 \quad \ldots \quad \text{Persamaan (2)}$$

$$PM_{2,5-10}(\mu g/m^3) = \frac{\text{berat debu pada filter } (mg)}{\text{volume udara}(m^3)} \times 1000 \quad \ldots \quad \text{Persamaan (3)}$$

$$PM_{2,5-10}(\mu g/Nm^3) = \frac{\text{berat debu pada filter } (mg)}{\text{volume udara stadar}(m^3)} \times 1000 \quad \ldots \quad \text{Persamaan (4)}$$

$$PM_{10}\ (\mu g/m^3) = PM_{2,5}\ (\mu g/m^3) + PM\ Coarse\ (\mu g/m^3) \quad \ldots \quad \text{Persamaan (5)}$$

$$\text{Vol.standar } (m^3) = \frac{\text{tekanan saat sampling(mmHg)x volume saat sampling } (m^3) \text{x suhu kondisi std } (^oK)}{\text{tekanan kondisi std x suhu kondisi std } (^oK)} \quad \ldots \quad \text{(Persamaan 6)}$$

Gambar 3.4 Neraca Mikrobalance

3.4.2 Identifikasi Unsur pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$

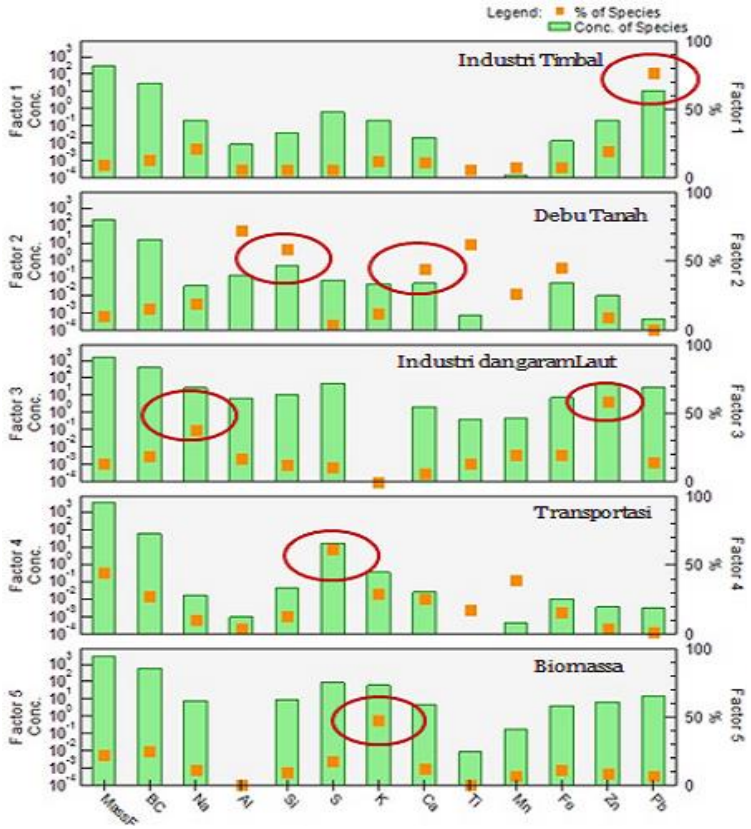
Identifikasi unsur PM dilakukan menggunakan XRF untuk mengetahui konsentrasi dan identifikasi unsur logam pada sampel.Metode analisis XRF didasarkan pada pemancaran sinar X oleh atom yang dieksitasikan oleh foton berenergi tinggi seperti sinar X dan sinar γ (Santoso *et al*, 2010). XRF dapat mendeteksi berbagai unsur dalam partikel dan menghasilkan satu set data konsentrasi dari 25-30 unsur dalam identifikasi sumber polutan udara (Santoso dan Lestiani, 2014).Data dari XRF diperoleh dalam bentuk konsentrasi massa dan multi unsur logam yang divisualisasikan dalam tabel, grafik dan diagram *box whisker* plot.

Gambar 3.5 Gambar XRF

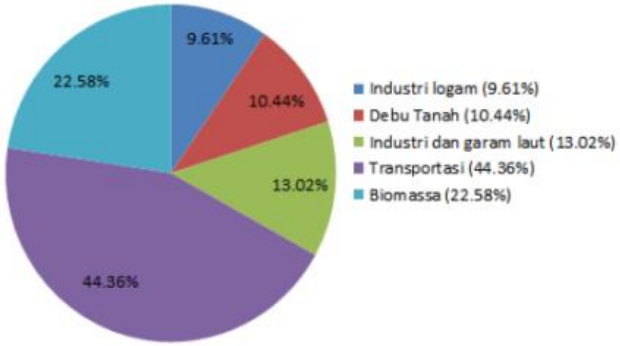
3.4.3 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$

Identifikasi sumber pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ menggunakan reseptor model *Positive Matrix Factorization* (PMF).PMF berguna untuk mengidentifikasi potensi jenis pencemar seperti lalu lintas atau pembakaran biomassa dan lain sebagainya.Dalam PMF, input data yang digunakan adalah (1) Data konsentrasi unsur. Dalam penelitian ini data konsentrasi unsur didapatkan dari analisis menggunakan XRF. (2) Nilai *uncertainty* dari spesies sampel.Dalam analisis PMF diperlukan nilai *uncertainty* serta estimasi error agar hasil dari PMF akurat. Nilai *uncertainty* data dan estimasi error dapat dihitung dengan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.4.

Data unsur yang teridentifikasi dari hasil XRF tersusun dalam matriks dengan baris dan kolom. Baris berisikan jumlah data sampel (i) dan kolom berisikan jumlah unsur yang teridentifikasi (j). Matriks tersebut difaktorisasi dalam bentuk matriks G dan F. Gmerupakan kontribusi faktor dan F adalah profil faktor. Kontribusi faktor dan profil faktor berasal dari model PMF pada Persamaan 2.3. Faktor-faktor tersebut merupakan sumber pencemar. Hasil dari reseptor model PMF adalah profil sumber dan kontribusi sumber. Contoh hasil dari PMF dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Contoh Profil Sumber Hasil dari PMF(Rixson, *et al*, 2015)



Gambar 3.7 Contoh Kontribusi Sumber Hasil dari PMF (Rixson, *et al*, 2015)

Analisis reseptor model PMF memerlukan literatur mengenai unsur-unsur sebagai penanda dari profil sumber emisi sehingga komposisi maupun kontribusi dalam profil tersebut dapat diperkirakan dalam model. Unsur-unsur penanda tersebut dapat membedakan profil sumber emisi berdasarkan kelimpahannya maupun proposionalitasnya. Unsur-unsur yang saling berkorelasi kuat cenderung berasal dari satu sumber yang sama.

Referensi unsur penanda yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil penelitian yang telah dirangkum dan disusun oleh para peneliti. Selain dari itu literatur dari jurnal-jurnal ilmiah turut serta sebagai sumber acuan penentuan sumber pencemar yang merupakan ciri khas dari unsur-unsur yang berkolerasi kuat satu sama lain. Unsur-unser penanda dari tiap sumber pencemar dapat dilihat pada Tabel 2.10

Dalam identifikasi sumber pencemar perlu adanya data aktivitas-aktivitas di sekitar lokasi sampling. Data-data tersebut didapatkan dengan pengamatan langsung di lokasi dan menggunakan data sekunder. Aktivitas-aktivitas di Surabaya Barat, sekitar Terminal Osowilangun yang berpotensi sebagai sumber pencemar terdapat dalam Tabel 3.2. Aktivitas yang berpotensi sebagai sumber pencemar tersebut dapat diperkiraan dengan melihat arah angin dominan yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil dari reseptor model PMF selanjutnya

dikonfirmasi dengan data aktivitas dan data industri yang ada di sekitar lokasi sampling.

Tabel 3.2 Daftar Aktivitas Potensi Sumber Pencemar di Surabaya Barat

No.	Aktivitas	Jarak dari Lokasi Sampling (km)
1.	Lalu lintas	±0,5-1
2.	Konstruksi jalan	±0,5
3.	Pembakaran biomassa	±2
4.	Kawasan Pergudangan (Penyimpanan Batubara)	±0,5
5.	Pelabuhan	±1
6.	Industri (Industri pengolahan kelapa sawit, Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU))	±4-5
7.	Garam laut	±1-2

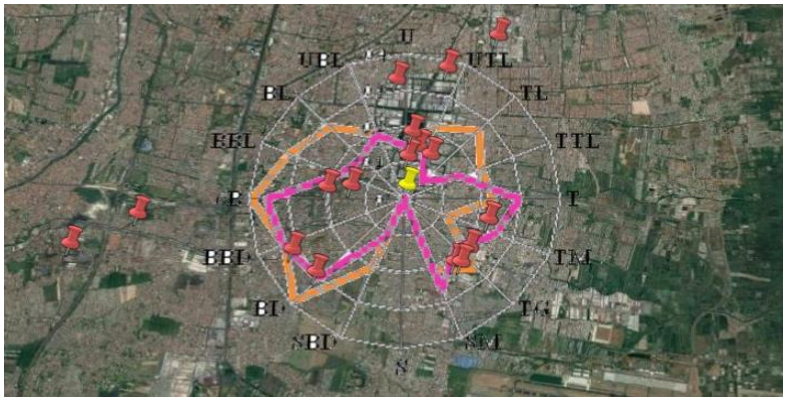
3.4.4.Estimasi Lokasi Sumber Pencemar

Estimasi lokasi sumber pencemar ini menggunakan*Conditional Probability Function* (CPF). CPF berfungsi untuk mengestimasikan sumber pencemar berdasarkan data dari hasil PMF, arah dan kecepatan angin. Estimasi lokasi sumber pencemar lokal dilakukan dengan cara menggabungkan data kontribusi sumber hasil dari PMF dengan data meteorologi yang meliputi arah angin dan kecepatan angin. Data tersebut dianalisis menggunakan metode CPF dengan bantuan software Microsoft Excel. Persamaan dapat dilihat sebagai berikut :

$CPF_{\Delta\theta}=\frac{M_{\Delta\theta}}{n_{\Delta\theta}}$ (Persamaan 2.4)

Dimana ($M_{\Delta\theta}$) menunjukkan jumlah kejadian dari arah angin ($\Delta\theta$) yang memiliki nilai di atas ambang batas (nilai ambang batas adalah 25% nilai tertinggi kontribusi sumber) dan ($n_{\Delta\theta}$) adalah total jumlah kejadian dari arah angin keseluruhan. Dalam penelitian ini digunakan 16 arah mata angin sehingga ($\Delta\theta$) dibuat pada 22,5º dan hanya menggunakan

kecepatan angin >1 m/s. Hasil analisis *CPF* dibentuk dalam plot radar lalu di overlay ke dalam peta lokasi sampling.



Gambar 3.8 Hasil Metode CPF (Humairoh, 2019)

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis yang dilakukan dalam penelitian ini selanjutnya dapat diambil kesimpulan mengenai konsentrasi harian $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat, hasil identifikasi unsur logam yang terdapat pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$, identifikasi sumber pencemar dan estimasi lokasi dari sumber pencemar. Saran mencakup berbagai aspek yang dapat menyempurnakan penelitian ini dalam pengendalian pencemaran udara di Surabaya Barat.

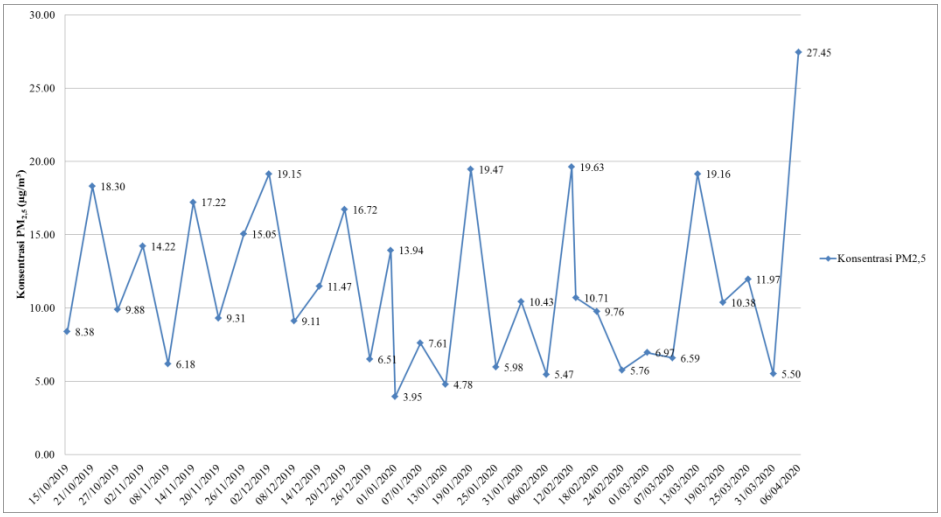
BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan data hasil pengamatan yang meliputi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}, identifikasi unsur $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5\text{-}10}$, identifikasi sumber pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5\text{-}10}$, estimasi lokasi sumber pencemar dan studi kasus.

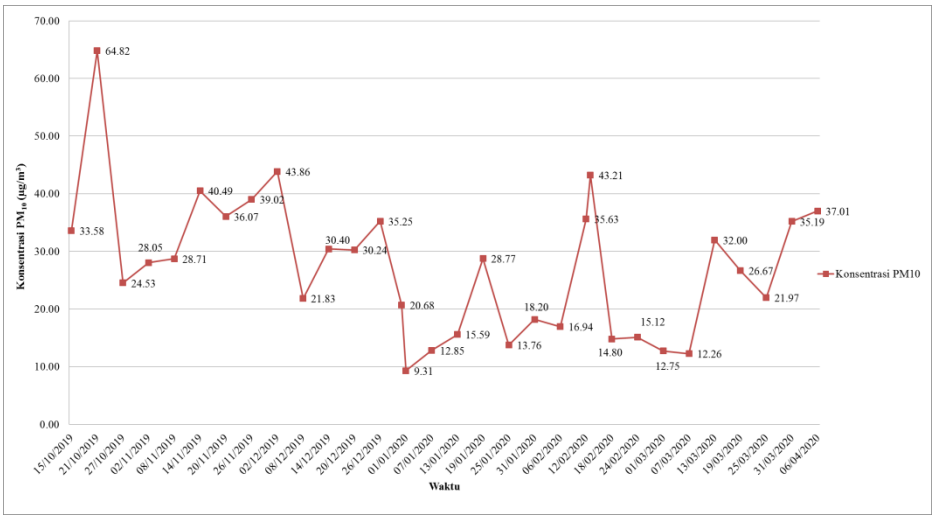
4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}

Konsentrasi rata-rata harian dari $PM_{2,5}$ dan PM_{10}di lokasi penelitian sebesar 11,47 µg/m^3 dan 27,49 µg/m^3atau sebesar 11,45µg/Nm^3 dan 26,98µg/Nm^3. Konsentrasi tersebut sesuai dengan penelitian oleh Ahmad dan Santoso (2016) yang menyatakan rentang konsentrasi tahunan di Surabaya untuk $PM_{2,5}$ adalah sebesar 8,53 µg/m^3-26,38 µg/m^3dan rentang konsentrasi PM_{10} sebesar 18,35µg/m^3-50,65µg/m^3. Penelitian yang dilakukan di Asia Tenggara oleh Khan *et al*. (2016) juga menyatakan konsentrasi $PM_{2,5}$ dalam rentang 6,64-68.2 µg/m^3 saat *southwest monsoon*. Berdasarkan PP No.41 Tahun 1999 kualitas baku mutu $PM_{2,5}$ dan PM_{10} harian adalah sebesar 65 µg/Nm^3dan 150 µg/Nm^3. Menurut WHO, kualitas baku mutu dari $PM_{2,5}$ dan PM_{10} sebesar 25 µg/m^3dan 50 µg/m^3. Dari hasil pengamatan, konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat masih memenuhi kualitas baku mutu PM harian berdasarkan PP No.41 Tahun 1999 dan WHO. Konsentrasi harian dari $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



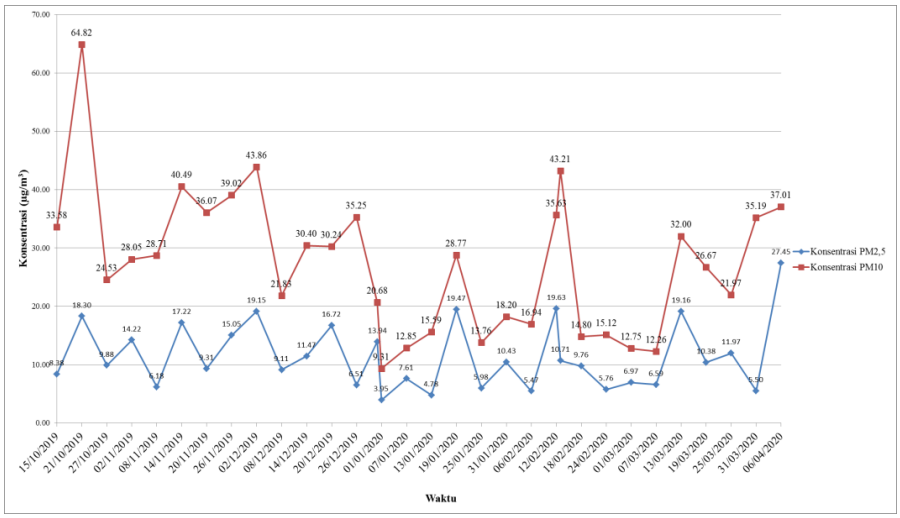
Gambar 4.1 Konsentrasi $PM_{2,5}$

Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa konsentrasi harian $PM_{2,5}$ berada dalam rentang 3,95 µg/m^3-27,45 µg/m^3. Konsentrasi harian tersebut masih sesuai dengan kualitas baku mutu harian dari PP No 41 Tahun 1999 dan WHO, kecuali pada tanggal 6 April 2020. Pada waktu tersebut konsentrasi $PM_{2,5}$ sebesar 27,45 µg/m^{3}telah melebihi kualitas baku mutu harian $PM_{2,5}$ dari WHO sebesar 25 µg/m^3. Sedangkan konsentrasi harian $PM_{2,5}$terendah sebesar 3,95 µg/m^3 terjadi pada 1 Januari 2020.



Gambar 4.2 Konsentrasi PM_{10}

Konsentrasi harian PM_{10}memiliki konsentrasi terendah sebesar 9,31 µg/m^{3}pada 1 Januari 2020. Konsentrasi harian tertinggi PM_{10}sebesar 64,82 µg/m^3 pada 21 Oktober 2020. Konsentrasi pada waktu tersebut telah melebihi kualitas baku mutu dari WHO sebesar 65 µg/m^3.



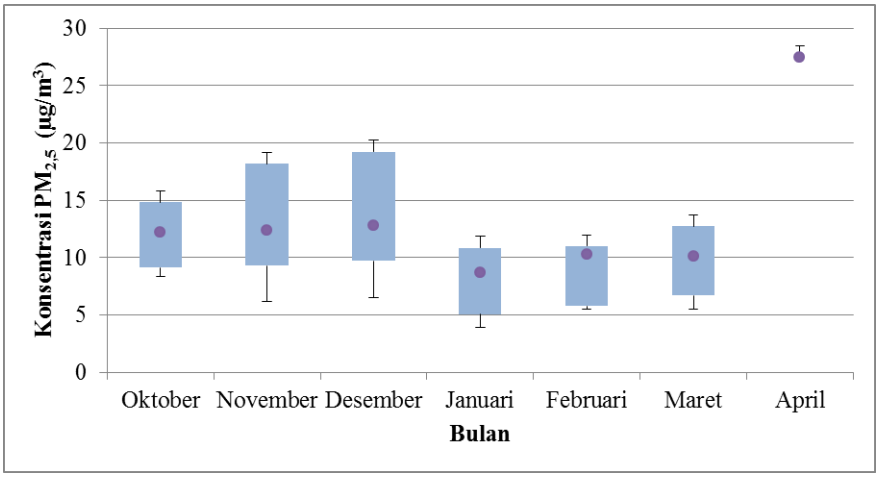
Gambar 4.3 Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Surabaya Barat

Pada waktu pengambilan sampel hampir semua peningkatan dan penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$ juga diikuti oleh peningkatan serta penurunan konsentrasi PM_{10}seperti terlihat pada Gambar 4.3. Sebagai contoh, pada tanggal 2 November 2019, konsentrasi $PM_{2,5}$ meningkat menjadi 14,22 µg/m^3 dari minggu sebelumnya sebesar 9,88 µg/m^3. Untuk konsentrasi PM_{10} pada tanggal tersebut sebesar 28,05 µg/m^3, meningkat dari minggu sebelumnya sebesar 24,53 µg/m^3. Penurun konsentrasi dapat dilihat pada tanggal 8 Desember 2019, konsentrasi $PM_{2,5}$ menurun secara drastis dari minggu sebelumnya sebesar 19,15 µg/m^3menjadi 9,11 µg/m^3sedangkan konsentrasi PM_{10} menurun menjadi 21,83 µg/m^3dari minggu sebelumnya sebesar 43,86 µg/m^3. Peningkatan maupun penurunan konsentrasi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti aktifitas di sekitar dan kondisi meteorologi.

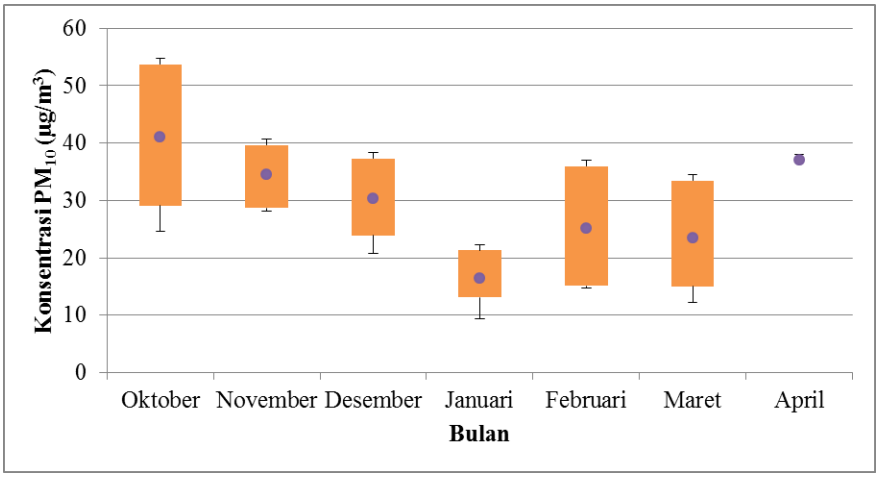
Konsentrasi harian $PM_{2,5}$ pada tanggal 6 April 2020 dan konsentrasi harian PM_{10} pada 21 Oktober 2019 memiliki konsentrasi lebih tinggi dibandingkan pada waktu lainnya. Pada tanggal tersebut cuaca di lokasi penelitian sedang cerah terutama saat bulan Oktober 2019 karena masih dalam musim kemarau, selain itu kecepatan angin juga relatif tenang pada rentang 0,5-2,1 m/s dan arah angin berasal dari arah barat dan barat laut, dari arah tersebut terdapat aktifitas seperti lalu lintas dan juga pembangunan jalan tol. Potensi penyebab tingginya konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} pada waktu tersebut dapat berasal dari aktifitas tersebut. Pada saat tersebut kecepatan angin diketahui relatif tenang sehingga partikulat tidak dapat menyebar. Saat kecepatan angin tinggi partikulat dapat menyebar sehingga konsentrasinya menurun sedangkan saat kecepatan angin relatif tenang partikulat tidak dapat menyebar dan menyebabkan tingginya konsentrasi partikulat pada lokasi tersebut. Selain itu konsentrasi partikulat yang tinggi dapat disebabkan oleh intensitas atau lama penyinaran matahari. Menurut Cahyadi *et al*. (2016), intensitas penyinaran matahari yang tinggi menyebabkan konsentrasi polutan meningkat, karena lingkungan panas dan kering menyebabkan polutan terangkat dan melayang di udara, lama penyinaran matahari pada 21 Oktober 2019 menurut BMKG

tercatat selama 8,6 jam dengan rata-rata lama penyinaran pada bulan Oktober 2019 selama 9 jam.

Pada 1 Januari 2020, konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} memiliki konsentrasi paling rendah jika dibandingkan dengan waktu yang lainnya. Pada tanggal 31 Desember 2019 dan pada tanggal 1 Januari 2020 cuaca tercatat sedang hujan. Data dari BMKG Stasiun Meteorologi Perak 1 Kota Surabaya mencatat pada tanggal 31 Desember 2019 turun hujan dengan intensitas 1,5 mm. Cuaca yang cenderung hujan menyebabkan konsentrasi partikulat menjadi lebih rendah karena partikulat di udara terikat oleh air hujan sehingga membuat konsentrasi pada 1 Januari 2020 juga menjadi lebih rendah. Konsentrasi tersebut menurun juga dapat disebabkan karena lalu lintas berkurang karena merupakan hari libur.



Gambar 4.4 Konsentrasi $PM_{2,5}$Tiap Bulan



Gambar 4.5 Konsentrasi PM_{10} Tiap Bulan

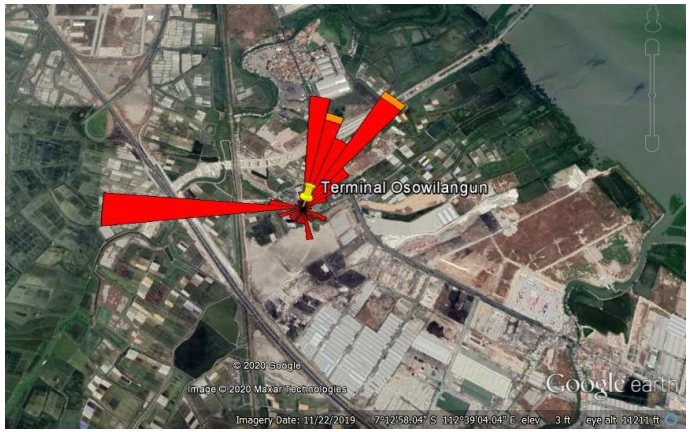
Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat bahwa rata-rata konsentrasi pada bulan Oktober-Desember lebih tinggi dibandingkan pada bulan Januari-Maret. Hal tersebut disebabkan karena bulan Oktober-Desember 2019 masih dalam musim kemarau, sedangkan saat bulan Januari-April 2020 telah memasuki musim hujan. Saat musim kemarau penguapan akan semakin tinggi sehingga konsentrasi partikulatyang didapatkan lebih tinggi karena tidak ada butiran air yang terperangkap di dalam partikulat. Sedangkan saat musim hujan, partikulat akan terperangkap pada butiran air hujan sehingga konsentrasinya menjadi lebih rendah (Ahmad dan Santoso, 2016).

Menurut data curah hujan harian dari BMKG Stasiun Meteorologi Perak I Surabaya, pada bulan Oktober hingga bulan Desember 2019 curah hujan di Kota Surabaya masih rendah.Rata-rata curah hujan pada bulan Oktober-Desember 2019 sebesar 0 mm, 0,6 mm dan 2,5 mm. Sedangkan pada bulan Januari hingga April 2020 memiliki curah hujan lebih tinggi, yaitu sebesar 8,3 mm, 20,0 mm, 14,2 mm, dan 18,1 mm.

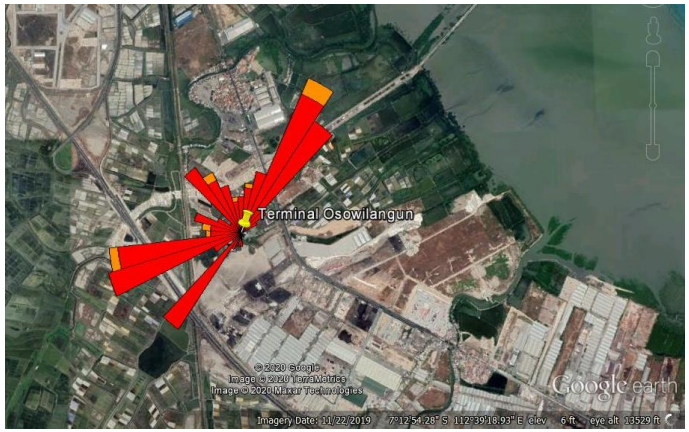
Konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} juga dapat dipengaruhi oleh aktifitas di sekitar lokasi penelitian. Di Surabaya Barat banyak dilalui oleh kendaraan pengangkut barang dari kawasan pergudangan, selain itu juga banyak transportasi publik seperti bus maupun kendaraan pribadi. Pada bulan Maret 2020 konsentrasi $PM_{2,5}$ maupun PM_{10} terlihat rendah dapat juga disebabkan karena emisi dari kendaraan berkurang akibat adanya pandemi Covid-19. Pada bulan Maret 2020 telah ada sebagian kantor maupun sekolah yang melakukan *Work From Home* (WFH) sehingga aktifitas lalu lintas berkurang.

Aktifitas lalu lintas yang tinggi dapat mempengaruhi konsentrasi $PM_{2,5}$ maupun PM_{10}, konsentrasi PM_{10} saat lalu lintas padat memiliki konsentrasi tertinggi dibandingkan dengan lalu lintas saat sedang maupun rendah. Dalam penelitian di Beijing konsentrasi $PM_{2,5}$pada sekitar jalan utama yang terdapat aktifitas lalu lintas dan konstruksi ditemukan cukup tinggi yaitu sebesar 62,16±39.37 $\mu g/m^3$(Elhadi *et al*., 2017; Gao *et al*., 2016).Selain dari adanya aktifitas dan cuaca, konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10} dapat juga dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin.

Dari hasil pengamatan (Gambar 4.6-Gambar 4.11), arah angin dominan pada bulan Oktober-Desember relatif sama, yaitu dari arah timur laut dan barat sedangkan pada bulan Januari hingga Februari arah angin lebih banyak dari arah barat. Pada bulan Maret arah angin berasal dari timur laut dan barat laut sedangkan pada bulan April arah angin berasal dari barat laut dan barat daya. Dari arah-arah yang tersebut diketahui terdapat beberapa aktifitas industri, pergudangan, pembangunan jalan dan juga lalu lintas yang cukup padat, seperti dalam beberapa penelitian sebelum ini yang menyatakan bahwa konsentrasi $PM_{2,5}$di lokasi industri memiliki konsentrasi lebih tinggi dan bahan bakar fosil merupakan sumber utama PM di Dhaka, Bangladesh(Merétei *et al*., 2017;Salam *et al*., 2008).Oleh karena itu konsentrasi PM2,5 maupun PM10 di lokasi penelitian dapat dipengaruhi oleh adanya beberapa aktifitas tersebut. Data konsentrasi $PM_{2,5}$ dan PM_{10}dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 4.6Arah Angin Bulan Oktober 2019



Gambar 4.7Arah Angin Bulan November 2019

Gambar 4.8Arah Angin Bulan Desember 2019

Gambar 4.9Arah Angin Bulan Januari 2020

Gambar 4.10Arah Angin Bulan Februari 2020

Gambar 4.11Arah Angin Bulan Maret 2020

Gambar 4.12Arah Angin Bulan April 2020

4.2 Identifikasi Unsur Pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan XRF sampel partikulat yang diambil di Surabaya Barat pada bulan Oktober 2019-April 2020 mengandung 18 unsur termasuk unsur logam yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 4.1, unsur yang terkandung pada $PM_{2,5}$ maupun $PM_{2,5-10}$ adalah Na, Mg, Al, Si, S, K, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br dan Pb. Langkah pengukuran komposisi unsur logam yang terkandung dalam partikulat ini merupakan faktor penting untuk mengidentifikasi kemungkinan sumber pencemar sehingga dapat digunakan untuk manajemen kualitas udara. Parameter kualitas udara untuk logam berat, seperti Mn, Ni, dan Pb terdapat pada beberapa peraturan seperti tercantum pada Tabel 2.4-Tabel 2.9.

Tabel 4.1 Konsentrasi Unsur yang Teridentifikasi pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$

Unsur	$PM_{2,5}$ (ng/m^3)		$PM_{2,5-10}$ (ng/m^3)	
	Mean	Std.Dev	Mean	Std.Dev
Na	165.0	93.7	237.6	130.7
Mg	45.0	29.0	143.2	91.4
Al	47.7	59.6	259.5	201.3
Si	153.5	138.4	719.4	524.6
S	685.5	344.0	232.5	119.7
Cl	8.9	10.2	341.3	217.5
K	144.1	82.3	128.4	80.1
Ca	89.1	89.5	705.9	495.8
Ti	4.6	3.9	26.5	17.4
V	0.6	0.6	1.1	0.9
Cr	0.4	0.4	0.8	0.7
Mn	3.9	3.3	9.8	7.2
Fe	90.5	71.7	432.7	298.1
Ni	0.5	0.4	0.5	0.5
Cu	1.6	1.3	2.6	1.9
Zn	63.9	82.4	82.9	100.0
Br	3.2	3.1	3.2	2.4
Pb	17.0	28.0	10.7	20.3

Kualitas baku mutu unsur Mn oleh WHO sebesar 0,018 µg/m^3 dengan pengukuran 24 jam, sedangkan menurut *Ontario Ministry of the Environment Ambient Air Quality Criteria/ Texas Commission on Environment Quality*(OAQC/TCEQ) kualitas baku mutu konsentrasi Mn dengan pengukuran 24 jam sebesar 2,5 µg/m^3. Rata-rata konsentrasi unsur Mn di Surabaya Barat pada Oktober 2019-April 2020 sebesar 0,0039 µg/m^3 dan 0,0098 µg/m^3untuk $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. Bila dibandingkan dengan baku mutu dari WHO maupun dari OAQC/TCEQ, kualitas unsur Mn di Surabaya pada bulan tersebut masih memenuhi kualitas. Namun, konsentrasi unsur Mn ini perlu diperhatikan sebab pajanan dari Mn ini dapat menganggu sistem saraf dengan gejala yang ditimbulkan adalah alergi, peningkatan tonus otot, tremor, gangguan mental, hingga kematian (WHO, 2007).

Konsentrasi rata-rata unsur Ni pada sampel $PM_{2,5}$ maupun $PM_{2,5-10}$ sebesar 0,00053 µg/m^3 dan 0,00048 µg/m^3, sedangkan konsentrasi Ni menurut kualitas baku mutu oleh C dengan pengukuran 24 jam adalah sebesar 2 µg/m^3. Konsentrasi unsur Ni yang ditemukan di Surabaya Barat pada waktu penelitian masih memenuhi kualitas baku mutu dari OAQC/TCEQ. Adanya unsur logam terkandung Ni dalam partikulat ini perlu diperhatikan meskipun dari hasil penelitian konsentrasinya masih rendah. Pajanan Ni dapat menyebabkan gangguan pada sistem endokrin dan unsur Ni dikenal sebagai unsur yang karsinogen, di Delhi, India risiko kematian akibat kanker salah satunya disebabkan karena adanya pajanan dari Ni. (WHO, 2007; Khillare dan Sarkar, 2012).

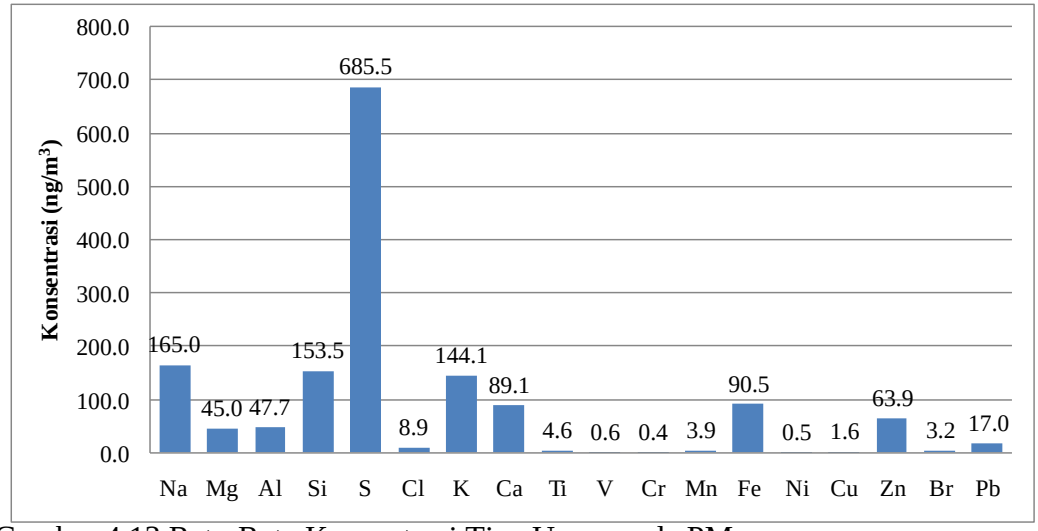
Unsur Pb diketahui memiliki konsentrasi rata-rata sebesar 0,017 µg/m^3 pada sampel $PM_{2,5}$ dan 0,011 µg/m^3pada sampel $PM_{2,5-10}$, Di Indonesia, unsur Pb ini telah diatur dalam PP No.41 Tahun 1999 dengan kualitas baku mutu pengukuran 24 jam sebesar 2 µg/m^3. Kualitas baku mutu unsur Pb juga telah diatur dalam peraturan lain seperti OAQC/TCEQ dan United State-EPA (NA AQS) dengan pengukuran kualitas baku mutu pada OAQC/TCEQ selama 24 jam dan United State-EPA (NA AQS) selama tiga (3) bulan.Jika dibandingkan dengan kualitas baku mutu dari OAQC/TCEQ maupun United State-EPA (NA AQS)maka konsentrasi unsur Pb di Surabaya Barat masih memenuhi kualitas baku mutu tersebut.Unsur Pb merupakan unsur logam berat yang perlu untuk

diwaspadai terutama pada anak-anak sebab memiliki sifat karsinogen, seperti yang ditemukan pada Delhi, India, risiko kematian pada anak-anak ini tinggi karena adanya kandungan Pb dalam darah, unsur Pb ini merupakan peran penting pada toksisitas miokardial (Khillare dan Sarkar, 2012; Zhang *et al*., 2016).

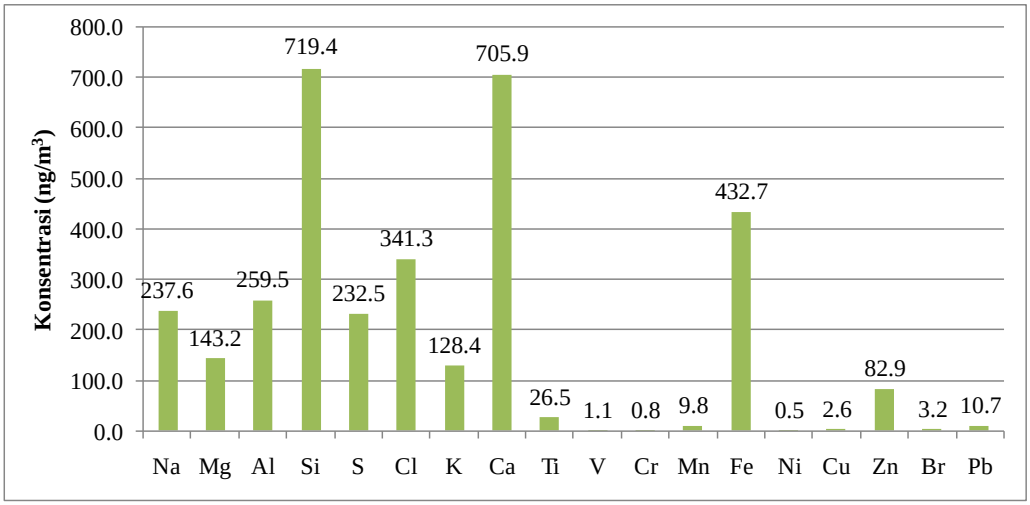
Dari grafik pada Gambar 4.13 terlihat bahwa konsentrasi unsur yang teridentifikasi dari konsentrasi tinggi ke rendah adalah S, Na, Si, K, Fe, Ca, Zn, Al, Mg, Pb, Cl, Ti, Mn, Br, Cu, V, Ni dan Cr.Konsentrasi tertinggi pada sampel $PM_{2,5}$ adalah unsur S dengan konsentrasi rata-rata sebesar 685,5 ng/m^3. Selain unsur S, pada sampel $PM_{2,5}$ juga teridentifikasi unsur lain yang juga memiliki konsentrasi cukup tinggi, unsur tersebut adalah Na dan Si dengan konsentrasi rata-rata 165 dan 153 ng/m^3.Konsentrasi tertinggi pada unsur S terjadi pada tanggal 19 Januari 2020 sebesar 1655 ng/m^3, pada saat tersebut arah angin berasal dari barat dan barat laut dengan kecepatan rata-rata 0,5-2,1 m/s. Konsentrasi tertinggi untuk unsur Na terjadi pada 25 Maret 2020 dengan konsentrasi sebesar 432,6 ng/m^3. Pada tanggal tersebut arah angin berasal dari timur laut dengan kecepatan antara 0,5-5,7 m/s. Sedangkan konsentrasi Si tertinggi sebesar 700,1 ng/m^3terjadi pada 21 Oktober 2019, pada saat tersebut kecepatan angin relatif tenang sebesar 0,5-2,1 m/s dari arah barat. Tingginya konsentrasi sulfur (S) dapat disebabkan oleh kendaraan, unsur Si dapat berasal dari debu jalan, yang ada di bagian barat dari lokasi penelitian,sedangkan unsur Na merupakan karakteristik dari garam laut (Ahmad dan Santoso, 2016; Santoso *et al*., 2008), dari pengamatan di sekitar lokasi dari arah utara timur laut hingga tenggara terdapat laut yang berpotensi menjadi kontributor untuk unsur Na.

Pada sampel $PM_{2,5-10}$(Gambar 4.14), unsur yang teridentifikasi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah adalah Si, Ca, Fe, Cl, Al, Na, S, Mg, K, Zn, Ti, Pb, Mn, Br, Cu, V, Cr dan Ni. Tiga (3) unsur yang memiliki konsentrasi tertinggi adalah unsur Si, Ca, dan Fe dengan konsentrasi rata-rata sebesar 719,4 ng/m^3, 705,9 ng/m^3 dan 432,67 ng/m^3. Ketiga konsentrasi tersebut memiliki konsentrasi tertinggi pada 21 Oktober 2019, pada saat tersebut arah angin berasal dari barat dengan kecepatan relatif tenang sekitar 0,5-2,1 m/s. Pada saat tersebut juga diketahui bahwa konsentrasi partikulat kasar juga memiliki konsentrasi tertinggi, yaitu sebesar 46,52 µg/m^3, tingginya konsentrasi unsur Si, Ca, dan

Feinidapat disebabkan oleh kegiatan konstruksi/semen maupun dari debu tanah dan jalan atau lalu lintas, bila dilihat dari kondisi lingkungan sekitar lokasi penelitian dari arah barat terdapat jalan tol serta pembangunan jalan tol sehingga sumber tersebut dapat menjadi potensi tingginya konsentrasi unsur Si, Ca dan Fe di sekitar lokasi penelitian.



Gambar 4.13 Rata-Rata Konsentrasi Tiap Unsur pada $PM_{2,5}$



Gambar 4.14 Rata-Rata Konsentrasi Tiap Unsur pada $PM_{2,5-10}$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Surabaya Barat pada bulan Oktober 2019-April 2020 pada sampel $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ terdapat unsur-unsur yang memiliki konsentrasi lebih tinggi dibandingkan unsur lainnya, seperti unsur S, Si, Ca, Fe, Cl, dan Na. Hal tersebut juga disebutkan dalam penelitian Mukhtar *et al.*(2013) tentang kandungan logam berat dalam udara ambien di beberapa kota

teridentifikasi 15 unsur di udara ambien, yaitu Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb dengan konsentrasi unsur Mg, Si, Ca, dan Zn tertinggi terdapat di kota Surabaya. Unsur logam yang ditemukan pada sampel $PM_{2,5}$ maupun $PM_{2,5-10}$ di Surabaya Barat adalah Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Br dan Pb, hal tersebut juga dijelaskan dalam penelitian Police *et al*. (2016) yang menyatakan Karakteristik PM_{10} yang ditemukan pada daerah industri di pinggir pantai, Viskhapatnam, India adalah unsur-unsur kimia seperti Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd, Cl^-, F^-, NO^{3-} , SO_4^{2-}, Na^+, K^+, Mg^{2+} and Ca^{2+}.

Dari hasil identifikasi unsur di Surabaya Barat terdapat beberapa unsur yang memiliki korelasi kuat, korelasi yang kuat antar unsur tersebut dapat menunjukkan adanya persamaan sumber. Pada $PM_{2,5}$ unsur Al berkorelasi sangat kuat dengan unsur Si dengan nilai $R^2$0,933, selain itu juga berkorelasi kuat dengan Ca, Ti, Fe dengan nilai R^2 0,744, 0,735, dan 0,772, unsur tersebut menurut Jain *et al*. (2018) merupakan penanda dari debu tanah. Berdasarkan pengamatan dari utara barat laut hingga timur dan dari arah tenggara hingga selatan terdapat lahan kosong terbuka yang digunakan sebagai lahan untuk pembangunan jalan tol, selain itu Ca juga merupakan penanda dari adanya konstruksi, korelasi yang kuat antara unsur tersebut dapat menunjukkan potensi dari sumber pencemar dapat berasal dari debu tanah dan konstruksi. Unsur tersebut juga memiliki korelasi kuat pada $PM_{2,5-10}$. Pada $PM_{2,5-10}$ juga terdapat unsur S yang berkorelasi kuat dengan unsur Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, dan Mn. Unsur S merupakan penanda dari kendaraan sedangkan korelasi yang kuat antara S dengan unsur lain seperti Al, Si, Ti menunjukkan potensi sumber pencemar dari debu jalanan. Selain unsur Al, Si, Ti, Ca dan Fe yang memiliki korelasi kuat, unsur Zn dan Pb pada $PM_{2,5}$juga memiliki korelasi yang sangat kuat dengan nilai R^2 sebesar 0,855, menurut Mukhtar *et al*. (2013) Kota Surabaya memiliki konsentrasi Zn dan Pb tertinggi dibandingkan dengan kota lain. Hasil dari CPF menunjukkan konsentrasi Zn dan Pb berasal dari arah timur dan tenggara dimana dari hasil pengamatan di sekitar lokasi terdapat beberapa industri manufaktur yang berpotensi menjadi sumber pencemar dari unsur Zn dan Pb. Korelasi antar unsur dapat menjadi dasar dugaan awal potensi sumber pencemar. Korelasi antar unsur dapat dilihat pada Lampiran 5 dan Lampiran 6.

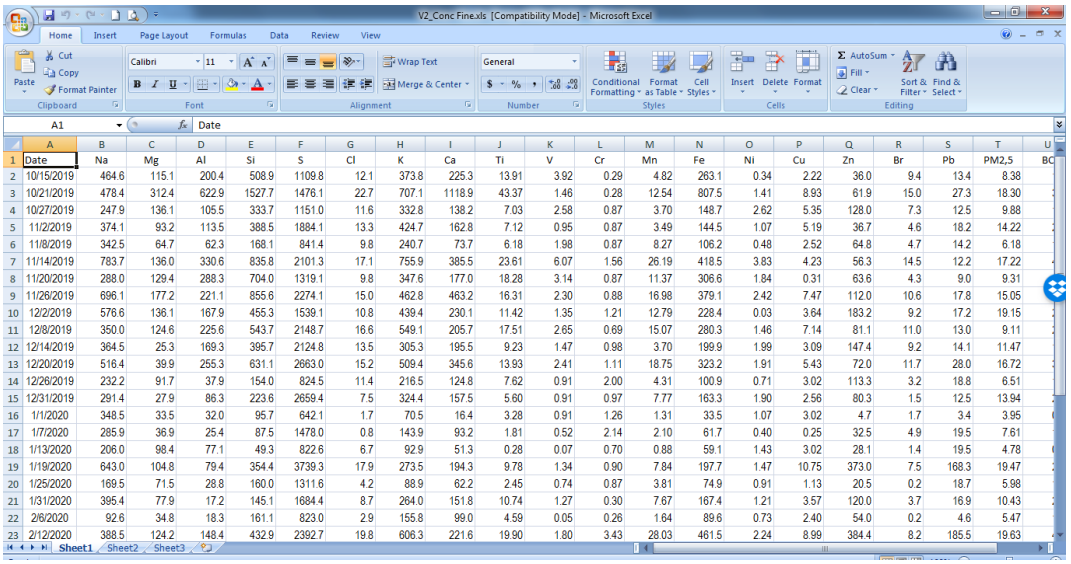
4.3 Identifikasi Sumber Pencemar Pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$

Identifikasi sumber pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ menggunakan *software* PMF 5.0, data yang perlu disiapkan adalah data konsentrasi unsur dan data nilai *uncertainty*. Konsentrasi tiap unsur didapatkan dari hasil analisis menggunakan XRF, pada setiap metode analitik terdapat estimasi error untuk setiap konsentrasi yang diukur, nilai tersebut dapat digunakan sebagai estimasi nilai *uncertainty* dan nilai *uncertainty*tiap unsur pada sampel dihitung dari perhitungan statistik dan kalibrasi instrumen.Salah satu keuntungan PMF adalah kemampuan dalam menangani nilai konsentrasi yang hilang atau tidak terdeteksi maupun data di bawah deteksi limit. Jika terdapat konsentrasi yang tidak terdeteksi pada suatu sampel makan nilai konsentrasinya diganti dengan rata-rata geometrik dari konsentrasi terukurdan nilai *uncertainty*nya dibuat 4 kali rata-rata geometrik.

Data konsentrasi dan nilai *uncertainty* tiap unsur yang tersusun pada matriks digunakan sebagai input PMF (Gambar 4.15 dan Gambar 4.16). Selanjutnya PMF dijalankan dengan mengasumsikan jumlah faktor hingga didapatkan hasil yang optimal dan dapat diinterpretasikan. Jumlah faktor dapat diasumsikan dengan melihat kondisi sekitar pada lokasi penelitian atau melihat data inventarisasi emisi (Wang *et al*, 2018). Model PMF merupakan perhitungan dengan menggunakan metode *least-square* dimana diperlukan asumsi jumlah faktor untuk menyelesaikan Persamaan 2.3 sehingga faktor kontribusi dan profil faktor dapat diketahui. Faktor kontribusi dan profil faktor berasal dari model PMF meminimisasi fungsi Q. Nilai Q pada Persamaan 2.3 didapatkan dengan melakukan percobaan menggunakan 5-8 faktor dan hasil yang dapat diinterpretasikan didapatkan dengan menggunakan 8 faktor untuk $PM_{2,5}$ dan 7 faktor untuk $PM_{2,5-10}$. Dari hasil tersebut didapatkan didapatkan *goodness of fit*atau kesesuaian model yang digambarkan dengan nilai r^2 sebesar 0,7 untuk $PM_{2,5}$ dan r^2 0,9 untuk $PM_{2,5-10}$(Gambar 4.17 dan Gambar 4.18). Nilai r^2 tersebut menunjukkan korelasi antara konsentrasi $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ yang diamati dengan prediksi konsentrasi $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. Kedua nilai r^2 yang didapatkan menunjukkan

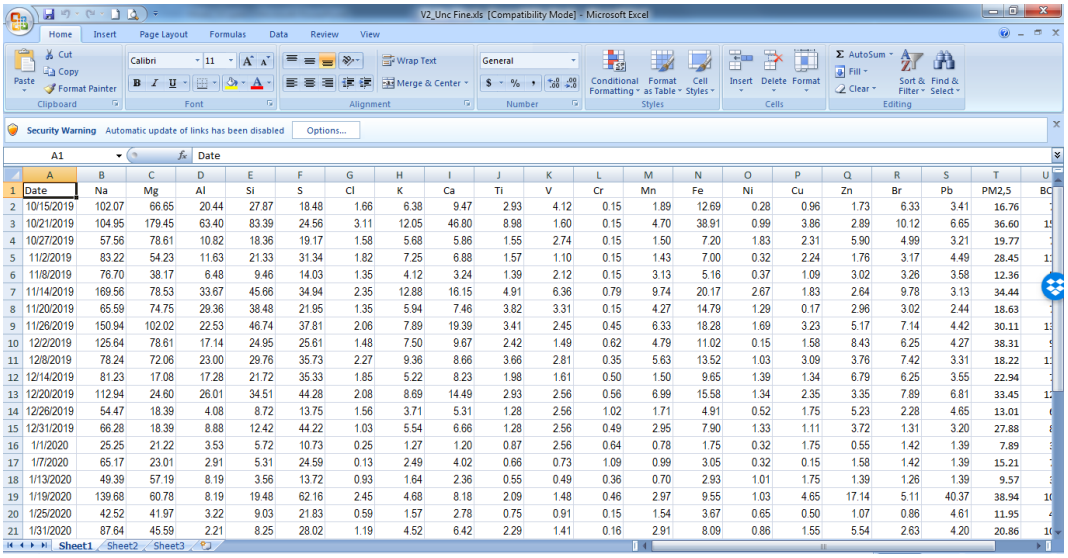
bahwa data konsentrasi dari $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ telah dimodelkan oleh PMF dengan layak atau tepat.

Keluaran dari PMF ini adalah profil faktor (F) serta kontribusi sumber (G), dimana profil faktor ini perlu diinterpretasikan untuk mengetahui potensi sumber pencemar. Profil faktor ditampilkan dalam bentuk grafik batang dimana konsentrasi pada tiap spesies ditunjukkan dengan grafik batang berwarna biru dan persen spesies pada tiap faktor ditunjukkan dengan kotak berwarna merah dimana konsentrasi spesies menunjukkan konsentrasi tiap spesies pada suatu faktor dan persen spesies digunakan untuk mengetahui potensi sumber pencemar. Sebagai contoh pada Faktor 8 pada identifikasi potensi sumber pencemar $PM_{2,5}$ unsur Pb terlihat dominan sebesar 57% dibandingkan dengan total Pb yang ada, sehingga sebanyak 57% Pb terdapat pada faktor tersebut. Sedangkan pada identifikasi sumber pencemar PM2,5-10 pada Faktor 4 kontribusi dari unsur Zn hampir 70% terdapat pada faktor ini sedangkan pada Faktor 7 unsur Na dan Cl berkontribusi sekitar 50%. Kontribusi sumber digambarkan dalam diagram pai dimana menampilkan persen distribusi kontribusi sumber tiap faktor pada total massa $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. Kontribusi sumber ini digunakan untuk menentukan berapa banyak kontribusi masing-masing sumber pada sampel. Nilai dari kontribusi sumber pada tiap faktor selanjutnyadigunakan sebagai salah satu datauntuk mengestimasikan lokasi potensi sumber pencemar dengan menggunakan CPF. Dalam penelitian ini data hanya didapatkan sebanyak 32 sampel, oleh sebab itu hasil dari analisis PMF pada penelitian ini hanya merupakan *pre-liminary* dari potensi sumber pencemar yang ada di Surabaya Barat.



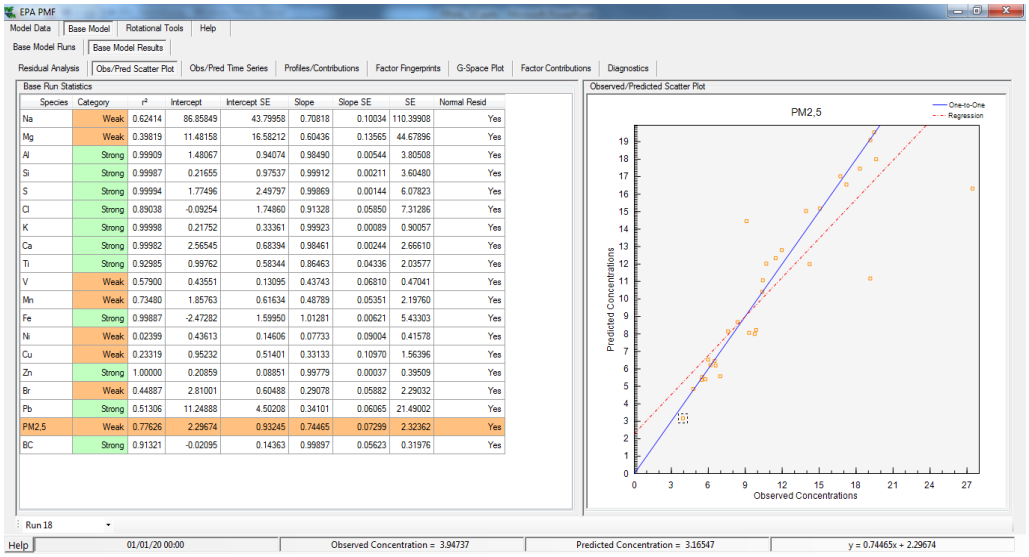
Date	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb	PM2,5	BC
10/15/2019	464.6	115.1	200.4	508.9	1109.8	12.1	373.8	225.3	13.91	3.92	0.29	4.82	263.1	0.34	2.22	36.0	9.4	13.4	8.38	
10/21/2019	478.4	312.4	622.9	1527.7	1476.1	22.7	707.1	1118.9	43.37	1.46	0.28	12.54	807.5	1.41	8.93	61.9	15.0	27.3	18.30	
10/27/2019	247.9	136.1	105.5	333.7	1151.0	11.6	332.8	138.2	7.03	2.58	0.87	3.70	148.7	2.62	5.35	128.0	7.3	12.5	9.88	
11/2/2019	374.1	93.2	113.5	388.5	1884.1	13.3	424.7	162.8	7.12	0.95	0.87	3.49	144.5	1.07	5.19	36.7	4.6	18.2	14.22	
11/8/2019	342.5	64.7	62.3	168.1	841.4	9.8	240.7	73.7	6.18	1.98	0.87	8.27	106.2	0.48	2.52	64.8	4.7	14.2	6.18	
11/14/2019	783.7	136.0	330.6	835.8	2101.3	17.1	755.9	385.5	23.61	6.07	1.56	26.19	418.5	3.83	4.23	56.3	14.5	12.2	17.22	
11/20/2019	288.0	129.4	288.3	704.0	1319.1	9.8	347.6	177.0	18.28	3.14	0.87	11.37	306.6	1.84	0.31	63.6	4.3	9.0	9.31	
11/26/2019	696.1	177.2	221.1	855.6	2274.1	15.0	462.8	463.2	16.31	2.30	0.88	16.98	379.1	2.42	7.47	112.0	10.6	17.8	15.05	
12/2/2019	576.6	136.1	167.9	455.3	1539.1	10.8	439.4	230.1	11.42	1.35	1.21	12.79	228.4	0.03	3.64	183.2	9.2	17.2	19.15	
12/8/2019	350.0	124.6	225.6	543.7	2148.7	16.6	549.1	205.7	17.51	2.65	0.69	15.07	280.3	1.46	7.14	81.1	11.0	13.0	9.11	
12/14/2019	364.5	25.3	169.3	395.7	2124.8	13.5	305.3	195.5	9.23	1.47	0.98	3.70	199.9	1.99	3.09	147.4	9.2	14.1	11.47	
12/20/2019	516.4	39.9	255.3	631.1	2663.0	15.2	509.4	345.6	13.93	2.41	1.11	18.75	323.2	1.91	5.43	72.0	11.7	28.0	16.72	
12/26/2019	232.2	91.7	37.9	154.0	824.5	11.4	216.5	124.8	7.62	0.91	2.00	4.31	100.9	0.71	3.02	113.3	3.2	18.8	6.51	
12/31/2019	291.4	27.9	86.3	223.6	2659.4	7.5	324.4	157.5	5.60	0.91	0.97	7.77	163.3	1.90	2.56	80.3	1.5	12.5	13.94	
1/1/2020	348.5	33.5	32.0	95.7	642.1	1.7	70.5	16.4	3.28	0.91	1.26	1.31	33.5	1.07	3.02	4.7	1.7	3.4	3.95	
1/7/2020	285.9	36.9	25.4	87.5	1478.0	0.8	143.9	93.2	1.81	0.52	2.14	2.10	61.7	0.40	0.25	32.5	4.9	19.5	7.61	
1/13/2020	206.0	98.4	77.1	49.3	822.6	6.7	92.9	51.3	0.28	0.07	0.70	0.88	59.1	1.43	3.02	28.1	1.4	19.5	4.78	
1/19/2020	643.0	104.8	79.4	354.4	3739.3	17.9	273.5	194.3	9.78	1.34	0.90	7.84	197.7	1.47	10.75	373.0	7.5	168.3	19.47	
1/25/2020	169.5	71.5	28.8	160.0	1311.6	4.2	88.9	62.2	2.45	0.74	0.87	3.81	74.9	0.91	1.13	20.5	0.2	18.7	5.98	
1/31/2020	395.4	77.9	17.2	145.1	1684.4	8.7	264.0	151.8	10.74	1.27	0.30	7.67	167.4	1.21	3.57	120.0	3.7	16.9	10.43	
2/6/2020	92.6	34.8	18.3	161.1	823.0	2.9	155.8	99.0	4.59	0.05	0.26	1.64	89.6	0.73	2.40	54.0	0.2	4.6	5.47	
2/12/2020	388.5	124.2	148.4	432.9	2392.7	19.8	606.3	221.6	19.90	1.80	3.43	28.03	461.5	2.24	8.99	384.4	8.2	185.5	19.63	

Gambar 4.15 Matriks Konsentrasi Tiap Unsur

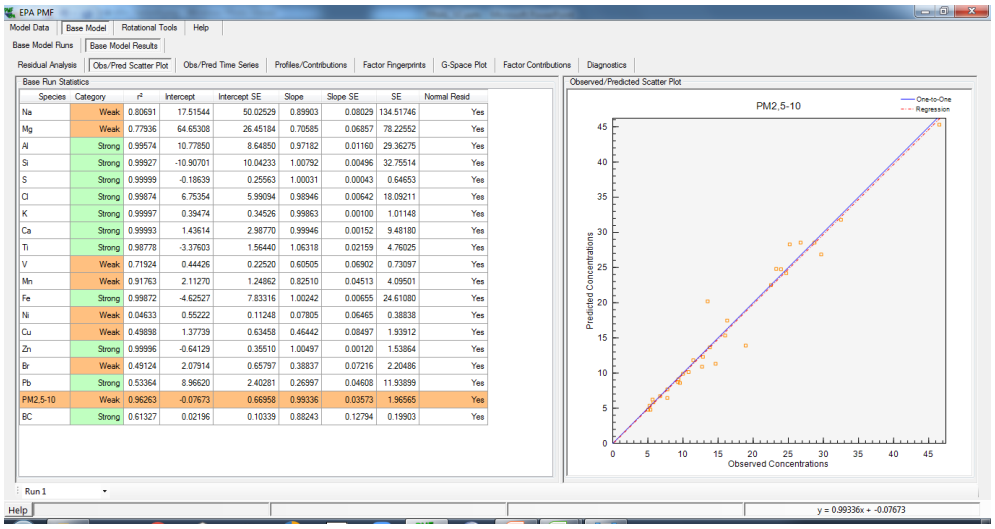


Date	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb	PM2,5	BC
10/15/2019	102.07	66.65	20.44	27.87	18.48	1.66	6.38	9.47	2.93	4.12	0.15	1.89	12.69	0.28	0.96	1.73	6.33	3.41	16.76	
10/21/2019	104.95	179.45	63.40	83.39	24.56	3.11	12.05	46.80	8.98	1.60	0.15	4.70	38.91	0.99	3.86	2.89	10.12	6.65	36.60	
10/27/2019	57.56	78.61	10.82	18.36	19.17	1.58	5.68	5.86	1.55	2.74	0.15	1.50	7.20	1.83	2.31	5.90	4.99	3.21	19.77	
11/2/2019	83.22	54.23	11.63	21.33	31.34	1.82	7.25	6.88	1.57	1.10	0.15	1.43	7.00	0.32	2.24	1.76	3.17	4.49	28.45	
11/8/2019	76.70	38.17	6.48	9.46	14.03	1.35	4.12	3.24	1.39	2.12	0.15	3.13	5.16	0.37	1.09	3.02	3.26	3.58	12.36	
11/14/2019	169.56	78.53	33.67	45.66	34.94	2.35	12.88	16.15	4.91	6.36	0.79	9.74	20.17	2.67	1.83	2.64	9.78	3.13	34.44	
11/20/2019	65.59	74.75	29.36	38.48	21.95	1.35	5.94	7.46	3.82	3.31	0.15	4.27	14.79	1.29	0.17	2.96	3.02	2.44	18.63	
11/26/2019	150.94	102.02	22.53	46.74	37.81	2.06	7.89	19.39	3.41	2.45	0.45	6.33	18.28	1.69	3.23	5.17	7.14	4.42	30.11	
12/2/2019	125.64	78.61	17.14	24.95	25.61	1.48	7.50	9.67	2.42	1.49	0.62	4.79	11.02	0.15	1.58	8.43	6.25	4.27	38.31	
12/8/2019	78.24	72.06	23.00	29.76	35.73	2.27	9.36	8.66	3.66	2.81	0.35	5.63	13.52	1.03	3.09	3.76	7.42	3.31	18.22	
12/14/2019	81.23	17.08	17.28	21.72	35.33	1.85	5.22	8.23	1.98	1.61	0.50	1.50	9.65	1.39	1.34	6.79	6.25	3.55	22.94	
12/20/2019	112.94	24.60	26.01	34.51	44.28	2.08	8.69	14.49	2.93	2.56	0.56	6.99	15.58	1.34	2.35	3.35	7.89	6.81	33.45	
12/26/2019	54.47	18.39	4.08	8.72	13.75	1.56	3.71	5.31	1.28	2.56	1.02	1.71	4.91	0.52	1.75	5.23	2.28	4.65	13.01	
12/31/2019	66.28	18.39	8.88	12.42	44.22	1.03	5.54	6.66	1.28	2.56	0.49	2.95	7.90	1.33	1.11	3.72	1.31	3.20	27.88	
1/1/2020	25.25	21.22	3.53	5.72	10.73	0.25	1.27	1.20	0.87	2.56	0.64	0.78	1.75	0.32	1.75	0.55	1.42	1.39	7.89	
1/7/2020	65.17	23.01	2.91	5.31	24.59	0.13	2.49	4.02	0.66	0.73	1.09	0.99	3.05	0.32	0.15	1.58	1.42	1.39	15.21	
1/13/2020	49.39	57.19	8.19	3.56	13.72	0.93	1.64	2.36	0.55	0.49	0.36	0.70	2.93	1.01	1.75	1.39	1.26	1.39	9.57	
1/19/2020	139.68	60.78	8.19	19.48	62.16	2.45	4.68	8.18	2.09	1.48	0.46	2.97	9.55	1.03	4.65	17.14	5.11	40.37	38.94	
1/25/2020	42.52	41.97	3.22	9.03	21.83	0.59	1.57	2.78	0.75	0.91	0.15	1.54	3.67	0.65	0.50	1.07	0.86	4.61	11.95	
1/31/2020	87.64	45.59	2.21	8.25	28.02	1.19	4.52	6.42	2.29	1.41	0.16	2.91	8.09	0.86	1.55	5.54	2.63	4.20	20.86	

Gambar 4.16 Matriks Uncertainty Tiap Unsur



Gambar 4.17 Regresi Antara Konsentrasi $PM_{2,5}$ yang Diamati dengan Konsentrasi Prediksi



Gambar 4.18Regresi Antara Konsentrasi $PM_{2,5\text{-}10}$ yang Diamati dengan Konsentrasi Prediksi

4.3.1 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5}$

Pada $PM_{2,5}$ teridentifikasi delapan (8) faktor potensi sumber pencemar, faktor pertama dimungkinkan berasal dari campuran kegiatan industri yang menggunakan Cu dan pembakaran biomassa yang ditandai dengan unsur Cu, Mg dan K. Di sekitar lokasi terdapat industri pembuatan plat tembaga yang dimungkinkan berkontribusi terhadap unsur Cu pada faktor ini. Sedangkan unsur K dapat berasal dari pembakaran biomassa. Dari pengamatan di sekitar

lokasi terdapat industri pembuatan arang maupun pembakaran sampah yang dilakukan oleh masyrakat di sekitar lokasi yang dimungkinkan menjadi kontributor pada faktor ini. Penelitian oleh Santoso *et al*. (2008) yang menyatakan bahwa pembakaran biomassa menghasilkan emisi yang mengandung unsur K pada udara di sekitar kawasan industri. Faktor ini berkontribusi sebesar 24,1% pada $PM_{2,5}$.

Faktor kedua dengan kontribusi 11,4% dimungkinkan berasal dari industri logam yang menggunakan Ni karena kontribusi yang tinggi dari unsur Ni. Ni merupakan banyak digunakan pada industri logam sebagai bahan campuran pembuatan baja maupun dalam industri baterai. Di sekitar lokasi terdapat industri sejenis yang memungkinkan menjadi kontributor pada faktor ini.

Faktor ketiga dimungkinkan berasal dari industri logam non-ferrous maupun dari kendaraan yang disebabkan karena ban yang aus karena ditunjukkan adanya unsur Zn yang tinggi. Kontribusi sumber ini pada $PM_{2,5}$ sebesar 2,2% hal tersebut didukung oleh penelitian Ahmad dan Santoso (2016) yang menyatakan industri Zn di Kota Surabaya berkontribusi sebesar 2%.

Faktor keempatdengan kontribusi sebesar 33% ditandai dengan tingginya unsur S serta Na, unsur S di udara disebabkan karena konversi SO_2 menjadi sulfat melalui proses homogen, unsur S berasal dari emisi kendaraan diesel (Chueinta *et al.*, 2000; Begum *et al*., 2004).Kendaraan diesel banyak digunakan dalam kegiatan industri ataupun aktifitas pergudangan sebagai alat angkut barang-barang hasil industri maupun barang yang akan disimpan di dalam gudang.

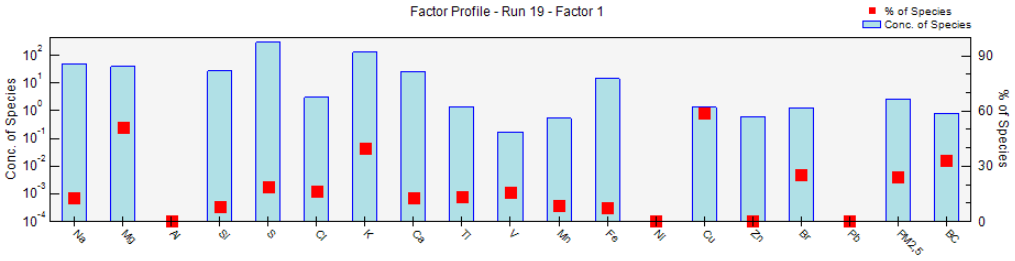
Faktor kelima ditandai dengan unsur Mn dan Fe serta Zn, Mn biasanya digunakan dalam industri baja serta produksi sel aki kering serta produksi kalium permanganat. Faktor ini berkontribusi sebesar 14,4%. Di sekitar lokasi terdapat industri-industri besi dan baja yang berpotensi menjadi kontributor pada faktor ini.

Faktor keenam dimungkinkan berasal dari kegiatan konstruksi karena memiliki konsentrasi Ca yang tinggi. Di sekitar lokasi teridentifikasi berbagai

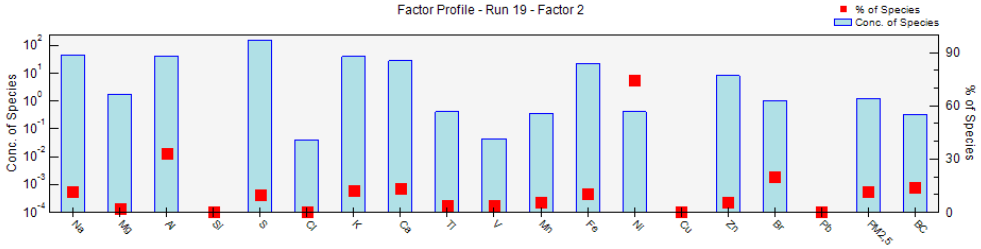
kegiatan konstruksi seperti perbaikan jalan maupun industri konstruksi. Faktor ini berkontribusi sebesar 7,9%.

Faktor ketujuh ditandai dengan tingginya konsentrasi Al, Si dan V dimungkinkan berasal dari debu tanah dan pembakaran minyak bumi atau emisi dari kapal. Faktor ini berkontribusi pada $PM_{2,5}$ sebesar sebesar 3,2%. Unsur-unsur tersebut menjadi penanda untuk sumber pencemar debu tanah, seperti dalam penelitian yang menyatakan unsur penanda dari debu tanah adalah Al, Si dan Ca, selain itu juga terdapat unsur Fe, Ti dan Mn. Konsentrasi unsur tersebut akan tinggi saat musim kemarau dibandingkan dengan saat musim hujan (Santoso *et al*., 2008; Lestiani *et al*., 2014). Menurut penelitian (Pandolfi *et al*., 2011) dampak dari adanya emisi dari kapal yang ada di daerah perkotaan adalah polusi udara antropogenik. Unsur penanda dari emisi oleh kapal-kapal tersebut ditunjukkan oleh unsur V, Ni, La dan Ce.

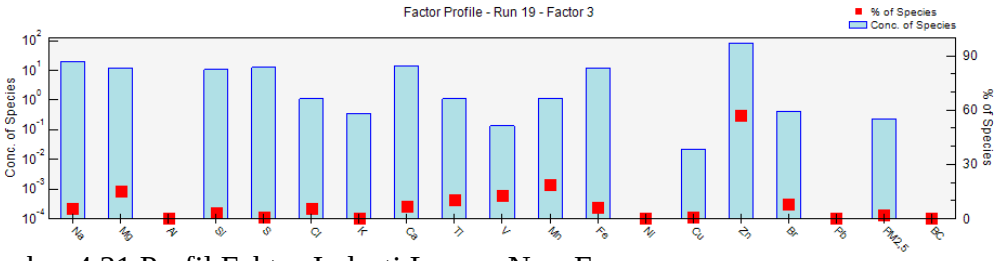
Faktor 8 dimungkinkan berasal dari industri timbal maupun dari kendaraan karena memiliki konsentrasi Pb yang tinggi. Emisi dari logam Pb ini juga dapat berasal dari pembakaran batubara atau dari industri yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Kontribusi faktor ini terhadap $PM_{2,5}$ sebesar 3,6%.



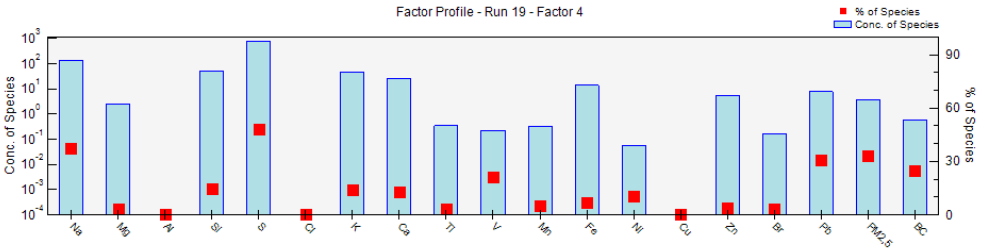
Gambar 4.19 Profil Faktor Industi Peleburan dan Pembakaran Biomassa



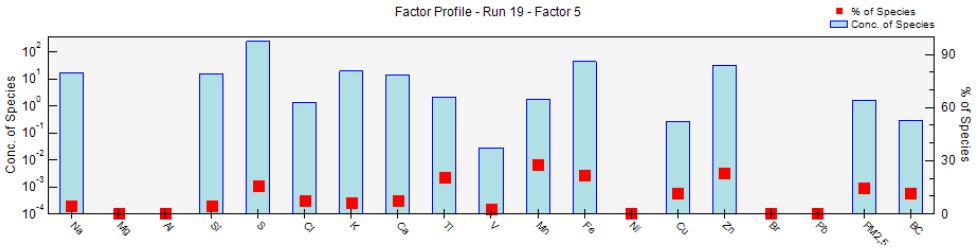
Gambar 4.20 Profil Faktor Industri Logam



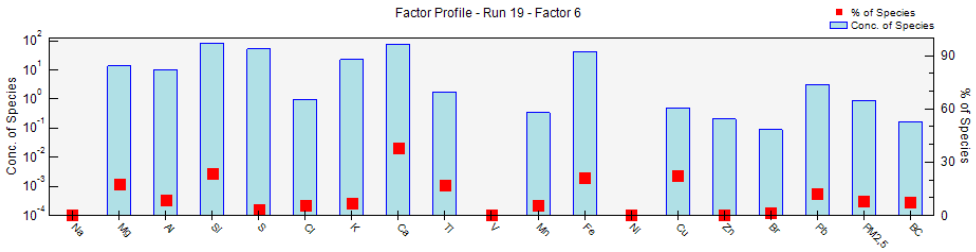
Gambar 4.21 Profil Faktor Industi Logam Non-Ferrous



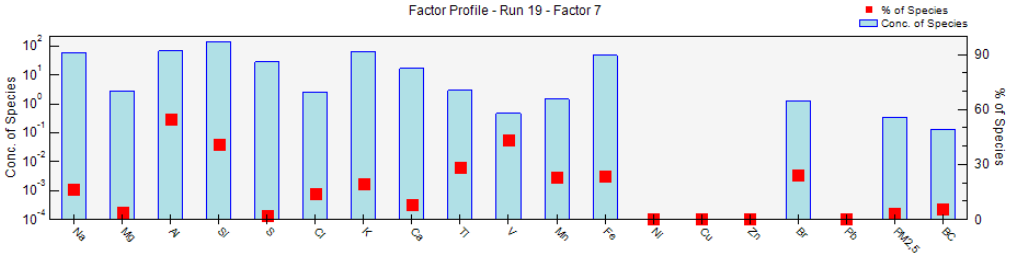
Gambar 4.22 Profil Faktor Transportasi



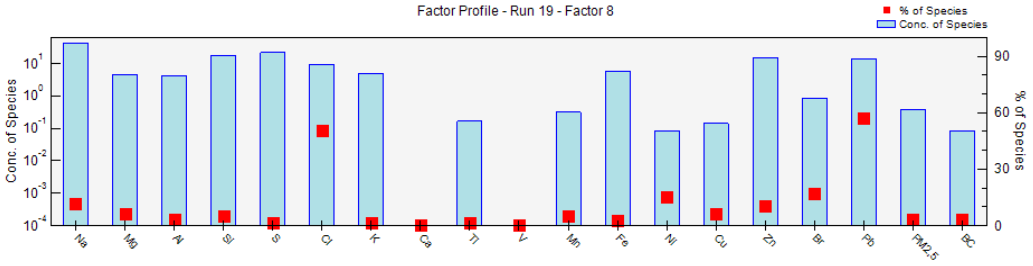
Gambar 4.23 Profil Faktor Industri Besi dan Baja



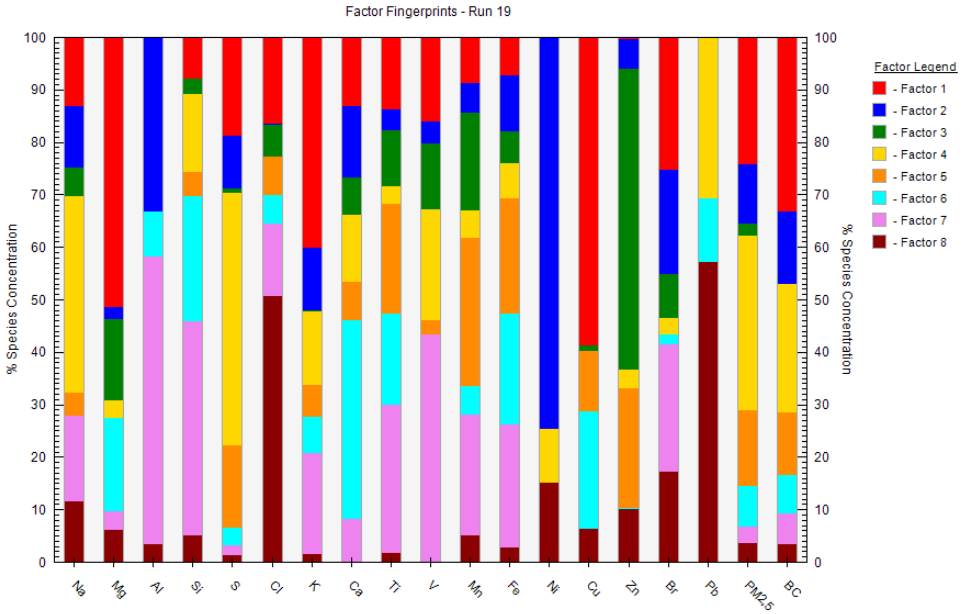
Gambar 4.24 Profil Faktor Konstruksi



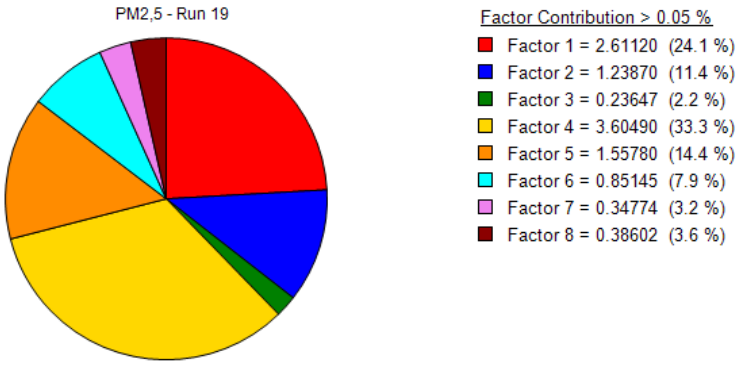
Gambar 4.25 Profil Faktor Debu tanah dan Aktifitas Pelabuhan



Gambar 4.26 Profil Faktor Peleburan Timbal



Gambar 4.27 Fingerprint Tiap Faktor dari $PM_{2,5}$



Gambar 4.28 Kontribusi Tiap Faktor Pada $PM_{2,5}$

4.3.2 Identifikasi Sumber Pencemar pada $PM_{2,5-10}$

Pada $PM_{2,5-10}$ teridentifikasi 7 faktor, faktor pertama dimungkinkan berasal dari kegiatan konstruksi karena memiliki konsentrasi Ca yang tinggi, unsur Mg, Ca merupakan penanda dari adanya kegiatan konstruksi (Santoso *et al*. 2008; Jain *et al*., 2018). Dalam penelitian yang dilakukan di Asia Tenggara oleh Khan *et al*. (2016), unsur Mg, dan Ca ini dalam dinyatakan sebagai unsur penanda dari mineral dust dan berkontribusi sebesar 8%. Dari pengamatan di lokasi penelitian, terdapat beberapa industri konstruksi, pembangunan jalan dan perbaikan jalan yang berpotensi menjadi sumber pencemar di Surabaya Barat, utamanya untuk Ca.

Faktor kedua dengan kontribusi sebesar 32% ditandai dengan unsur V, Al dan Si dimungkinkan berasal dari debu tanah dan aktifitas dari pelabuhan. Menurut Mukhtar *et al*., (2013), unsur Al dapat berasal dari kegiatan pembukaan lahan baru, di sekitar lokasi penelitian terdapat pembangunan jalan tol yang dimungkinkan menjadi sumber pencemar di sekitar lokasi penelitian.

Faktor ketiga berkontribusi sebesar 3.8% ditunjukkan dengan unsur S berasal dari emisi kendaraan. unsur S merupakan unsur penanda dari adanya transportasi atau emisi kendaraan dengan bahan bakar diesel yang tidak hanya digunakan untuk transportasi darat namun juga digunakan untuk bahan bakar kapal.

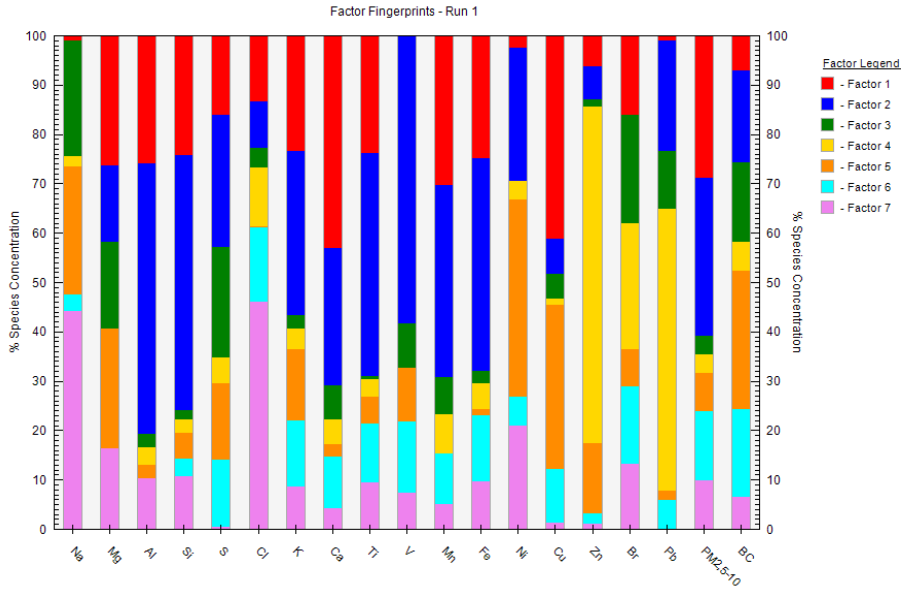
Faktor keempat yang ditandai dengan unsur Zn dan Pb dimungkinkan berasal dari industri logam non ferrous, faktor ini berkontribusi sebesar 3,7%. Tingginya konsentrasi Zn dan Pb di lokasi penelitian dapat disebabkan oleh adanya industri baja maupun pergudangan yang menyimpan pasir batubara. Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan Dai *et al*. (2015) yang menyatakan bahwa unsur Pb dan Zn pada PM berasal dari kegiatan industri besi dan baja. Selain dari industri, konsentrasi Zn dan Pb dapat disebakan karena adanya pembakaran batubara (Gao *et al*., 2016).

Faktor kelima dimungkinkan berasal dari industri logam maupun industri yang menggunakan Cu karena mengandung unsur Ni dan Cu dengan kontribusi faktor kelima ini sekitar 7%. Di sekitar lokasi penelitian terdapat

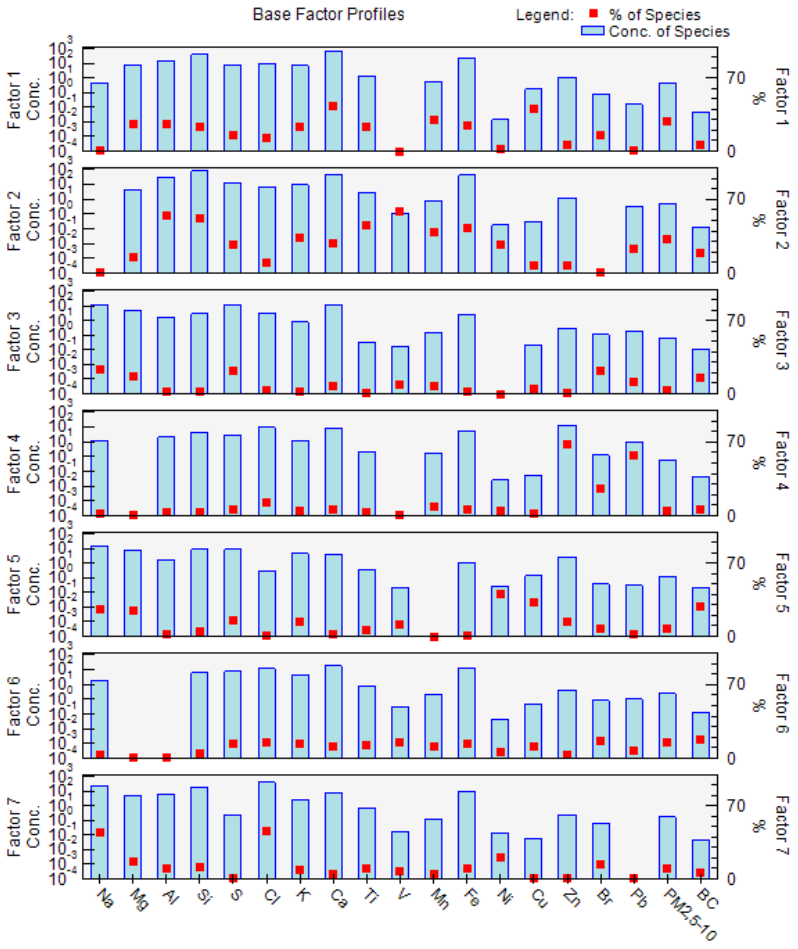
industri besi dan baja dan industri pembuatan kabel yang dimungkinkan menjadi kontributor untuk faktor ini.

Faktor keenam dimungkinkan berasal dari debu jalan karena ditandai dengan adanya unsur Br dengan kontribusi pada faktor ini sebesar 14%. Debu jalan ini berasal dari campuran aktifitas lalu lintas dan debu tanah. Seperti dalam penelitian Banerjee *et al*. (2015); Jain *et al*. (2018); Santoso *et al*. (2011); Santoso *et al*. (2008); Du *et al*. (2019); Alam *et al*. (2014) yang menyatakan bahwa salah satu unsur penanda dari adanya aktifitas jalan ada Br.

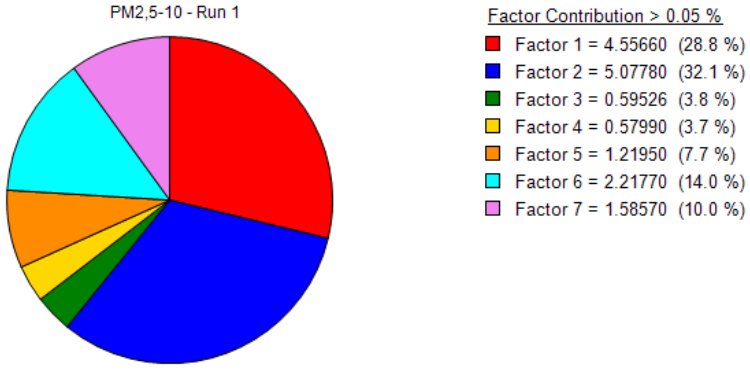
Faktor ketujuh dimungkinkan berasal dari garam laut karena ditandai dengan unsur Na dan Cl dengan kontribusi sebesar 10%. Na dan Cl merupakan unsur penanda dari garam laut seperti dijelaskan dalam Mukhtar *et al.* (2013) menunjukkan bahwa keberadaaan unsur Na memberi kesimpulan terdapat campuran sumber emisi lain yaitu emisi dari garam laut dan dalam Santoso *et al*., (2008) menyatakan bahwa penguapan Na biasanya bersamaan dengan Cl. Lokasi penelitian yang hanya berjarak sekitar 1 km dari laut dapat menjadi penyebab adanya konstribusi unsur tersebut di udara ambien. Selain itu, di Surabaya Barat juga terdapat tambak garam sehingga unsur Na, Cl, dan Mg tidak hanya berasal dari laut namun juga berasal dari kawasan tambak garam.



Gambar 4.29 Fingerprint Tiap Faktor pada $PM_{2,5-10}$



Gambar 4.30 Profil Faktor Pada $PM_{2,5-10}$



Gambar 4.31 Kontribusi Tiap Faktor Pada $PM_{2,5-10}$

4.4 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar

Estimasi lokasi sumber pencemar dilakukan dengan metode CPF, metode ini menggabungkan nilaikontribusi sumber tiap faktor hasil dari PMF dengan data kecepatan angin serta arah angin pada saat pengambilan sampel.Data

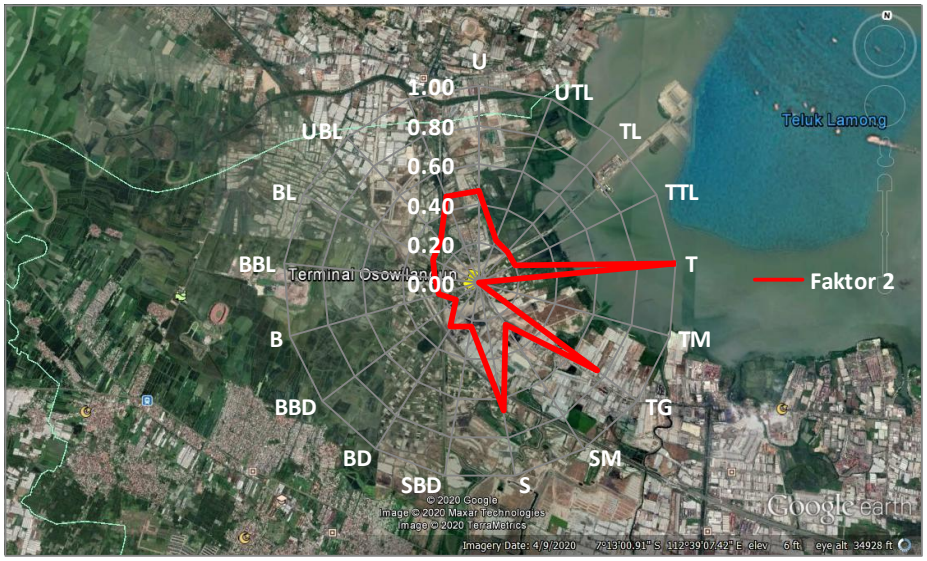
yang digunakan hanya yang memiliki kecepatan angin >1 m/s dan 25% kontribusi sumber yang memiliki nilai tertinggi. Persamaan untuk CPF dapat dilihat pada Persamaan 2.4.

4.4.1 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar $PM_{2,5}$

Identifikasi potensi sumber pencemar pada $PM_{2,5}$ Faktor 1 ditandai dengan unsur Cu, Mg dan K yang dimungkinkan berasal dari kegiatan industri yang menggunakan Cu dan pembakaran biomassa. Gambar 4.32 merupakan estimasi lokasi dari Faktor 1, diketahui arah angin yang memiliki konsentrasi terbesar unsur-unsur tersebut berasal dari selatan tenggara dan utara barat laut. Dari pengamatan di sekitar lokasi dari kedua arah tersebut terdapat industri-industri yang berpotensi menjadi kontributor pada faktor ini. Pada arah utara barat laut hingga timur timur laut selain terdapat industri, juga terdapat pemukiman penduduk sedangkan dari arah selatan tenggara dan tenggara terdapat industri arang kayu dengan jarak 1 km dan pengolahan kayu dengan jarak 2 km. Industri pembuatan arang kayu di sekitar lokasi penelitian ini memproses limbah kayu menajdi arang kayu.Unsur K merupakan emisi dari pembakaran biomassa *(smoke)* yang merupakan hasil proses pembakaran tidak sempurna yang bersifat terbuka seperti sampah, kebakaran hutan, ataupun asap rokok.

Gambar 4.32 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Faktor 1 (Campuran Industri Peleburan dan Pembakaran Biomassa)

Identifikasi potensi sumber pencemar pada Faktor 2 yang dimungkinkan berasal dari Ni diestimasikan berasal dari arah timur, selatan dan tenggara (Gambar 4.33). Dari arah tersebut diketahui terdapat beberapa industri logam seperti besi yang berpotensi menjadi kontributor pada faktor ini.

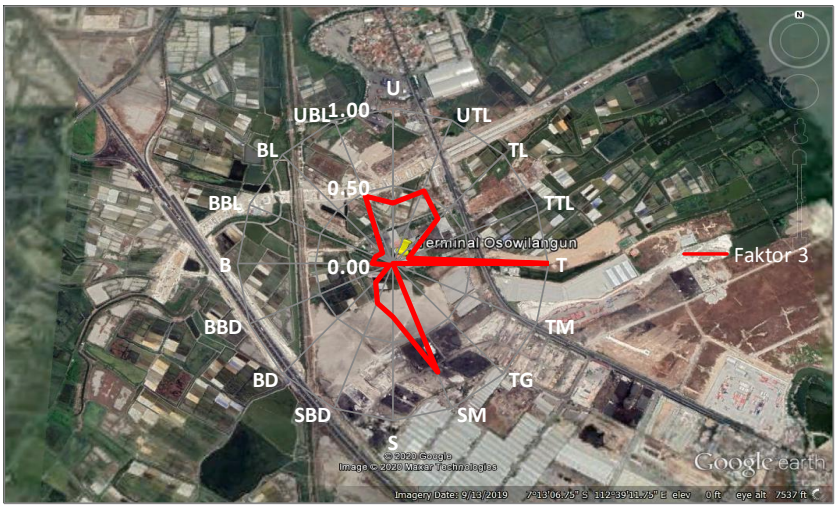


Gambar 4.33 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Ni

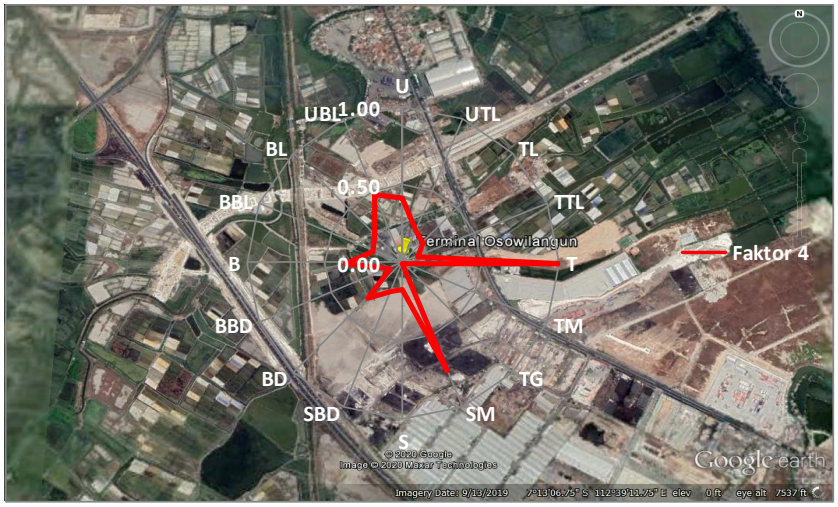
Estimasi lokasi dari Faktor 3 yang berasal dari unsur Zn berasal dari arah timur dan selatan tenggara (Gambar 4.34). Unsur Zn selain berasal dari industri galvanized juga dapat dihasilkan dari two stroke engine dan pembakaran sampah rumah tangga. Dari estimasi lokasi dimungkinkan potensi sumber pencemar dari Zn ini berasal dari industri maupun dari kendaraan yang disebabkan karena ban yang aus.Dari pengamatan di lokasi terdapat lalu lintas yang padat serta beberapa industri dari estimasi lokasi tersebut.

Estimasi lokasi untuk Faktor 4 dimungkinkan berasal dari kendaraan berbahan bakar diesel karena ditandai dengan unsur S diestimasikan berasal dari arah timur dan selatan tenggara (Gambar 4.35). Dari arah tersebut terdapat lalu lintas yang padat di Jalan Tambak Osowilangun karena merupakan jalan penghubung dari Kota Surabaya dengan Kabupaten Gresik dan banyak dilalui kendaraan untuk ke kawasan pergudangan maupun ke Pelabuhan Teluk Lamong. Jalan Tambak Osowilangun banyak dilalui kendaraan umum seperti bus maupun angkot

dan juga truk pengangkut barang, jalan ini akan sangat padat pada utamanya pada pagi dan sore hari selain itu banyak terdapat angkot maupun bus kota yang berhenti di Jalan Tambak Osowilangun untuk menunggu penumpang. Berdasarkan data Lalu Lintas Harian (LHR) Surabaya Tahun 2012, jumlah kendaraan yang melewati Jalan Osowilangun sebanyak 41.369 dengan jenis kendaraan meliputi sepeda motor, mobil, angkot, bus mini, pick up, mini truk, bus besar, truk 2 sumbu, truk 3 sumbu, truk gandeng, dan trailer. Emisi dari kendaraan-kendaraan tersebut dapat berkontribusi pada tingginya konsentrasi unsur S Surabaya Barat.



Gambar 4.34Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Zn



Gambar 4.35 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur S

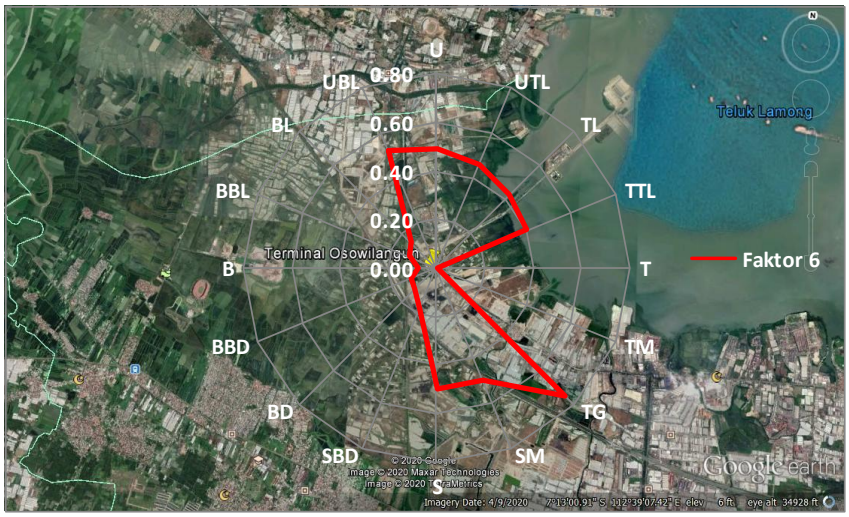
Estimasi lokasi potensi sumber pencemar pada Faktor 5 berasal dari arah timur timur laut, barat barat daya dan selatan tenggara (Gambar 4.36). Faktor kelima ditandai dengan unsur Mn dan Fe serta Zn, Mn biasanya digunakan dalam industri baja serta produksi sel aki kering serta produksi kalium permanganat, dari arah tersebut terdapat beberapa industri yang memproduksi barang-barang dari baja yang dimungkinkan dapat menjadi kontributor pada faktor ini.

Sedangkan estimasi lokasi potensi sumber pencemar pada Faktor 6 yang ditandai dengan unsur Ca berasal dari utara timur laut serta arah tenggara (Gambar 4.37). Dari pengamatan di lokasi pada arah tersebut terdapat pembangunan jalan tol dan perbaikan jalan serta terdapat industri konstruksi yang berjarak 1-2 km sehingga berpotensi menjadi kontributor pada faktor ini.

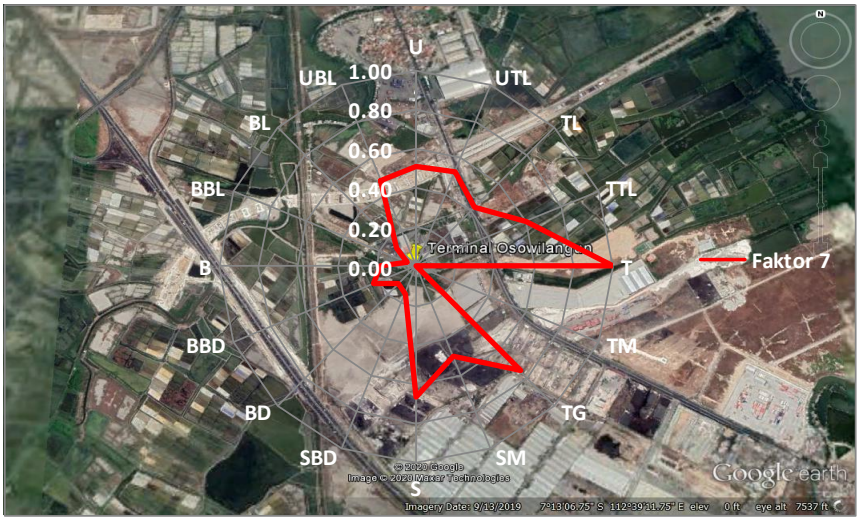
Faktor 7 yang ditandai dengan unsur Al, Si, Ti yang dimungkinkan berasal dari debu tanah diestimasikan berasal dari arah timur dan tenggara (Gambar 4.38), dari hasil pengamatan pada arah tersebut terdapat lahan kosong terbuka sehingga dapat berpotensi menjadi sumber pencemar.

Estimasi lokasi unsur Pb dari Faktor 8 berasal dari selatan tenggara dan timur laut hingga timur-timur laut (Gambar 4.39). Dari pengamatan, di sekitar lokasi terdapat industri kaca yang berpotensi menjadi sumber pencemar pada faktor ini. Industri kaca biasanya mengemisikan unsur Pb, As dan Sb, namun perlu dipastikan lebih lanjut mengenai hal tersebut karena penelitian mengenai unsur tersebut menggunakan metode yang berbeda.

Gambar 4.36 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Mn, Fe



Gambar 4.37 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Ca



Gambar 4.38 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Al, Si, Ti

Gambar 4.39 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Pb

4.4.2 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar $PM_{2,5-10}$

Estimasi lokasi sumber pencemar pada Faktor 1 dimungkinkan dari konstruksi karena ditandai dengan unsur Ca berasal dari arah timur dan tenggara (Gambar 4.40). Dari pengamatan di sekitar lokasi, terdapat industri konstruksi serta pembangunan jalan yang dengan jarak sekitar 2 km sehingga memungkinkan menjadi potensi sumber pencemar pada faktor ini.

Untuk estimasi lokasi sumber pencemar Faktor 2 berasal dari arah tenggara (Gambar 4.41). Dari estimasi terdapat lahan kosong terbuka yang berjarak sekitar 1 km, adanya lahan terbuka ini memungkinkan debu tanah menjadi kontributor potensi sumber pencemar pada faktor ini.

Faktor 3 yang ditandai dengan unsur S dan Na yang diestimasikan berasal dari utara barat laut hingga utara dan dari selatan tenggara (Gambar 4.42) dan dimungkinkan berasal dari pembakaran batubara, pada arah tersebut terdapat industri yang dimungkinkan menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya seperti PLTGU maupun industri besi dan baja.

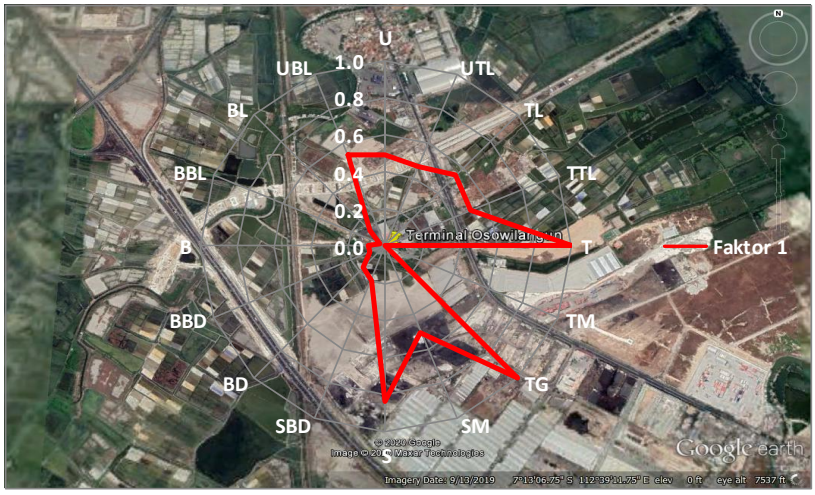
Faktor 4 yang ditandai dengan unsur Zn, Pb diestimasikan berasal dari arah utara barat laut utara timur laut dan selatan tenggara. Dari arah selatan tenggara dan tenggara terdapat beberapa industri logam non ferrous dengan jarak 0,5-3 km. Tingginya konsentrasi unsur Zn dan Pb di Surabaya ini didukung oleh penelitian Ahmad dan Santoso (2016) yang menyatakan bahwa konsentrasi unsur Zn dan Pb tertinggi di Surabaya dibandingkan

dengan kota lainnya dan sumber emisi pencemar udara di Surabaya berasal dari industri peleburan baja.

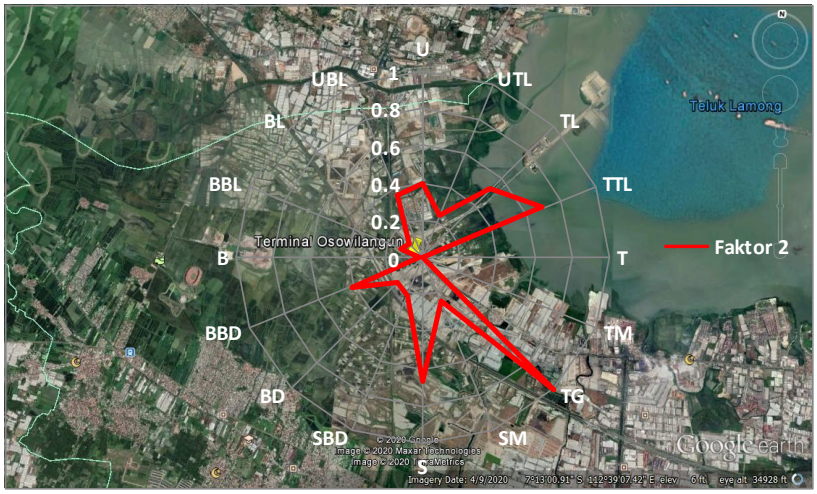
Faktor 5 yang ditandai dengan unsur Ni, Cu diestimasikan berasal dari arah timur timur laut, barat barat daya.Potensi sumber pencemar pada faktor ini dimungkinkan berasal dari industri logam seperti besi yang berasal dari barat-barat daya namun masih perlu untuk dipastikan lebih lanjut.

Faktor 6 yang ditandai dengan unsur Br diestimasikan berasal dari tenggara dan dimungkinkan berasal dari debu jalan. Dari arah tersebut terdapat kawasan pergudangan yang banyak dilalui oleh kendaraan pengangkut barang yang dimungkinkan menjadi kontributor pada faktor ini.

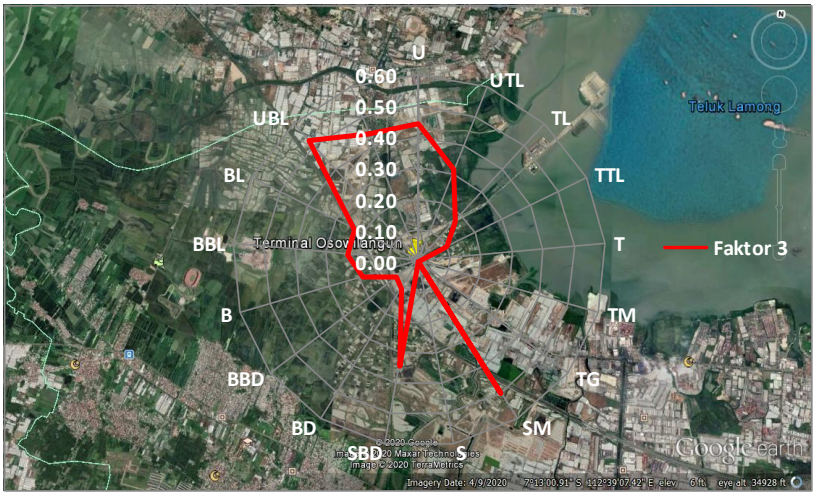
Faktor 7 yang ditandai dengan Na dan Cl dimungkinkan berasal dari garam laut. Dari estimasi lokasi, potensi sumber ini berasal dari arah selatan dan tenggara dan dari pengatamatan dari arah tersebut terdapat industri garam dan juga terdapat tambak garam dari arah selatan. lahan untuk tambak garam yang luas serta industri pengolahan garam dengan jarak sekitar 1-2 km. Industri pengolahan garam ini berjarak 2 km di arah tenggara lokasi penelitian sedangkan tambak garam terdapat di sebelah barat hingga selatan dengan jarak 1 km dari lokasi penelitian. Kota Surabaya memiliki lahan untuk tambak garam sebesar 623 Ha dan diolah oleh petani garam dengan cara sederhana. Proses pengolahan garam ini masih dilakukan dengan cara mengalirkan air laut ke dalam petak-petak tanah untuk selanjutnya mengalami proses penguapan (Mahdi dan Soemardiono, 2018). Adanya proses pengolahan garam pada tambak garam serta industri pengolahan garam di Surabaya Barat ini dapat menjadi kontributor terhadap tingginya konsentrasi Na, Cl dan Mg di Surabaya Barat



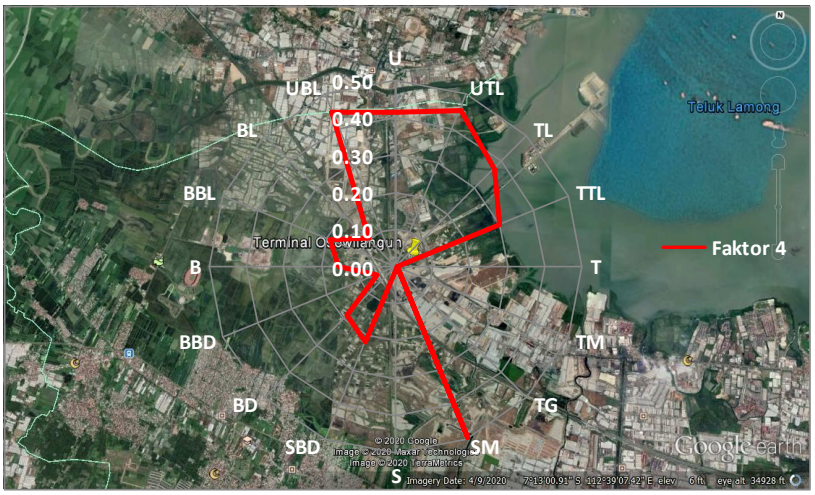
Gambar 4.40 Estimasi Lokasi Potensi Sumber Pencemar Unsur Ca



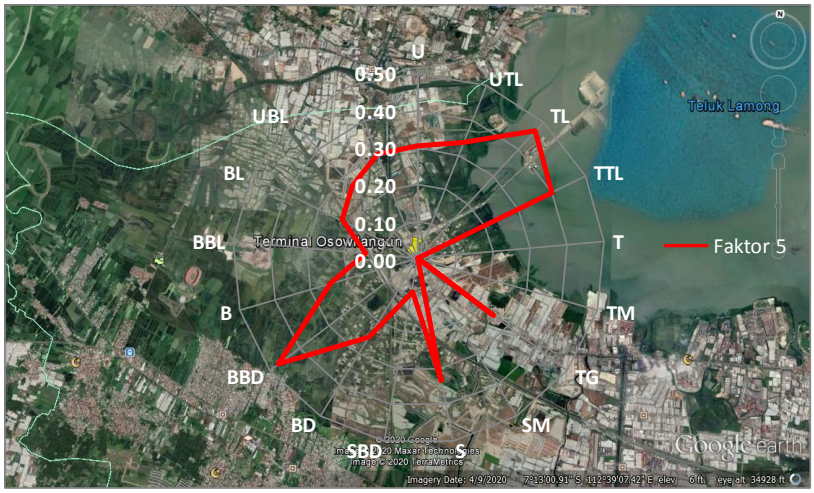
Gambar 4.41 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Al, Si, Ti



Gambar 4.42 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur S



Gambar 4.43 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Zn, Pb



Gambar 4.44 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Ni, Cu

Gambar 4.45 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Br

Gambar 4.46 Estimasi Lokasi Sumber Pencemar Unsur Na dan Cl

Aktifitas berdasarkan analisis CPF di sekitar lokasi penelitian adalah adanya konstruksi jalan dan juga lalu lintas yang cukup padat. Selain itu terdapat industri besi dan baja, industri logam *non-ferrous*, industri gelas, pembangkit listrik tenaga gas dan uap. Di sekitar lokasi penelitian juga terdapat pelabuhan yang aktifitasnya kapalnya tinggi karena melayani bongkar muat kapal kargo dari domestik maupun luar negeri dan terdapat jalan tol yang menghubungkan Kabupaten Gresik dan Surabaya. Lokasi penelitian berada di dekat dengan laut sehingga potensi sumber pencemar juga dapat berasal dari garam laut. Estimasi lokasi sumber penemar berdasarkan CPF dapat dilihat pada Gambar 4.46. Gambar kondisi di sekitar lokasi sampling dapat dilihat pada Gambar 4.48-Gambar 4.50. Beberapa industri dan aktifitas yang berpotensi menjadi sumber pencemar hasil dari analisis CPF dapat dilihat dalam Tabel 4.2

Gambar 4.47Potensi Sumber Pencemar Hasil Analisis CPF

Tabel 4.2Industri dan Aktifitas Potensi Sumber Pencemar Hasil Analisis CPF

No.	Sumber Pencemar	Jarak (km)
1.	Konstruksi jalan	0,5-1
2.	Debu jalan	0,5
3.	Garam laut	1
4.	Pelabuhan	1
5.	Lalu lintas	0,5
7.	Pergudangan	0,5
8.	Industri besi dan baja	2-5
9.	Industri kemasan dari kaca	3,2
10.	Industri logam *non ferrous*	2-5
11.	Perusahaan pembangkit listrik tenaga gas dan uap	5

Gambar 4.48Kondisi Lalu Lintas di Sekitar Lokasi Sampling

Gambar 4.49Kawasan Pergudangan

Gambar 4.50Konstruksi Jalan dan Depo

4.5 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara

Polusi udara yang disebabkan oleh paparan logam berat akan memberikan pengaruh jangka panjang dan polutan tersebut akan bertahan di udara serta berpindah ke lokasi yang jauh karena logam tersebut terkandung dalam $PM_{2,5}$ dan dapat terhirup dalam sistem pernafasan manusia. Paparan oleh Cr dapat menganggu sistem pernafasan dan sistem pencernaan, Mn pada konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan gangguan sistem saraf sedangkan Ni merupakan unsur yang karsinogen dan menganggu sistem endokrin. Dampak Pb diketahui berbahaya terhadap anak walaupun terserap dalam konsentrasi yang kecil karena dapat menyebabkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental yang selanjutnya berdampak pada tingkat kecerdasan dan kemampuan berfikir.

Dari hasil penelitian di Surabaya Barat terdapat beberapa unsur logam yang berpotensi menjadi sumber pencemar di udara ambien seperti Al, Pb, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, dan Zn berasal dari industri logam, industri logam non-ferrous, industri manufaktur, pembangkit listrik tenaga uap dan gas, industri konstruksi, aktifitas pelabuhan, transportasi, dan pergudangan. Dari hasil penelitian konsentrasi unsur-unsur tersebut masih memenuhi kualitas baku mutu dari negara lain dan organisasi dunia yang memiliki peraturan mengenai baku mutu logam berat di udara ambien.

Di Indonesia peraturan mengenai baku mutu logam Pb telah diatur dalam PP No. 41 Tahun 1999 namun belum ada baku mutu untuk unsur lainnya.Data mengenai kandungan logam berat di udara di Indonesia, khususnya di Surabaya sangat terbatas, sehingga perlu adanya kerjasama serta koordinasi kegiatan dari pemerintah dengan lembaga-lembaga di daerah untuk mendapatkan hasil yang efektif dan efisien.

Konsentrasi partikulat maupun logam berat yang terkandung dalam $PM_{2,5}$ maupun $PM_{2,5-10}$ di Surabaya Barat meskipun masih memenuhi kualitas baku mutu namun tetap memerlukan perhatian sebab kandungan logam dalam partikulat tersebut dapat memberikan efek buruk bagi terhadap kesehatan manusia.

4.5.1 Green Vegetation

Penghijauan yang dilakukan di perkotaan memiliki potensi untuk membersihkan polusi udara dengan menangkap partikulat pada daun. Pepohonan ini dapat mengurangi konsentrasi partikulat halus sehingga mengurangi risiko paparan terhadap manusia. Penghijauan yang dilakukan di China dapat menurunkan 9,1% konsentrasi partikulat. Penghijauan ini juga dimungkinkan mengurangi konsentrasi logam berat yang terkandung dalam partikulat (Yin*et al*., 2013).

Menurut Nasrullah (2001), mekanismetanaman dalam mereduksi polutan yang terlepas padalingkungan terdiri dari beberapa proses yaitu proses difusiberupa penyebaran polutan ke atmosfer, proses absorbsi yaitu penyerapan polutan gasmelalui stomata sehingga gas masuk kedalam jaringan daun,proses adsorbsi atau penyerapan

polutan partikel olehpermukaan daun, batang, ranting, dan proses deposisi partikelbesar oleh daun dan bagian tanaman lainnya.Menurut Hakim (2014), selain penyerapan pada daun,penyerapan terhadap partikel juga dilakukan di berbagai bagiantumbuhan seperti ranting dan batang. Menurut Dahlan (1989)ranting pohon yang berbulu menyerappartikel timbal dan seng lebih banyak dibandingkan dengan ranting berkulit licin dan pohon berkulit kasar dapat menyerap timbal lebihtinggi dibandingkan dengan pohon berkulit licin.

Mekanisme penyerapan PM_{10} dan TSP partikel yang berukurankurang dari 10 μm terjadi seperti pada proses penyerapan partikel Pb. PartikelPb masuk ke dalam jaringan daun melalui stomata daun yangberukuran besar dan ukuran partikel Pb lebih kecil, sehingga Pbdengan mudah masuk kedalam jaringan daun melalui prosespenyerapan pasif. Partikel yang menempel pada permukaandaun berasal dari tiga proses yaitu sedimentasi akibat gayagravitasi, tumbukan akibat turbulensi angin, dan pengendapan yang berhubungan dengan hujan.Celah stomata mempunyai panjang sekitar 10 μm dan lebar antara 2 –7 μm, oleh karena ukuran Pb yang juga memiliki ukuran kecil, maka partikel Pb akan masuk ke dalam daun lewat celah stomata serta menetap dalam jaringan daun dan menumpuk di antara celah sel jaringan pagar dan jaringan bunga karang. Pb tidak larut dalam air, maka senyawa Pb dalam jaringan terperangkap dalam rongga antarsel sekitar stomata (Dahlan 2004).

Tingginya serapan pada daun dipengaruhioleh beberapa faktor seperti jenis vegetasi, bentuk daun,permukaan daun, umur daun dan letak vegetasi. Bentuk daun ini mempengaruhi kemampuanserapan, semakin kecil daun maka semakin besar jumlahstomata sehingga semakin besar pula partikel yang mampudiserap oleh daun tersebut. Permukaan daun yang berbulumampu menyerap polutan partikel lebih banyak dibandingkandengan permukaan daun yang licin. (Wuisang*et al*, 2006).

Penerapan penghijauan ini telah diterapkan di beberapa tempat, di London penghijauan meliputi taman, ruang terbuka hijau, hutan, sungai dan wetlands. Vegetasi atau tanaman mempunyai peran penting dalam mengurangi polutan udara melalui proses deposisi ke permukaan daun. Pemerintah London memberikan beberapa pertimbangan dalam penanaman pohon ini, seperti:

1. Sebagai barier sebaiknya menggunakan pohon yang tumbuh sepanjang musim, bukan pohon yang gugur pada musim tertentu dan semak-semak.
2. Vegetasi harus tahan dengan efek polusi udara, selain itu juga tidak dianjurkan menggunakan tanaman yang beracun
3. Menggunakan jenis pohon yang memiliki daun lebar
4. Agar dapat melindungi orang dari paparan polutan, minimal tinggi pohon yang digunakan adalah 2 meter
5. Vegetasi yang tebal dapat menjadi penghalang yang efektif dari emisi transportasi jalan
6. Vegetasi ini harus bisa bertahan dalam waktu lama dengan perawatan yang tepat

Di Indonesia sendiri terdapat beberapa vegetasi yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi partikel. Berdasarkan hasil pengamatan pohonyang memiliki kategori sangat sesuai dalam menjerap partikel adalah cemaranorflok (Araucaria heterophylla). Pohon tersebut merupakan jenis pohon berdaunjarum yang memiliki ranting dan batang yang relatif kasar sehingga dapat menyerappartikel dengan baik.Selain itu terdapat jenis pohon lain seperti (Artocarpus communis), kapuk (Ceiba pentadra), kersen (Mutingia calabura), dankerai payung (Fillicium decipiens), glodogan tiang (Polyalthialongifolia) dan tanjung (Mimusoph elengi), pohon kersen (Mutingia calabura), bunga kupu-kupu,jati (Tectona grandis), dan ki hujan (Samanea saman), jati (Tectona grandis),sukun (Artocarpus communis), ketapang (Terminalia catapa), bintaro (Cerberamanghas), biola cantik (Ficus lyrata), kerai payung (Fillicium decipiens),

saraka(saraca indica), walisongo (Schefflera sp), jati (Tectona grandis), dan glodogantiang (Polyalthia longifolia). Jenis pohon yang sesuai untuk mengurangi konsentrasi partikel memiliki tajuk pohon yang padat dan rapat serta tekstur kulit ranting dan batang yang kasar hingga agak halus, selain itu kepadatan ranting pohon juga cukup rapat (Al-Hakim, 2014).Beberapa jenis tumbuhan tersebut dapat digunakan dalam upaya mitigasi agar konsentrasi partikulat masih memenuhi kualitas baku mutu namun dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis mengenai penetapan lokasi penghijauan sehingga diperlukan penelitian lanjutan mengenai hal tersebut.

Jalur hijau di pinggir jalan dapat mengurangi polutan partikel di sekitar jalan. Tanaman yang paling besar kemampuannya dalam menyerap partikel polutan adalah damar, tanjung dan mahoni, sedangkanpohon saputangan diketahui dapat menyerap Pb sebesar 0,05 mg/g daun (Wuisang et al, 2006). Berdasarkan hasil inventarisasi tanaman lansekap terdapat 15 jenis tanaman yang bermanfaat sebagaitanaman hias sekaligus sebagai tanaman obat dan bioreduktor Pb. Tanaman tersebut adalah Andong merah (Cordyline fruticosa), Kana (Canna indica),Bunga kertas (Bougenvillea spectabilis), Lili paris (Chlorophytum cormosum), teh-tehan (Duranta repens), cemara udang (Equisetifolia sp), asoka (Saraca indica L.), sisal(Agave gigantea), beringin (Ficus benyamina), lidah mertua (Sansevieria sp), euphorbia (Euphorbia hirta L.), puring (Codiaeum variegatum), daun pletesan (Ruelliatuberosa L.), daun ungu (Syzygium oleira), dan pucuk merah (Graptophyllum pictum L). Hasil analisis kandungan Pb pada15 jenis tanaman sampel masing-masing adalah <7.000 µg/m³ (<7 ppm). (Laksana, *et al*., 2019). Menurut Alahabadi *et al*., (2017) juga terdapat berbagai jenis tumbuhan yang dapat menyerap logam berat seperti Cd, Pb, Cu dan Zn, sampling dilakukan tiga kali yaitu pada musim semi, musim panas dan musim gugur, sehingga konsentrasi logam berat yang didapatkan adalah konsentrasi tiap tiga

bulan. Rata-rata konsentrasi logam berat yang dapat diserap oleh tumbuhan tersebut tiap tiga bulan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

.Tabel 4.3 Konsentrasi yang Diserap Tumbuhan

Jenis Pohon	Konsentrasi yang dapat diserap (mg/kg)			
	Zn	Cu	Pb	Cd
Wistaria sinensis	18.46	4.3	2.03	0.4
Callistemon citrinus	15.25	2.19	0.65	0.44
Nigral morus	16.25	3.16	2.54	0.56
Salix babylonica	22.21	2.82	3.26	0.34
Fraxinus excelsior	28.51	5.8	0.126	0.39
Alnus glutinosa	30.31	4.18	0.95	0.46
Populus deltoides	10.72	0.165	2.85	0.6
Ulmus umbraculifera	21.38	3.16	2.05	0.36
Citriobatus pauciflorus	37.2	4.1	0.5	0.36
Robinia pseudoacacia	22.3	4.45	0.71	0.5
Pinus eldarica	42.57	3.08	3.71	0.62
Olea europaea	25.71	3.56	1.27	0.45
Cupressus arizonica	18.33	3.23	0.75	0.38
Morus alba	11.92	3.88	1.46	0.57

Sumber: Alahabadi *et al*., (2017)

Kandungan logam berat di dalam partikulat ini sangat berbahaya bagi kesehatan, terutama logam Pb yang memiliki sifat karsinogenik dan sangat berbahaya karena dapat mempengaruhi tingkat kecerdasan pada anak-anak. Konsentrasi rata-rata per hari Pb di Surabaya Barat sebesar 17 ng/m^3 pada $PM_{2,5}$ dan 10,7 ng/m^3 $PM_{2,5\text{-}10.}$ Dengan konsentrasi tersebut dan kemampuan serap logam berat diketahui sehingga, perhitungan luas area penghijauan dapat dihitung dengan membagi massa logam berat yang yang terkandung dalam 1 m^3 udara dengan kemampuan serap logam berat oleh tumbuhan. Konsentrasi unsur Pb di Surabaya Barat adalah sebesar 17 ng/m^3 dan 10,7 ng/m^3. Luas area penghijauan dihitung menggunakan konsentrasi Pb di udara yang terbesar yaitu pada $PM_{2,5}$ sebesar 17 ng/m^3/hari atau sebesar 0,00612 mg/m^3/tahun. Tumbuhan yang digunakan adalah jenis Pinus eldaricakarena pohon ini cukup mudah ditemukan dan dapat menyerap Pb dengan konsentrasi cukup besar, yaitu 3,71 mg/kg per tiga bulan,

sehingga tiap tahun kemampuan serapnya sebesar 14,84 mg/kg. Luas area penghijauan didapatkan sebesar

$$L = \frac{0{,}00612 \text{ mg Pb/tahun}}{14{,}84\ mg/tahun} = 0{,}0004 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan tersebut luas yang diperlukan untuk area penghijauan sebesar 0,0004 m^2 dan dari perhitungan tersebut juga terlihat bahwa sebenarnya konsentrasi Pb tiap tahun masih dapat diserap oleh tumbuhan namun tetap membutuhkan kontrol dan evaluasi agar konsentrasi unsur Pb maupun unsur logam lainnya masih dalam batas kualitas baku mutu sehingga dapat mengurangi dampaknya terhadap lingkungan maupun kesehatan masyarakat.

4.5.2 Pembuatan Ambang Batas

European Community (EC) mengeluarkan arahan kebijakan untuk mengurangi polusi udara atau meningkatkan kualitas lingkungan dan perlindungan lingkungan. Melalui *Council Directive* Tahun 1982 di berlakukan pembatasan jumlah timbal (Pb) di udara.Nilai batas maksimum untuk timbal dalam udara ambient adalah 2 mg/m^3yang menunjukan nilai konsentrasi tahunan. Dilakukan sampling dan analisis prosedur oleh negara-negara anggotauntuk menentukan konsentrasi Pb di udara setiap tahunnya dan diterbitkan laporan tentang pelaksanaanya. Selain Pb, *EuropeanComunity* juga menetapkan nilaibatas maksimum dari Arsen (As), Kadmium (Cd), Merkuri (Hg) dan Nikel (Ni). Khusus untuk merkuri adalah zat yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sehingga dilarang penggunaannya. Keberadaannya selalu ada di lingkungan sekitar dalam bentuk metilmerkuri dan dapat terakumulasi lebih besar pada organisme yang memiliki status rantai makanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu dilakukan langkah-langkah yang koheren untuk mengurangi jumlah merkuri dalam ekosistem salah satunya dengan menghindari produk yang mengandung merkuri. Nilai target batas maksimum yang sebagai standar kualitas lingkungan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai Maksimum dari European Community

Polutan	Nilai Batas Maksimum
Timbal	2 mg/ m^3
Arsen	6 ng/ m^3
Kadmium	5 ng / m^3
Nikel	20 ng / m^3

(*) Untuk total partikel di fraksiPM_{10} rata-rata selama satu.

Beberapa negara dan organisasi telah memiliki baku mutu untuk logam di udara ambien seperti pada Tabel 2.3-Tabel 2.8 dan Tabel 4.3 dari beberapa baku mutu logam tersebut unsur Ni, Cr, Mn dan Pb teridentifikasi pada udara ambien di Kota Surabaya dengan nilai konsentrasi masing-masing unsur terdapat pada Tabel 4.1. Di Indonesia terdapat usulan baku mutu logam berat di udara ambien yang dikaji oleh Mukhtar *et al*., (2014). Usulan baku mutu logam berat tersebut dikaji setelah meneliti konsentrasi logam berat di udara pada beberapa kota di Indonesia seperti Jakarta, Tangerang, Bogor, Bandung, Yogyakarta, Semarang, Surabaya, Riau, Makassar, Palangkaraya dan Denpasar.Dari penelitian tersebut diketahui bahwa konsentrasi Pb di sekitar lokasi peleburan timah dan tempat penampungan aki bekas tersebut tinggi, sehingga dilakukan penelitian kandungan Pb pada anak-anak sekolah dasar. Dari hasil penelitian tersebut diketahui konsentrasi Pb dalam darah anak-anak ini tinggi dan melebihi baku mutu dari WHO. Oleh karena itu, baku mutu untuk Pb di Indonesia perlu dibuat lebih ketat karena Pb ini mempengaruhi kecerdasan dan pertumbuhan anak-anak di Indonesia. Selain Pb, juga dilakukan kajian usulan baku mutu logam lain seperti As, Cd, Hg, Cr, Mn, dan Ni dengan melihat nilai konsentrasi dari masing-masing unsur tersebut di beberapa kota di Indonesiadan dari perbandingan baku mutu logam berat di beberapa negara serta organisasi dunia yang telah memiliki baku mutu tersebut. Dari beberapa tinjauan di atas dan adanya usulan baku mutu tersebut perlu ditindaklanjuti agar dapat digunakan atau diterapkan dan dengan

adanya usulan baku mutu tersebut Kota Surabaya dapat menggunakannya sebagai acuan untuk kajian baku mutu logam berat di udara ambien Kota Surabaya karena telah dikaji berdasarkan kondisi yang ada di Indonesia, termasuk Surabaya.

Menurut WHO (1998), dalam membuat standar baku mutu terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan seperti:

1. Efek buruk pada kesehatan. Dalam menetapkan standar untuk pengendalian polutan lingkungan, populasi perlu dilindungi dan efeknya terhadap populasi perlu ditetapkan. Hierarki efek pada kesehatan dapat diidentifikasi mulai dari penyakit akut dan kematian hingga penyakit kronis, ringan dan penyakit sementara.
2. Populasi khusus yang beresiko. Populasi atau kelompok sensitif didefinisikan di sini sebagai mereka yang memiliki riwayat penyakit lain, keterbatasan secara fisik, atau mereka yang memiliki karakteristik khusus yang jika mereka terpapar dampak terhadap kesehatannya menjadi signifikan, seperti orang lanjut usia dan anak-anak. Kelompok lain juga dapat dinilai berisiko khusus adalah pekerja di luar ruangan ataupun atlet.
3. Hubungan paparan-respons. Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam mengembangkan standar adalah informasi tentang hubungan paparan–respons polutan yang menjadi perhatian
4. Karakterisasi eksposur. Faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam mengembangkan standar adalah jumlah orang terpapar oleh konsentrasi yang menjadi perhatian, dan distribusi paparan di antara berbagai populasi pada saat ini dan pada konsentrasi polusi yang berbeda di mana standar dapat ditetapkan.
5. Penilaian risko. Dalam kerangka penilaian risiko kuantitatif berbagai usulan untuk standar dapat dipertimbangkan dalam model risiko kesehatan atau ekologi. Model-model ini menyediakan satu alat yang digunakan untuk memberikan informasi kepada para pembuat keputusan tentang beberapa kemungkinan konsekuensi

pencemaran yang terkait dengan berbagai opsi untuk pembuatan standar.

6. Penerimaan risiko. Peran penilaian risiko dalam mengembangkan standar mungkin berbeda di antara negara karena perbedaan kerangka hukum dan ketersediaan informasi yang diperlukan untuk dilakukan penilaian risiko kuantitatif. Tingkat penerimaan risiko dapat bervariasi di berbagai negara karena perbedaan norma sosial, tingkat kesulitan dan persepsi risiko di antara populasi dan berbagai pemangku kepentingan.Usulan baku mutu untuk logam berat di udara ambien dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Usulan Baku Mutu Logam Berat di Udara Ambien

No.	Parameter	Kadar Maksimum pada TSP (µg/m^3)		Kadar Maksimum pada $PM_{2,5}$ (µg/m^3)	
		1 tahun	24 jam	1 tahun	24 jam
1	Timbal (Pb)	0,5	1	0,25	0,5
2	Arsen (As)	0,006	0,3	0,00006	0,0125
3	Kromium (Cr)	0,005	2	0,00005	0,02
4	Kadmium (Cd)	1	0,5	0,005	0,01
5	Merkuri (Hg)	0,01	1,5	0,001	0,005
6	Mangan (Mn)	0,15	2,5	0,00015	0,0078
7	Nikel (Ni)	0,02	2	0,0002	0,015

Sumber: Mukhtar *et al*., (2014)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Konsentrasi rata-rata harian dari $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di lokasi penelitian sebesar 11,47 µg/m^3 dan 27,49 µg/m^3atau sebesar 11,45 µg/Nm^3 dan 26,98 µg/Nm^3. Rentang konsentrasi $PM_{2,5}$ antara 3,95µg/m^3-27,45µg/m^3. Sedangkan konsentrasi PM_{10} antara 9,31µg/m^3- 64,82µg/m^3. Dari hasil pengamatan, konsentrasi tersebut masih memenuhi kualitas baku mutu PM harian berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999 dan WHO.
2. Hasil identifikasi unsur menggunakan XRF di Surabaya Barat teridentifikasi 18 unsur yang terdiri dari Na, Mg, Al, Si, S, K, Cl, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br dan Pb.
3. Hasil identifikasi sumber pencemar dari unsur-unsur yang teridentifikasi didapatkan delapan (8) dan tujuh (7) faktor potensi sumber pencemar untuk $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$. Untuk $PM_{2,5}$ potensi sumber pencemar berasal campuran industri Cu dan pembakaran biomassa, industri Ni, industri logam non ferrous, transportasi, industri besi dan baja, konstruksi, debu tanah dan pelabuhan serta industri Pb. Untuk $PM_{2,5-10}$ potensi sumber pencemar berasal dari konstruksi, debu tanah, transportasi, industri logam non ferrous, industri Ni dan pelabuhan, industri Br, industri pengolahan garam dan garam laut.
4. Hasil estimasi lokasi sumber pencemar pada $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ menunjukkan potensi sumber pencemar berasal dari aktifitas pelabuhan, debu tanah, transportasi, pembakaran biomassa, konstruksi, garam laut, dan industri dari arah utara hingga barat barat. Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi dari $PM_{2,5}$ dan $PM_{2,5-10}$ serta konsentrasi unsur logam masih memenuhi kualitas baku mutu sehingga kebijakan yang dapat diambil adalah upaya mitigasi agar konsentrasi tersebut tetap memenuhi kualitas baku mutu dengan melakukan penerapan *green vegetation* serta dengan melakukan kajian penetapan ambang batas untuk konsentrasi logam berat

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penelitian terkait kandungan logam berat pada $PM_{2,5}$ maupun $PM_{2,5-10}$ di udara ambien terhadap kesehatan masyarakat di sekitar lokasi industri, khususnya di Surabaya Barat, dan penetapan lokasi penghijauan, serta penelitian lebih lanjut mengenai kajian baku mutu logam berat di udara ambien.

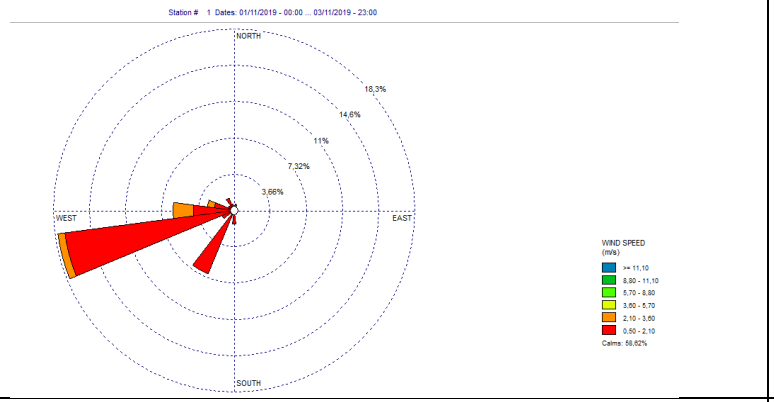
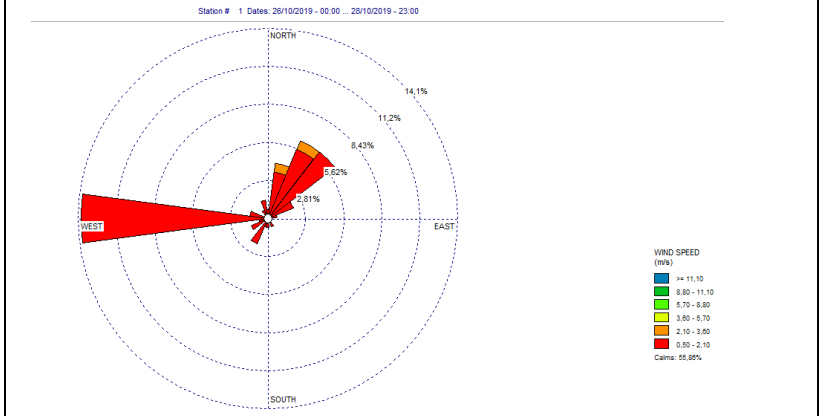
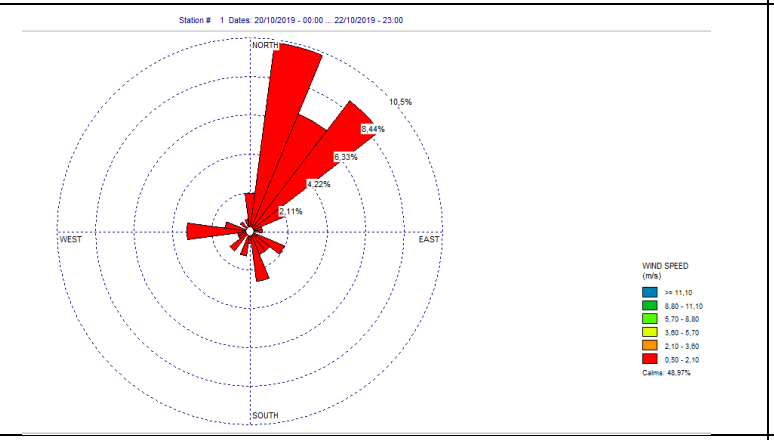
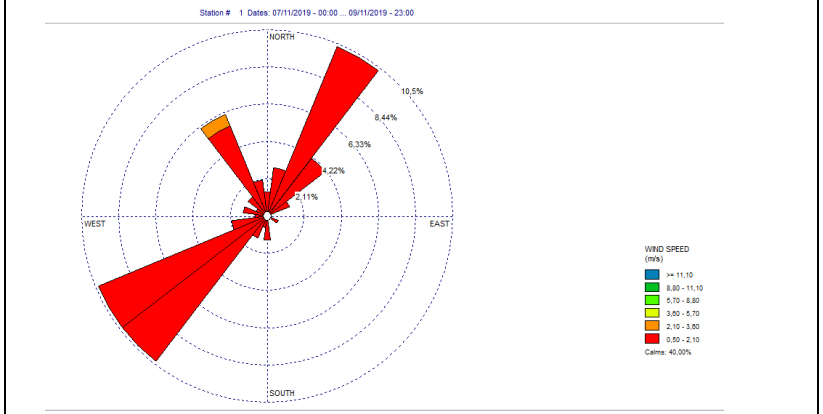
LAMPIRAN

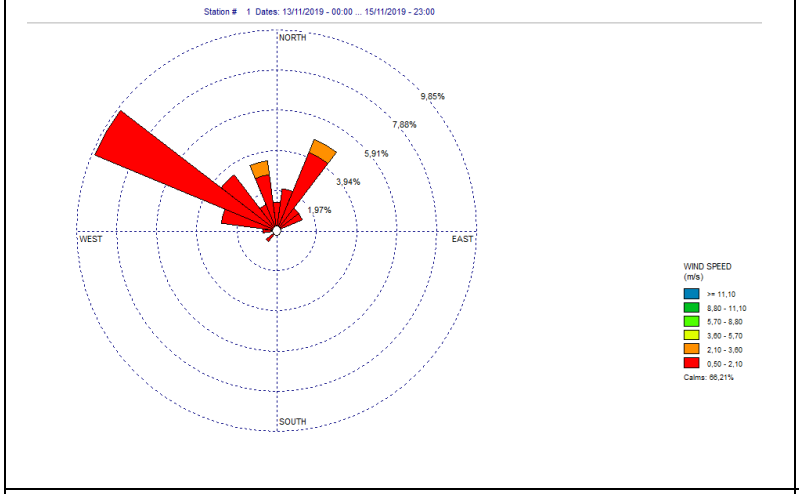
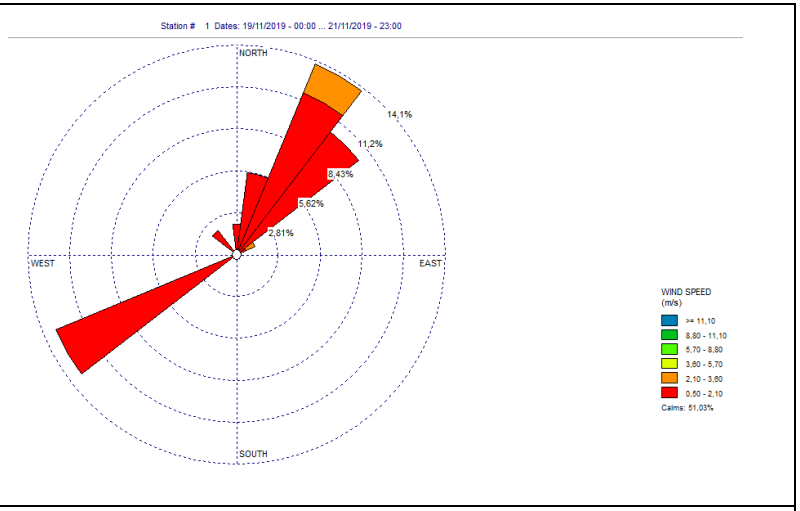
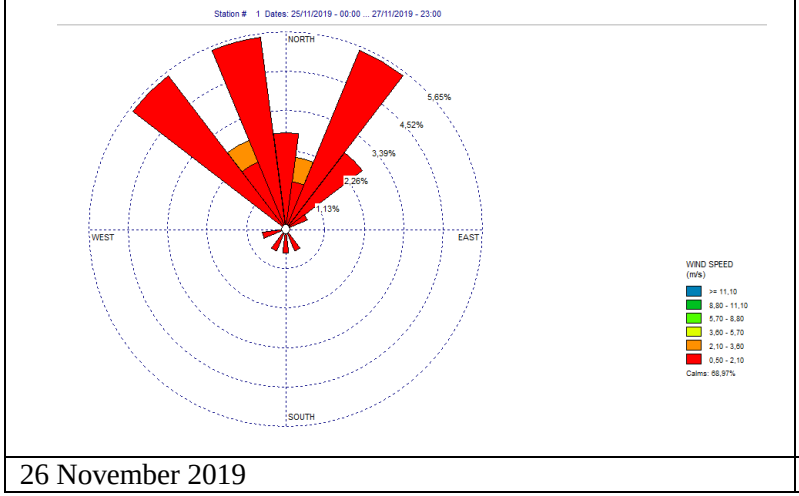
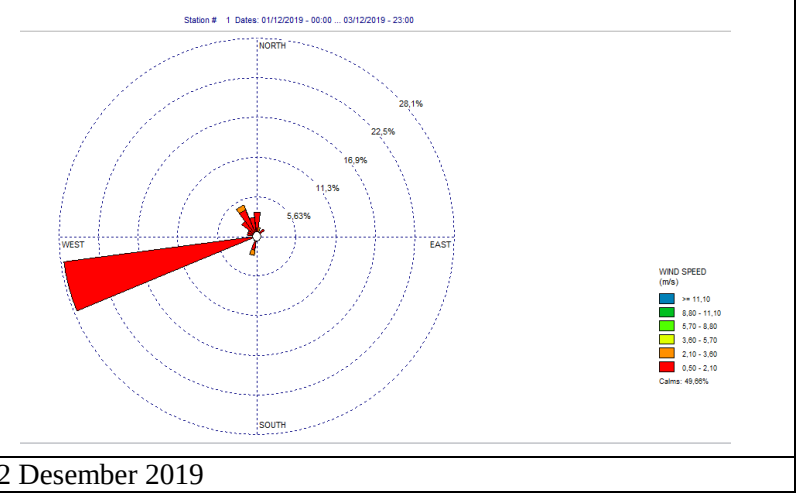
LAMPIRAN 1 DATA PENGAMATAN KONSENTRASI $PM_{2,5}$ DAN PM_{10}

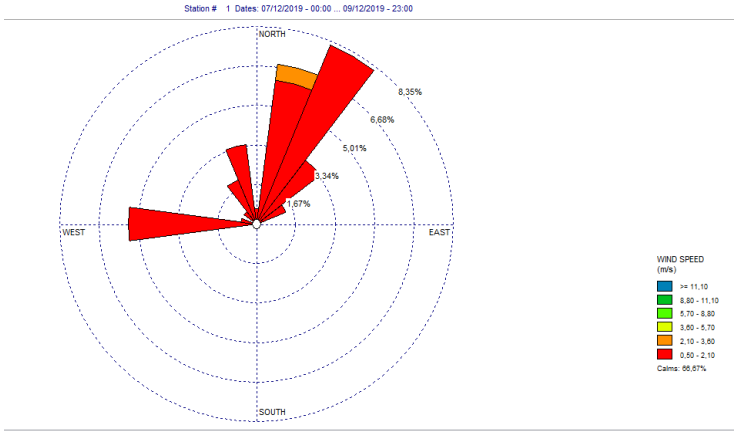
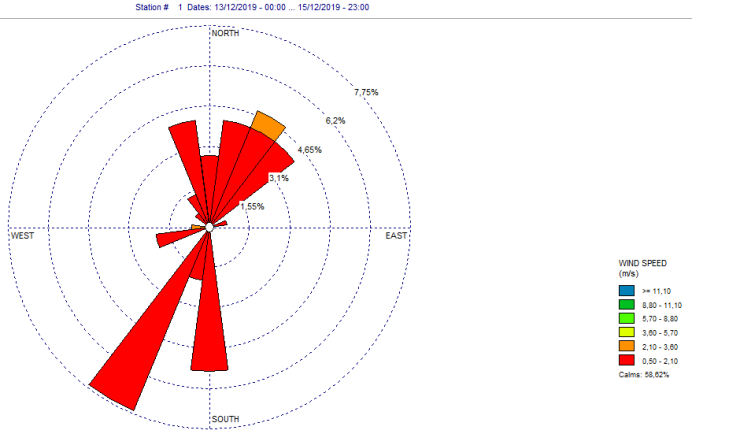
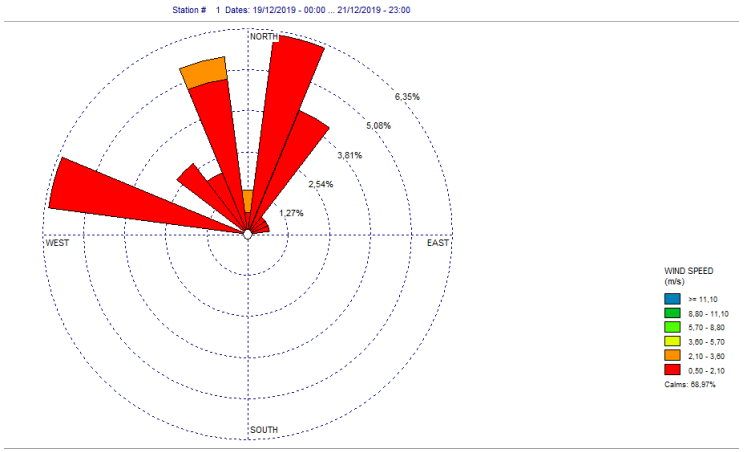
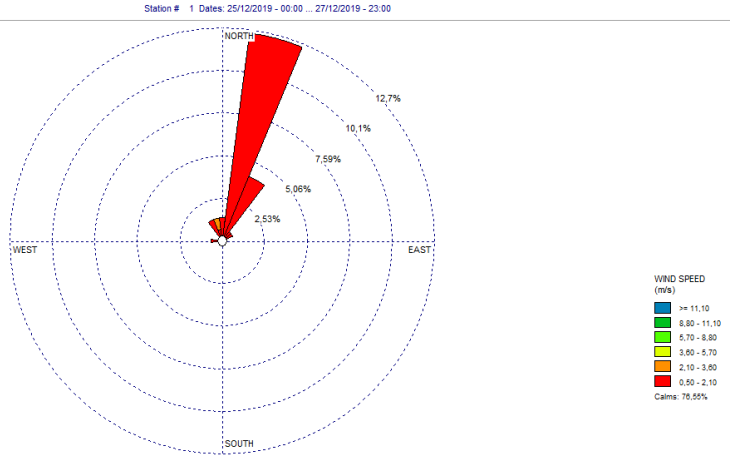
Tanggal	Cuaca	Total Volume (m^3)	Penimbangan						$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	PM kasar ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)
			Kosong (mg)		Isi (mg)		Berat debu (mg)				
			Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar			
12/14/19	cerah	29,47	17,304	14,253	17,642	14,811	0,338	0,558	11,47	18,93	30,40
12/20/19	cerah	29,3	17,054	11,649	17,544	12,045	0,490	0,396	16,72	13,52	30,24
12/26/19	mendung	28,74	17,516	11,819	17,703	12,645	0,187	0,826	6,51	28,74	35,25
12/31/19	mendung	28,77	17,427	12,936	17,828	13,130	0,401	0,194	13,94	6,74	20,68
01/01/20	cerah	29,64	16,873	11,986	16,990	12,145	0,117	0,159	3,95	5,36	9,31
01/07/20	cerah	29,58	17,443	12,163	17,668	12,318	0,225	0,155	7,61	5,24	12,85
10/15/19	cerah	31,03	17,135	11,384	17,395	12,166	0,260	0,782	8,38	25,20	33,58
10/21/19	cerah	27,43	16,718	12,802	17,220	14,078	0,502	1,276	18,30	46,52	64,82
10/27/19	cerah	28,33	16,617	12,840	16,897	13,255	0,280	0,415	9,88	14,65	24,53
11/02/19	cerah	27,84	16,535	12,070	16,931	12,455	0,396	0,385	14,22	13,83	28,05
11/08/19	cerah	29,78	17,031	12,946	17,215	13,617	0,184	0,671	6,18	22,53	28,71
11/14/19	cerah	28,4	16,56	12,414	17,049	13,075	0,489	0,661	17,22	23,27	40,49
11/20/19	cerah	29,53	17,174	12,952	17,449	13,742	0,275	0,790	9,31	26,75	36,07
11/26/19	mendung	28,5	17,83	13,292	18,259	13,975	0,429	0,683	15,05	23,96	39,02
12/02/19	mendung	29,5	17,36	12,857	17,925	13,586	0,565	0,729	19,15	24,71	43,86
12/08/19	mendung	28,54	17,586	12,247	17,846	12,610	0,260	0,363	9,11	12,72	21,83
01/13/20	mendung	29,89	17,756	12,069	17,899	12,392	0,143	0,323	4,78	10,81	15,59
01/19/20	mendung	28,4	17,686	10,952	18,239	11,216	0,553	0,264	19,47	9,30	28,77

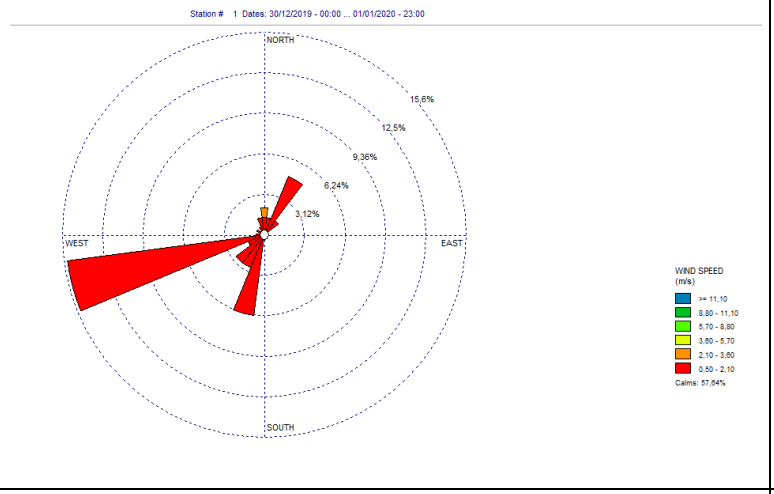
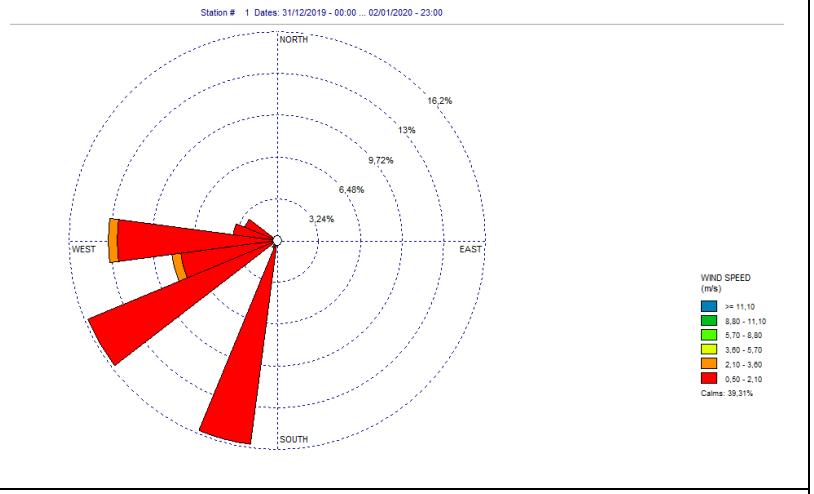
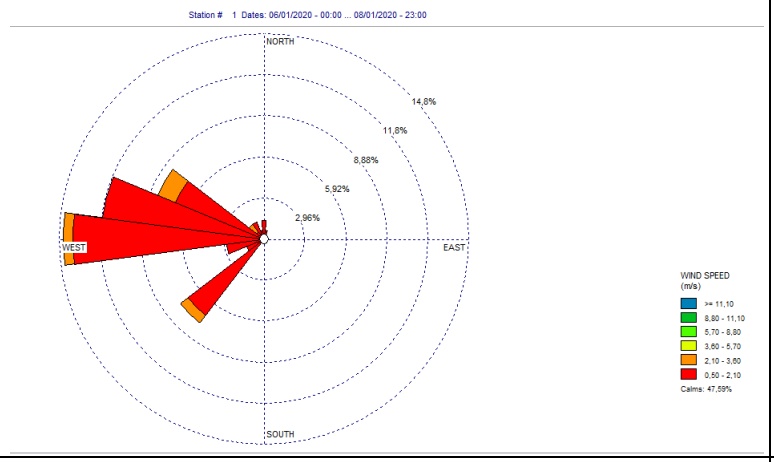
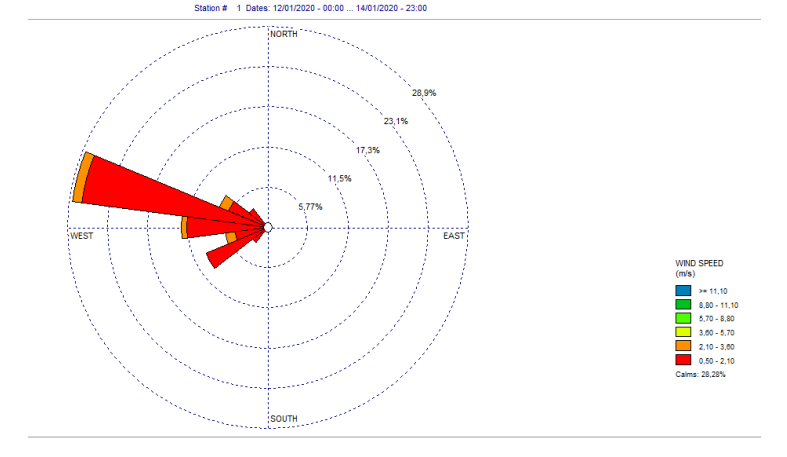
Tanggal	Cuaca	Total Volume (m^3)	Penimbangan						$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	PM kasar ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)
			Kosong (mg)		Isi (mg)		Berat debu (mg)				
			Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar			
01/25/20	mendung	29,95	17,744	13,081	17,923	13,314	0,179	0,233	5,98	7,78	13,76
01/31/20	mendung	29,34	17,723	11,874	18,029	12,102	0,306	0,228	10,43	7,77	18,20
02/06/20	mendung	30,34	17,382	12,679	17,548	13,027	0,166	0,348	5,47	11,47	16,94
02/12/20	mendung	27,87	17,803	13,129	18,350	13,575	0,547	0,446	19,63	16,00	35,63
02/13/20	cerah	28,86	17,453	11,619	17,762	12,557	0,309	0,938	10,71	32,50	43,21
02/18/20	cerah	29,19	17,239	10,925	17,524	11,072	0,285	0,147	9,76	5,04	14,80
02/24/20	mendung	29,69	17,324	13,120	17,495	13,398	0,171	0,278	5,76	9,36	15,12
03/01/20	cerah	29,72	18,183	11,453	18,39	11,625	0,207	0,172	6,97	5,79	12,75
03/07/20	mendung	29,13	17,446	13,399	17,638	13,564	0,192	0,165	6,59	5,66	12,26
03/13/20	cerah	28,19	17,122	17,020	17,662	17,382	0,540	0,362	19,16	12,84	32,00
03/19/20	cerah	29,96	17,612	14,218	17,923	14,706	0,311	0,488	10,38	16,29	26,67
03/25/20	cerah	29,5	16,932	10,930	17,285	11,225	0,353	0,295	11,97	10,00	21,97
03/31/20	cerah	28,9	17,194	13,025	17,353	13,883	0,159	0,858	5,50	29,69	35,19
04/06/20	cerah	25,1	17,127	13,110	17,816	13,350	0,689	0,240	27,45	9,56	37,01
Maks.									27,45	46,52	64,82
Min.									3,95	5,04	9,31
Rata-rata									11,47	16,02	27,49

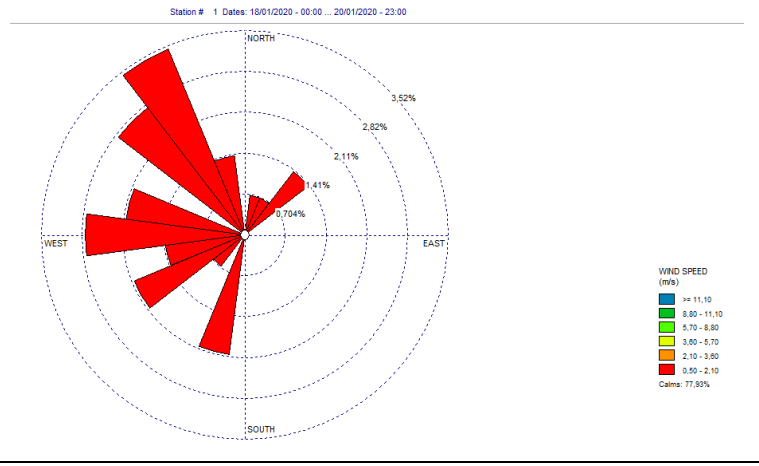
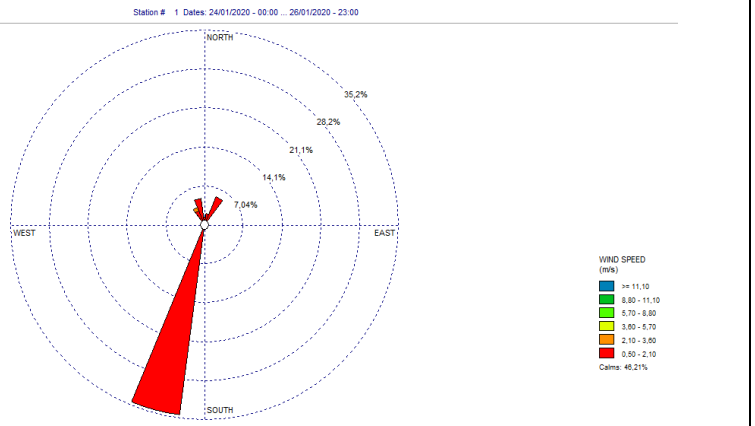
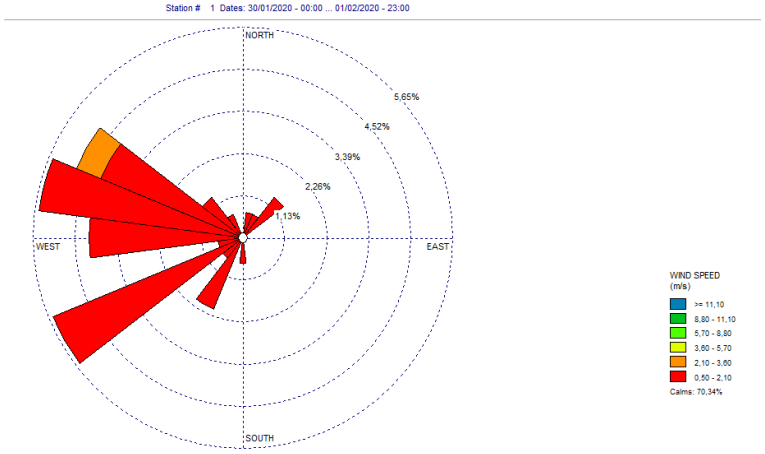
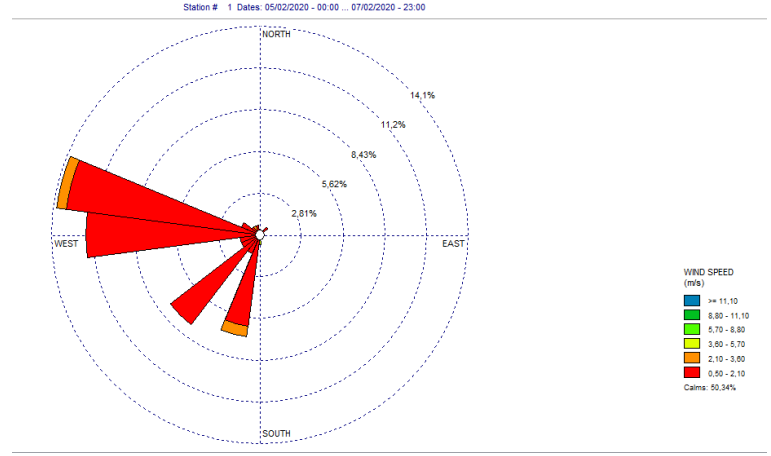
LAMPIRAN2 ARAH ANGIN DOMINAN PER HARI

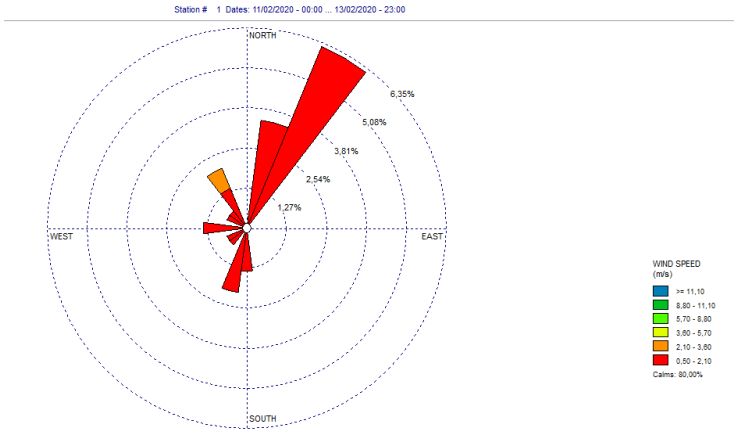
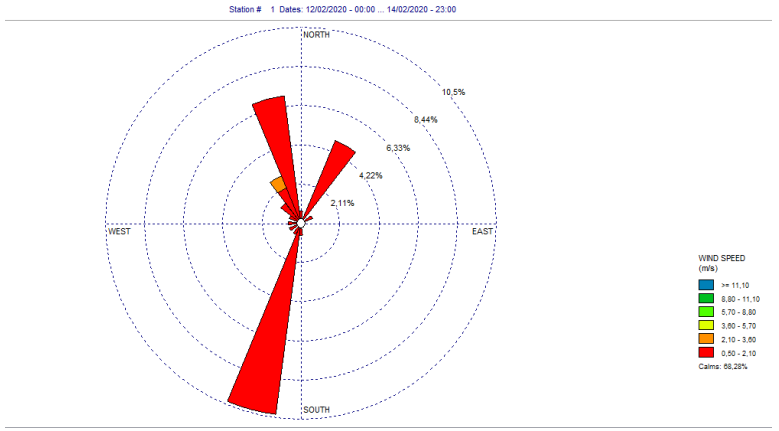
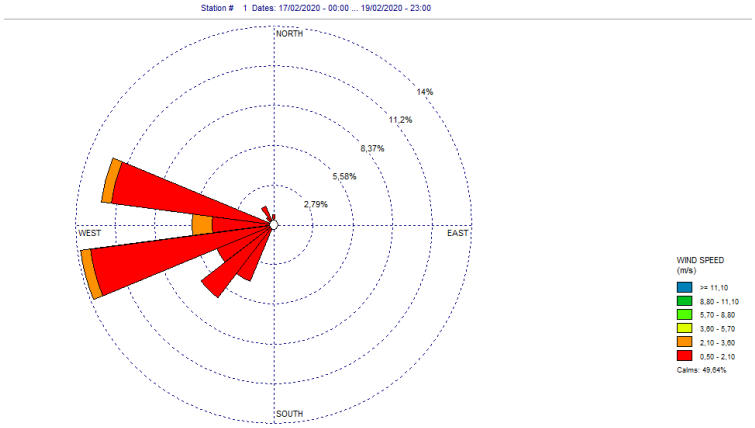
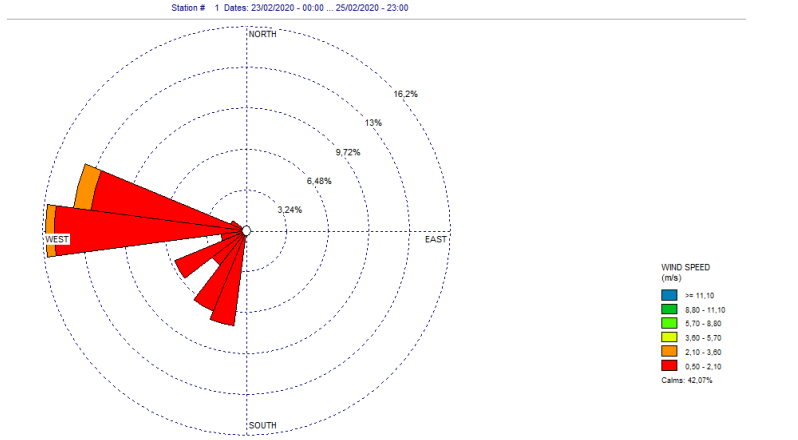
	
21 Oktober 2019	27 Oktober 2019
	
2 November 2019	8 November 2019

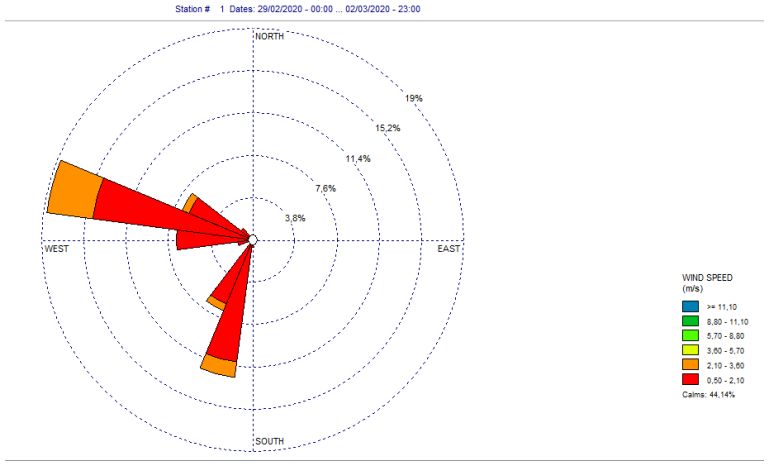
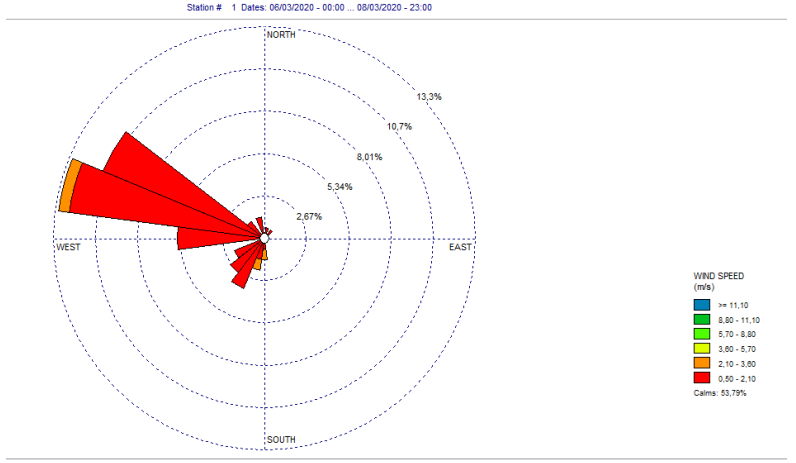
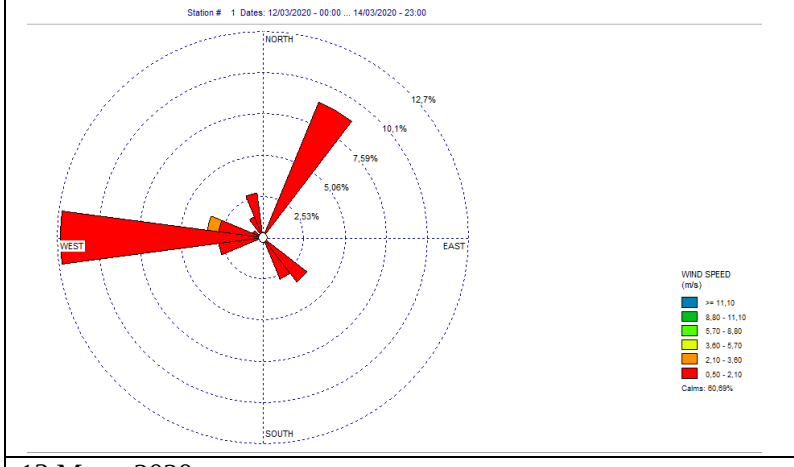
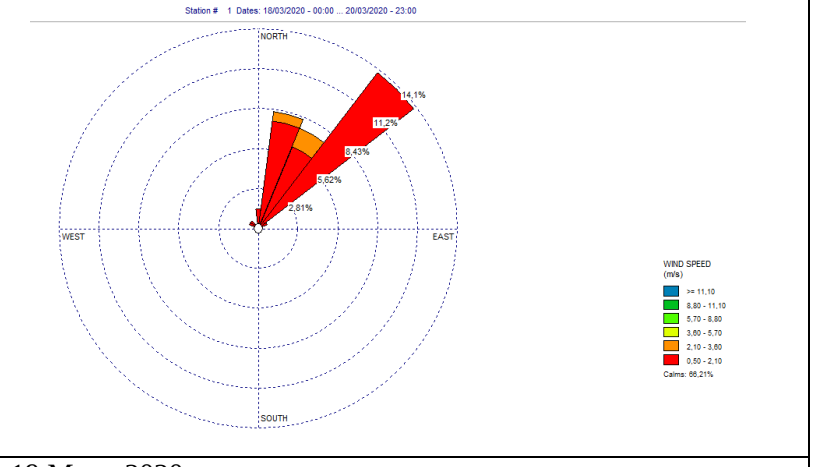
	
14 November 2019	20 November 2019
	
26 November 2019	2 Desember 2019

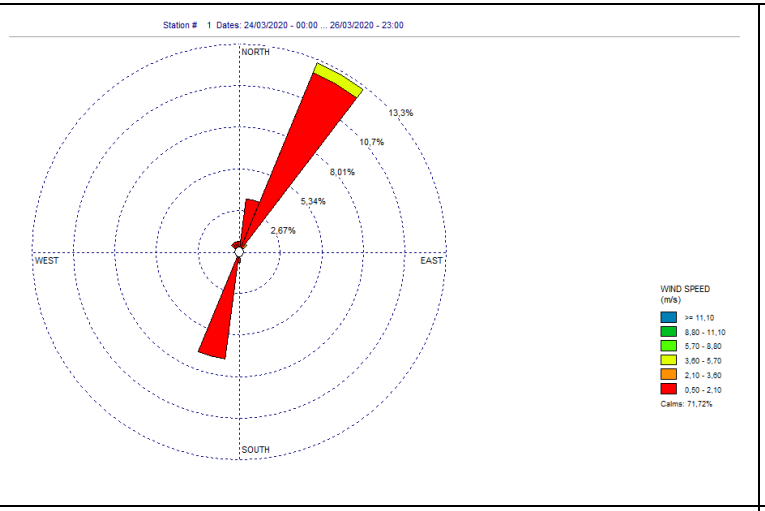
	
8 Desember 2019	14 Desember 2019
	
20 Desember 2019	26 Desember 2019

	
31 Desember 2019	1 Januari 2020
	
7 Januari 2020	13 Januari 2020

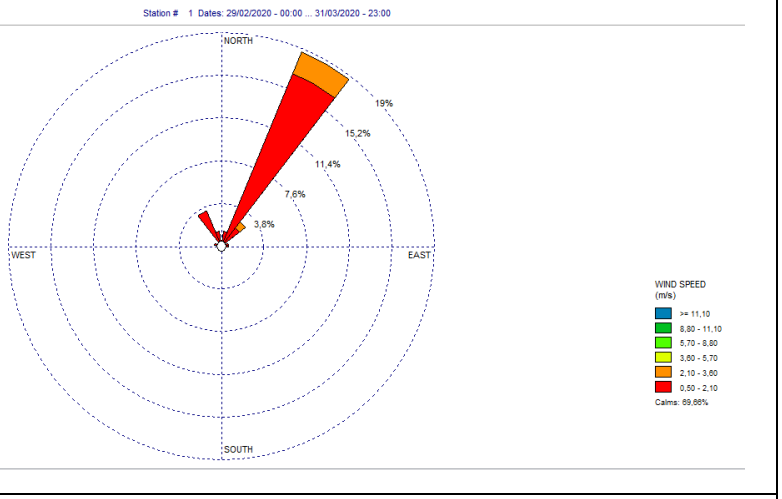
	
19 Januari 2020	25 Januari 2020
	
31 Januari 2020	6 Februari 2020

	
12 Februari 2020	13 Februari
	
18 Februari 2020	24 Februari 2020

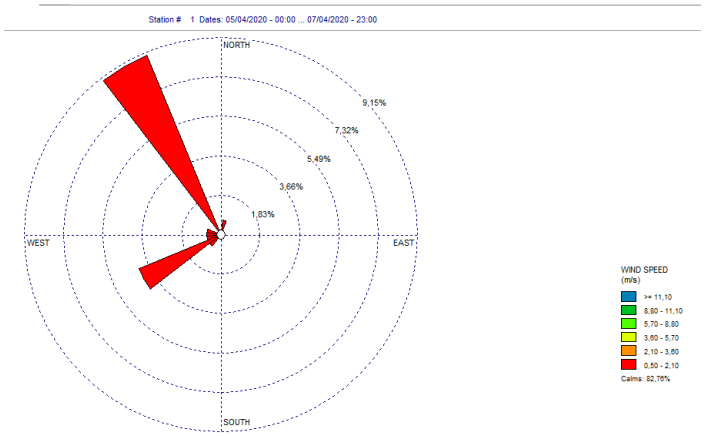
	
1 Maret 2020	7 Maret 2020
	
13 Maret 2020	19 Maret 2020



25 Maret 2020



31 Maret 2020



6 April 2020

LAMPIRAN 3 KONSENTRASI UNSUR PADA $PM_{2,5}$

Tanggal sampling	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb
12/14/2019	155.5	10.8	72.2	168.8	906.3	5.8	130.2	83.4	3.94	0.63	0.42	1.58	85.3	0.85	1.32	62.9	3.9	6.0
12/20/2019	221.5	17.1	109.5	270.7	1142.5	6.5	218.5	148.3	5.98	1.03	0.48	8.04	138.6	0.82	2.33	30.9	5.0	12.0
12/26/2019	101.6	-19.2	16.6	67.4	360.6	5.0	94.7	54.6	-0.06	0.00	0.87	1.89	44.1	0.31	0.01	49.5	1.4	8.2
12/31/2019	127.3	12.2	37.7	97.7	1161.9	3.3	141.7	68.8	2.45	0.00	0.42	3.39	71.4	0.83	1.12	35.1	0.7	5.5
1/1/2020	-24.4	14.2	13.6	40.6	272.3	0.7	29.9	6.9	1.39	0.00	0.53	0.56	14.2	0.00	0.00	2.0	0.7	1.4
1/7/2020	121.5	15.7	10.8	37.2	628.1	0.3	61.1	39.6	0.77	0.22	0.91	0.89	26.2	0.17	0.11	13.8	-1.1	-0.2
10/15/2019	188.2	46.6	81.2	206.2	449.6	4.9	151.4	91.3	5.63	1.59	0.12	1.95	106.6	0.14	0.90	14.6	3.8	5.4
10/21/2019	219.2	143.2	285.4	700.1	676.4	10.4	324.1	512.8	19.87	0.67	0.13	5.75	370.0	0.65	4.09	28.4	6.9	12.5
10/27/2019	110.0	60.4	46.8	148.0	510.7	5.1	147.7	61.3	3.12	1.14	0.00	1.64	66.0	1.16	2.37	56.8	3.3	5.6
11/2/2019	168.9	42.1	51.3	175.4	850.7	6.0	191.8	73.5	3.21	0.43	0.00	1.58	65.3	0.00	2.34	16.6	2.1	8.2
11/8/2019	144.6	27.3	26.3	71.0	355.2	4.1	101.6	31.1	2.61	0.84	0.00	3.49	44.8	0.20	1.06	27.3	2.0	6.0
11/14/2019	346.9	60.2	146.3	369.9	930.1	7.6	334.5	170.6	10.45	2.69	0.69	11.59	185.2	1.70	1.87	24.9	6.4	5.4
11/20/2019	122.6	55.1	122.7	299.7	561.5	4.2	148.0	75.3	7.78	1.34	0.00	4.84	130.5	0.78	0.13	27.1	1.8	3.8
11/26/2019	307.0	78.1	97.5	377.3	1003.0	6.6	204.1	204.3	7.19	1.01	0.39	7.49	167.2	1.07	3.29	49.4	4.7	7.9
12/2/2019	245.7	58.0	71.6	194.0	655.8	4.6	187.2	98.0	4.87	0.58	0.52	5.45	97.3	0.01	1.55	78.1	3.9	7.3
12/8/2019	154.1	54.9	99.4	239.5	946.4	7.3	241.8	90.6	7.71	1.17	0.30	6.64	123.4	0.64	3.14	35.7	4.8	5.7
1/13/2020	86.6	41.4	0.0	20.7	345.9	2.8	39.1	21.6	0.12	0.03	0.29	0.37	24.9	0.60	0.00	11.8	0.6	0.2
1/19/2020	284.6	46.4	35.1	156.9	1655.1	7.9	121.1	86.0	4.33	0.59	0.40	3.47	87.5	0.65	4.76	165.1	3.3	74.5
1/25/2020	71.1	30.0	12.1	67.1	550.5	1.8	37.3	26.1	1.03	0.31	0.00	1.60	31.4	0.38	0.47	8.6	0.1	7.8

Tanggal sampling	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb
1/31/2020	169.4	33.4	7.4	62.1	721.7	3.7	113.1	65.1	4.60	0.54	0.13	3.29	71.7	0.52	1.53	51.4	1.6	7.2
2/6/2020	38.3	14.4	7.6	66.7	341.0	1.2	64.6	41.0	1.90	0.02	0.11	0.68	37.1	0.30	0.99	22.4	0.1	1.9
2/12/2020	175.2	56.0	66.9	195.2	1079.2	8.9	273.5	99.9	8.98	0.81	1.55	12.64	208.2	1.01	4.05	173.4	3.7	83.6
2/13/2020	124.9	66.4	51.8	162.1	535.2	7.7	189.5	163.7	5.26	0.60	1.34	6.97	126.1	0.84	1.70	141.1	1.7	28.1
2/18/2020	101.1	30.6	5.7	47.7	533.6	2.3	91.8	44.6	2.23	0.00	0.08	0.81	44.3	0.26	0.48	31.6	0.8	1.0
2/24/2020	130.6	29.4	0.2	44.6	335.6	0.8	65.0	48.6	1.78	0.00	0.60	0.72	36.0	0.98	0.38	27.9	1.1	2.2
3/1/2020	141.9	38.7	0.0	29.4	388.3	3.3	62.0	29.3	1.17	0.06	0.21	1.51	21.2	1.00	1.77	31.4	1.9	1.9
3/7/2020	95.4	74.0	0.0	40.2	460.3	16.7	58.0	31.6	2.17	0.00	0.12	2.94	32.7	0.00	0.00	24.5	1.6	3.9
3/13/2020	279.5	48.4	15.7	139.6	1277.8	23.9	218.2	86.2	5.55	0.63	0.68	4.44	97.4	0.06	1.80	135.3	7.6	29.2
3/19/2020	88.9	81.5	17.1	96.6	406.1	19.6	191.0	100.1	3.34	0.39	0.18	2.14	60.1	0.00	2.25	77.1	15.4	9.7
3/25/2020	432.6	66.2	7.6	138.9	605.4	41.8	99.5	77.5	6.20	0.76	0.60	8.06	94.2	0.00	1.18	439.2	5.6	127.4
3/31/2020	107.6	60.3	0.0	62.7	230.4	19.2	62.2	50.0	1.42	0.00	0.83	0.89	44.1	0.00	0.60	33.9	2.4	32.4
4/6/2020	241.3	47.6	12.0	118.9	1057.8	40.4	217.5	68.8	8.76	0.17	0.66	8.57	141.7	0.89	2.75	117.0	5.8	31.3

LAMPIRAN 4 KONSENTRASI UNSUR PADA $PM_{2,5-10}$

Tanggal sampling	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb
12/14/2019	169.8	121.2	251.1	621.4	194.8	207.6	103.4	692.9	22.1	0.98	1.24	9.57	369.9	1.68	3.15	18.1	3.9	2.6
12/20/2019	375.5	198.9	353.1	892.9	366.7	452.9	156.2	946.9	32.6	1.33	1.95	14.10	557.8	1.75	1.85	125.8	5.8	9.2
12/26/2019	254.0	163.7	437.5	1173.8	440.0	396.0	223.6	1544.2	44.2	1.64	2.10	18.68	760.8	1.14	4.13	230.4	6.2	29.0
12/31/2019	72.0	57.0	69.1	225.3	147.4	54.5	61.2	287.8	8.3	0.34	0.68	5.04	151.2	1.18	0.85	17.6	1.2	1.0
1/1/2020	183.1	76.4	54.7	153.2	96.4	113.1	39.0	214.5	7.1	0.48	1.10	2.10	93.8	0.00	0.00	8.5	0.7	1.6
1/7/2020	59.2	49.7	100.9	290.9	79.8	69.1	44.8	212.9	15.9	0.91	0.27	2.28	146.4	0.00	0.84	5.0	2.0	0.3
10/15/2019	240.5	86.9	237.6	864.9	293.9	814.9	204.7	940.7	44.4	1.70	0.76	13.51	730.7	0.50	2.82	34.9	4.0	3.7
10/21/2019	431.0	451.0	894.2	2358.4	500.2	741.9	371.3	2204.9	79.5	3.71	0.53	28.17	1366.8	0.78	4.88	53.4	9.8	13.7
10/27/2019	329.9	149.3	212.0	641.7	157.8	295.1	99.8	452.8	21.0	0.61	0.45	8.81	315.0	0.01	2.14	44.0	1.5	2.3
11/2/2019	439.0	188.3	200.9	603.4	211.6	703.0	115.3	533.8	19.1	0.72	0.41	8.30	300.7	0.60	3.45	22.8	2.8	1.4
11/8/2019	401.7	233.8	385.7	1059.5	257.3	443.8	177.4	934.1	38.6	1.84	1.02	13.07	620.3	0.87	4.33	59.6	0.8	4.2
11/14/2019	374.3	251.3	435.0	1213.7	316.8	432.5	216.0	1076.3	39.3	2.97	0.92	13.60	647.5	0.49	3.26	46.1	2.8	2.7
11/20/2019	410.4	181.8	643.2	1770.9	333.2	488.8	246.7	1003.5	60.0	2.10	0.80	19.60	866.9	0.00	3.15	44.1	2.2	4.6
11/26/2019	376.8	249.3	381.5	1152.9	318.3	636.2	167.7	1421.6	38.5	1.73	0.86	13.73	682.0	1.32	8.31	40.0	3.8	3.0
12/2/2019	433.2	271.2	364.2	998.7	310.8	558.4	196.8	1059.4	34.7	0.98	2.18	10.23	577.8	1.47	5.20	108.4	3.3	7.8
12/8/2019	42.9	96.6	204.4	588.8	137.1	88.0	94.2	492.4	18.8	0.63	0.37	5.34	310.3	0.17	3.69	24.8	0.3	2.1
1/13/2020	448.5	177.0	92.2	274.7	166.1	605.3	66.2	362.7	11.5	0.54	0.16	4.13	240.7	0.32	1.17	15.5	2.1	3.3
1/19/2020	250.8	143.8	120.9	337.7	255.6	240.8	68.2	409.1	12.6	0.62	0.31	6.31	257.2	0.08	0.78	83.3	2.6	9.1
1/25/2020	94.8	60.8	134.7	393.9	213.3	73.0	57.2	358.6	14.2	0.64	0.00	6.06	230.4	0.00	2.71	14.0	1.0	4.7

Tanggal sampling	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Pb
1/31/2020	187.2	114.2	78.6	210.9	114.7	206.2	47.1	302.0	10.8	0.36	0.32	4.43	152.3	0.06	0.56	24.0	1.6	3.0
2/6/2020	146.9	69.9	230.2	567.9	205.0	193.8	93.8	447.7	21.9	0.90	0.00	5.32	341.5	0.00	0.47	28.3	3.3	3.6
2/12/2020	54.6	56.5	306.8	801.1	261.4	230.5	128.6	667.9	31.3	0.64	1.21	15.06	534.7	0.11	2.26	125.3	5.2	18.2
2/13/2020	248.2	230.4	586.0	1481.6	529.0	549.7	255.6	1659.4	52.2	2.64	1.96	31.31	933.9	0.46	5.39	447.6	9.0	53.5
2/18/2020	47.0	32.7	57.0	184.3	66.4	80.9	36.9	228.9	8.7	0.66	0.55	5.13	118.2	0.11	0.00	11.9	1.7	2.0
2/24/2020	245.0	75.9	115.8	314.8	117.5	324.6	64.8	442.5	12.0	0.14	0.37	3.75	204.8	0.08	0.69	47.2	2.5	3.9
3/1/2020	222.4	85.7	42.3	162.6	79.7	192.7	49.8	210.5	7.8	0.56	0.60	2.28	107.6	0.00	0.89	20.7	1.1	1.4
3/7/2020	194.2	67.8	63.0	221.3	117.0	111.4	61.1	203.2	9.3	0.00	0.00	1.81	133.4	0.00	1.69	32.9	0.6	1.1
3/13/2020	228.0	105.7	151.9	496.9	287.0	259.1	111.1	512.7	19.9	1.10	2.25	6.80	347.2	0.96	5.09	152.5	3.9	10.7
3/19/2020	256.5	168.2	203.8	583.4	193.1	403.4	140.3	840.8	24.3	0.17	0.89	6.87	335.0	0.29	3.15	102.7	8.4	5.7
3/25/2020	97.6	36.7	200.0	563.9	143.5	321.3	89.2	389.7	20.7	1.23	0.00	7.50	338.6	0.54	0.51	309.6	2.3	21.3
3/31/2020	126.1	247.5	565.7	1441.5	335.0	496.8	222.6	1224.0	48.4	2.27	0.58	15.71	800.2	0.00	3.56	252.6	3.5	105.9
4/6/2020	162.2	81.8	131.2	373.1	192.1	134.9	97.5	309.6	19.7	1.20	0.51	5.37	271.7	0.31	2.52	102.3	2.4	6.3

LAMPIRAN 5 MATRIKS KORELASI TIAP UNSUR PADA $PM_{2,5}$

	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	
Na	1	0.122	0.077	0.219	0.308	0.267	0.271	0.145	0.268	0.199	0.006	0.423	0.24	0.062	0.141	0.399	
Mg	0.122	1	0.385	0.394	0	0.134	0.254	0.462	0.469	0.054	0.018	0.13	0.406	0.051	0.283	0.044	
Al	0.077	0.385	1	0.933	0.032	0.011	0.529	0.744	0.735	0.271	0.019	0.19	0.772	0.109	0.178	0.04	
Si	0.219	0.394	0.933	1	0.112	0.001	0.621	0.83	0.83	0.292	0.004	0.304	0.864	0.085	0.262	7.00E-05	
S	0.308	0	0.032	0.112	1	0.019	0.269	0.055	0.133	0.055	0.01	0.255	0.157	0.033	0.382	0.068	
Cl	0.267	0.134	0.011	0.001	0.019	1	0.032	0.005	0.064	0	0.009	0.134	0.028	0	0.026	0.511	
K	0.271	0.254	0.529	0.621	0.269	0.032	1	0.499	0.685	0.367	0.03	0.578	0.717	0.131	0.39	0.012	
Ca	0.145	0.462	0.744	0.83	0.055	0.005	0.499	1	0.743	0.072	0.003	0.19	0.815	0.04	0.264	0.001	
Ti	0.268	0.469	0.735	0.83	0.133	0.064	0.685	0.743	1	0.226	0.00004	0.464	0.938	0.075	0.33	0.035	
V	0.199	0.054	0.271	0.292	0.055	0	0.367	0.072	0.226	1	0.003	0.293	0.2	0.135	0.006	0	
Cr	0.006	0.018	0.019	0.004	0.01	0.009	0.03	0.003	0.00004	0.003	1	0.186	0.013	0.038	0.001	0.104	
Mn	0.423	0.13	0.19	0.304	0.255	0.134	0.578	0.19	0.464	0.293	0.186	1	0.492	0.207	0.248	0.2	
Fe	0.240	0.406	0.772	0.864	0.157	0.028	0.717	0.815	0.938	0.2	0.013	0.492	1	0.09	0.359	0.024	
Ni	0.062	0.051	0.109	0.085	0.033	0	0.131	0.04	0.075	0.135	0.038	0.207	0.09	1	0.11	0.002	
Cu	0.141	0.283	0.178	0.262	0.382	0.026	0.39	0.264	0.33	0.006	0.001	0.248	0.359	0.11	1	0.043	
Zn	0.399	0.044	0.04	7.00E-05	0.068	0.511	0.012	0.001	0.035	0	0.104	0.2	0.024	0.002	0.043	1	
Br	0.162	0.283	0.071	0.154	0.049	0.278	0.368	0.168	0.202	0.065	0.016	0.137	0.171	0.053	0.193	0.088	
Pb	0.337	0.047	0.016	0.001	0.111	0.423	0.013	0.003	0.048	0.00002	0.161	0.226	0.047	0.009	0.112	0.855	

LAMPIRAN 6 MATRIKS KORELASI TIAP UNSUR PADA $PM_{2,5-10}$

	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	
Na	1	0.547	0.199	0.227	0.215	0.564	0.265	0.233	0.201	0.141	0.031	0.14	0.211	0.111	0.157	0.003	
Mg	0.547	1	0.649	0.648	0.529	0.504	0.655	0.691	0.566	0.506	0.041	0.476	0.606	0.136	0.393	0.037	
Al	0.199	0.649	1	0.986	0.742	0.377	0.908	0.842	0.935	0.769	0.094	0.84	0.929	0.111	0.342	0.175	
Si	0.227	0.648	0.986	1	0.741	0.436	0.938	0.853	0.965	0.786	0.087	0.833	0.953	0.113	0.386	0.147	
S	0.215	0.529	0.742	0.741	1	0.426	0.805	0.835	0.755	0.617	0.327	0.848	0.825	0.178	0.415	0.317	
Cl	0.564	0.504	0.377	0.436	0.426	1	0.539	0.498	0.485	0.318	0.025	0.389	0.518	0.066	0.254	0.056	
K	0.265	0.655	0.908	0.938	0.805	0.539	1	0.898	0.959	0.765	0.144	0.828	0.963	0.123	0.406	0.173	
Ca	0.233	0.691	0.842	0.853	0.835	0.498	0.898	1	0.851	0.676	0.18	0.832	0.904	0.171	0.517	0.206	
Ti	0.201	0.566	0.935	0.965	0.755	0.485	0.959	0.851	1	0.782	0.098	0.84	0.978	0.099	0.359	0.152	
V	0.141	0.506	0.769	0.786	0.617	0.318	0.765	0.676	0.782	1	0.056	0.69	0.79	0.072	0.274	0.144	
Cr	0.031	0.041	0.094	0.077	0.327	0.025	0.144	0.18	0.098	0.056	1	0.177	0.119	0.412	0.252	0.339	
Mn	0.14	0.476	0.84	0.833	0.848	0.389	0.828	0.832	0.84	0.69	0.177	1	0.88	0.08	0.345	0.327	
Fe	0.211	0.606	0.929	0.953	0.825	0.518	0.963	0.904	0.978	0.79	0.119	0.88	1	0.111	0.393	0.185	
Ni	0.111	0.136	0.111	0.113	0.178	0.066	0.123	0.171	0.099	0.072	0.412	0.08	0.111	1	0.219	0.08	
Cu	0.157	0.393	0.342	0.386	0.415	0.254	0.406	0.517	0.359	0.274	0.252	0.345	0.393	0.219	1	0.059	
Zn	0.003	0.037	0.175	0.147	0.317	0.056	0.173	0.206	0.152	0.144	0.339	0.327	0.185	0.08	0.059	1	
Br	0.065	0.292	0.387	0.364	0.538	0.268	0.46	0.57	0.409	0.223	0.197	0.516	0.449	0.045	0.158	0.271	
Pb	0.018	0.087	0.228	0.19	0.222	0.053	0.178	0.194	0.179	0.173	0.038	0.236	0.201	0.002	0.045	0.527	

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, E.F., Santoso, M. (2016), "Analisis karakterisasi Konsentrasi dan Komposisi Partikulat Udara (Studi case : Surabaya)", Jurnal Kimia Valensi : *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, Vol. 2, No. 2 hal. 97-103

Alahabadi, A., Ehrampoush, M.H., Miri, M., Ebrahimi Aval, H., Yousefzadeh, S., Ghaffari, H.R., Ahmadi, E., Talebi, P., Abaszadeh Fathabadi, Z., Babai, F., Nikoonahad, A., Sharafi, K., Hosseini-Bandegharaei, A.(2017),"A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air",*Chemosphere*Vol.172, hlm. 459–467. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.045

Alam, K., Mukhtar, A., Shahid, I., Blaschke, T., Majid, H., Rahman, S., Khan, R., Rahman, N.(2014). Source Apportionment and Characterization of Particulate Matter (PM10) in Urban Environment of Lahore. Aerosol Air Qual. Res. 14, 1851–1861. https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.01.0005

Al-Hakim, A.H. (2014), "Evaluasi Efektivitas Tanaman dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakteristik Fisik Pohon pada Jalur Hijau Jalan Pajajaran Bogor [Skripsi]". Institut Pertanian Bogor, Bogor

Amrin dan Ardilla, D. (2013), "Analisis Besi (Fe) dan Alumunium (Al) dalam Tanah Lempung Secara Spektrofotometri Serapan Atom, Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Lampung

Banerjee, T., Murari, V., Kumar, M., Raju, M.P.(2015),"Source apportionment of airborne particulates through receptor modeling: Indian scenario",*Atmospheric Research*Vol. 164–165, hal. 167–187. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.04.017

Betha, R., Pradani, M., Lestari, P., Joshi, U.M., Reid, J.S., Balasubramanian, R. (2013), "Chemical Speciation of Trace Metals Emitted from Indonesian Peat Fires for Health Risk Assessment", *Atmos Res. Elsevier B.*Vol. 122

Cahyadi, W., Achmad, B., Suhartono, E., Razie, F., (2016), "Pengaruh Faktor Meteorologis dan Konsentrasi Partikulat (PM_{10}) Terhadap Kejadian ISPA

(Studi Kasus Kecamatan Banjarbaru Selatan, Kota Banjarbaru Tahun 2014-2015)", EnviroScienteae Vol. 12 No.3, hal.301–311

Chen, P., Bi, X., Zhang, J., Wu, J., Feng, Y.(2015),"Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM2.5 in Tianjin, China",*Particuology*,Vol. 20, hal. 104–109. https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.04.020

Chueinta, W., Hopke, P.K., Paatero, P.(2000),"Investigation of Sources Atmospheric Aerosol at Urban and Suburban Residential Areas in Thailand by Positive Matrix Factorization",*Atmospheric Environment*Vol. 34, hal. 3319–3329.

Dahlan, E., N., 1989. "Studi Kemampuan TanamanDalam Menjerap dan Menyerap Timbal Emisi dari KendaraanBermotor [Tesis]". Institut Pertanian Bogor, Bogor

Dahlan, E., N., 2004. "Membangun Kota KebunBernuansa Hutan Kota". Bogor: IPB Press.

Dai, Q.L., Xiao, H. B., Jian, H. W., Jian, H. W., Jian H. W., Yu, F. Z., Jing, W., Hong, X., Lin, Y., Li, J., Yin, C.F. (2015),"Characterization and Source Identification of Heavy Metals in Ambient PM_{10} and $PM_{2.5}$ in an Integrated Iron and Steel Industry Zone Compared with a Background Site", *Aerosol and Air Quality Research* Vol. 15, hal. 875–887

Darmawan, A. (2013), "Penyakit Sistem Respirasi Akibat Kerja", *JMJ*, Vol. 1, No. 1, hal. 68-83

De Bruin, Y.B., Koistinen, K., Yli-Tuomi, T., Kephalopoulos, S., Jantunen, M. (2006), *A Review of Source Apportionment Techniques and Marker Substances, Available for Identification of Personal Exposure Indoor and Outdoor Sources of Chemicals*. European Commission Directorate General Joint Research Center. Italy

Dinas Perhubungan Kota Surabaya. (2012). "Analisa Survey Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR). Kota Surabaya

Du, L., Wang, Y., Wu, Z., Hou, C., Mao, H., Li, T., Nie, X. (2019),"PM2.5-Bound Toxic Elements in an Urban City in East China: Concentrations,

Sources, and Health Risks",*International Journal of Environment Research and Public Health*,Vol. 16, No. 164. https://doi.org/10.3390/ijerph16010164

Elhadi, R., Abdullah, A.M., Abdullah, A.H., Hanan Ash'aari, Z., Kura, N.U., D. Y., G., Adamu, A. (2017),"Source Identification of Heavy Metals in Particulate Matter (PM_{10}) in a Malaysian Traffic Area Using Multivariate Techniques",*Polish Journal of Environmental Studies*,Vol. 26, No. 6 2523–2532https://doi.org/10.15244/pjoes/6994

European Environmental Agency (2013), *Air Quality in Europe - 2013 Report*, European Environment Agency Report, Copenhagen (Denmark)

Fernando, J.A., Huboyo, H.S., Zaman, B. (2017), "Identifikasi Kontribusi Pencemaran PM_{10} Menggunakan Metode Reseptor Chemical Mass Balance (CMB) (Studi Kasus: Kota Pekanbaru, Provinsi Riau)", Vol. 6, No. 13.

Gao, J., Peng, X., Chen, G., Xu, J., Shi, G.-L., Zhang, Y.-C., Feng, Y.-C. (2016),"Insights into the chemical characterization and sources of PM2.5 in Beijing at a 1-h time resolution",*Science of The Total Environment* Vol. 542, hal. 162–171https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.082

Greater London Authority. Using Green Infrastructure to Protect People From Air Pollution.https://www.london.gov.uk/sites/default/files/green_infrastruture_air_pollution_may_19.pdf

Ho, W.-Y., Tseng, K.-H., Liou, M.-L., Chan, C.-C., Wang, C. (2018),"Application of Positive Matrix Factorization in the Identification of the Sources of $PM_{2.5}$ in Taipei City", International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 15, No. 1305. https://doi.org/10.3390/ijerph15071305

Hopke, P.K. (2000), "A Guide to Positive Matrix Factorization, in workshop on UNMIX and PMF as applied to $PM_{2.5}$", Willis, Elsevier Press, Amsterdam (NL)

Ingot S.R dan Lestari T.K. (2016), "Info Komoditi Garam", Badan Pengkajian dan Pengembangan Perdagangan. Jakarta

Jain, S., Sharma, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M., 2018. Source apportionment of PM_{10} in Delhi, India using PCA/APCS, UNMIX and PMF. Particuology 37, 107–118. https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.05.009

Jaya, N.T.S.P, Hartati R., dan Widianingsih. (2016), "Produksi Garam dan Bittern di Tambak Garam, Jurnal Kelautan Tropis Vol. 19 No.1 hal. 43-47

Jena, S., Perwez, A., Singh, G.(2019),"Trace element characterization of fine particulate matter and assessment of associated health risk in mining area, transportation routes and institutional area of Dhanbad, India". Environmental Geochemistryand Health,Vol. 41, hal. 2731–2747. https://doi.org/10.1007/s10653-019-00329-z

Khan, M.F., Sulong, N.A., Latif, M.T., Nadzir, M.S.M., Amil, N., Hussain, D.F.M., Lee, V., Hosaini, P.N., Shaharom, S., Yusoff, N.A.Y.M., Hoque, H.M.S., Chung, J.X., Sahani, M., Mohd Tahir, N., Juneng, L., Maulud, K.N.A., Abdullah, S.M.S., Fujii, Y., Tohno, S., Mizohata, A.(2016),"Comprehensive assessment of PM 2.5 physicochemical properties during the Southeast Asia dry season (southwest monsoon): Aerosol Load in Tropical Monsoon Season", Journal of Geophysical Research: Atmosphere, Vol. 121, hal. 14.589-14.611https://doi.org/10.1002/2016JD025894

Khillare, P.S., Sarkar, S. (2012),"Airborne inhalable metals in residential areas of Delhi, India: distribution, source apportionment and health risks". Atmospheric Pollution Research, Vol. 3, hal. 46–54. https://doi.org/10.5094/APR.2012.004

Kim, K.-H., Kabir, E., Kabir, S. (2015), "A Review on the Human Health Impact of Airborne Particulate Matter", *Environment International,* Vol. 74, hal. 136–143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005

Laksana, M.S.D., Suproborini, A., Kusumawati., N. (2019), "Kandungan Timbal Tanaman Lansekap Jalan (Streetscape) Kota Madiun Propinsi Jawa Timur". Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UNIPMA, Universitas PGRI Madiun

Lestiani, D.D., Santoso, M., Kurniawati, S., Markwitz, A.(2013). Characteristic of Airborne Particulate Matter Samples Collected From two semi industrial sites in bandung, indonesia. Indones. J. Chem. 13, 271–277. https://doi.org/10.22146/ijc.21287

Liu, K., Shang, Q., Wan, C., Song, P., Ma, C., Cao, L.(2017),"Characteristics and Sources of Heavy Metals in $PM_{2.5}$ during a Typical Haze Episode in Rural and Urban Areas in Taiyuan, China",*Atmosphere*,Vol. 9, No. 2. https://doi.org/10.3390/atmos9010002

Liu, Y., Xing, J., Wang, S., Fu, X., Zheng, H.(2018),"Source-specific speciation profiles of PM2.5 for heavy metals and their anthropogenic emissions in China",*Environmental Pollution*Vol. 239, hal. 544–553. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.047

Mahdi, I.F dan Soemardiono, B. (2018). "Kompleks Pengembangan Garam Terpadu Surabaya", Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 7 No. 2

Merétei, T., Bite, P.Z., Báthory, C., Bolla, Z. (2017), "Particulate Matter and Heavy Metal Air Pollution in the Middle East Region", Material Science and Engineering, Vol. 42, No. 1 hal. 86-93

Mölter, M., Agius, Rm., Vocht, F., Lindley, S., Gerrard, W., Lowe, L., Belgrave, D., Custovic, A., Simpson, A. (2010), "Long-term Exposure to PM_{10} and NO_2 in Association with Lung Volume and Airway Resistance in the MAAS Birth Cohort", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 10, No. 121, hal. 1232-1238.

Mukhtar, R., Wahyudi, H., Hamonangan, P.E., Lahtiani, S., Santoso, M., Dwiana L.D., Kurniawati, S. (2013), "Kandungan Logam Berat dalam Udara Ambien pada Beberapa Kota di Indonesia", *Ecolab*, Vol. 7, hal. 49–59. https://doi.org/10.20886/jklh.2013.7.2.49-59

Mukhtar, R., Esron H., Hari W., Muhayatun S., Syukria, K. (2013), "Komponen Kimia $PM_{2,5}$ dan PM_{10} di Udara Ambien di Serpong-Tangerang", *Ecolab*, Vol. 7, hal. 1-48

Mukhtar, R., Lahtiani, S., Hamonangan, E., Wahyudi H., Santoso, M.H., Lestiani, D. D. (2014), "Kajian Baku Mutu Logam Berat di Udara Ambien

Sebagai Bahan Masukan Lampiran PP 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Ecolab, Vol. 1, No. 8

Nasrullah, N., Soertini G., Herry S., Marietje W., Andi W.(2001), "Seleksi Tanaman Lanskap yang Berpotensi Tinggi Menyerap Polutan Gas NO2 dengan Menggunakan Gas NO_2 Bertanda 15N. Bulletin Taman danLanskap Indonesia Vol. 4 (1): 1-5.

Oktaviani, D.A., Prasasti, C.I. (2016), "The Physical and Chemical Air Quality, Worker's Characteristics, and Respiratory Symptoms Among Printing Workers in Surabaya", *JKL*, Vol. 8, No. 195. https://doi.org/10.20473/jkl.v8i2.2016.195-205

Paatero, P. (1997), "Least Squares Formulation of Robust, Non-Negative Factor Analysis", *Chemom. Intell. Lab. Syst*. Vol. 37, hal. 23-35.

Pandolfi, M., Gonzalez-Castanedo, Y., Alastuey, A., de la Rosa, J.D., Mantilla, E., de la Campa, A.S., Querol, X., Pey, J., Amato, F., Moreno, T., 2011. Source apportionment of PM10 and PM2.5 at multiple sites in the strait of Gibraltar by PMF: impact of shipping emissions. Environ Sci Pollut Res 18, 260–269. https://doi.org/10.1007/s11356-010-0373-4

Patel, K.S., Gupta, S., Ramteke, S., Rajhans, K.P., Nava, S. and Lucarelli, F. (2016),"Silica Particulate Pollution in Central India",*Journal of Environmental Protection*, Vol. 7, hal. 170-175.

Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara

Reff, A., Eberly, S.I., Bhave, P.V. (2007), "Receptor Modeling of Ambient Particulate Matter Data Using Positive Matrix Factorization: Review of Existing Methods", *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 57, hal. 146–154. https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465319

Rixson, L., Riani, E., Santoso, M. (2016), "Karakterisasi Paparan Long Term Particulate Matter di Puspiptek Serpong-Kota Tangerang Selatan", *J. Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Vol. 11, No. 51. https://doi.org/10.17146/jair.2015.11.1.2703

Robinson, M.S., Zhao, M., Zack, L., Brindley, C., Portz, L., Quarterman, M., Long, X., Herckes, P. (2011), "Characterization of $PM_{2.5}$Collected

During Broadcast and Slash-Pile Prescribed Burns of Predominately Ponderosa Pine Forests in Northern Arizona", *Atmospheric Environment* Vol. 45, hal. 2087–2094. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.01.051

Salam, A., Hossain, T., Siddique, M.N.A., Alam, A.M.S. (2008),"Characteristics of atmospheric trace gases, particulate matter, and heavy metal pollution in Dhaka, Bangladesh", *Air Quality, Atmosphere, and Health*, Vol. 1, 101–109. https://doi.org/10.1007/s11869-008-0017-8

Samet, J. M., Zeger, S. L., Dominici, F., Curriero, F., Coursac, I., Dockery, D. W., Schwartz, J., Zanobetti, A. (2000), "The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and Mortality from Air Pollution in the United States",*Research Reports of the Health Effects Institute,*Vol. 94, No. 5, hal. 70

Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C. (2000), "Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994", *The New England Journal of Medicine*, Vol. 343, No. 24

Santoso, M., Hopke, P.K., Hidayat, A., Diah, D.L. (2008), "Sources Identification of the Atmospheric Aerosol at Urban and Suburban Sites in Indonesia by Positive Matrix Factorization", *Science of Total Environment*, Vol. 397, hal. 229-237

Santoso, M., Sutisna, Taftazani, A., Darsono. Mulyaningsih, R., Lestiani, DD., Damastuti, E,. Kurniawati, S. (2010), "Peran Teknik Analisis Nuklir dalam Kesehaan dan Lingkungan", *Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VI*, Jakarta, 15-16 Juni 2010

Santoso, M., Lestiani, D.D., Mukhtar, R., Hamonangan, E., Syafrul, H., Markwitz, A., Hopke, P.K. (2011), "Preliminary Study of the Sources of Ambient Air Pollution in Serpong, Indonesia", *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 2, hal. 190–196. https://doi.org/10.5094/APR.2011.024

Santoso, M., Lestiani D.D. (2014), *Application of ED XRF in Supporting National Program of Air Quality Improvement in Indonesia*, XRF Newsletter, No. 26

Setiabudi, A., Hardian R., Muzakir, A. (2012), *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*, UPI Press, Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

Sinolungan, J.S.V. (2009), "Dampak Polusi Partikel Debu dan Gas Kendaraan Bermotor pada Volume dan Kapasitas Paru", *Jurnal Biomedik*, Vol. 1, No. 2, hal. 65-80

Soedomo, M. (2001),*Pencemaran Udara*. Institut Teknologi Bandung. Bandung

Suvarapu, L.N., Baek, S.-O. (2017). "Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review",*Toxicology and Industrial Health*, Vol. 33, No. 1, hal. 79–96https://doi.org/10.1177/0748233716654827

Swift, R. P. (1995), "Evaluation of a Field-Portable X-ray Fluorescence Spectrometry Method for Use in Remedial Activities", *Spectroscopy*, Vol. 10, No. 6, hal. 31-35

Tobing, F.M.L., Sidauruk, S., dan Meiliawati, R. (2019), "Kesulitan Memahami Konsep Kimia Unsur Golongan VII A (Halogen) pada Mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Palangka Raya", Jurnal Ilmiah Kanderang Tingang Vol. 10 No. 1 hal. 72-80

Wang, F., Zhang, Z., Acciai, C., Zhong, Z., Huang, Z., Lonati, G. (2018), "An Integrated Method for Factor Number Selection of PMF Model: Case Study on Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Wuhan", *Atmosphere*, Vol. 9, No. 390. https://doi.org/10.3390/atmos9100390

Widojoko, L. (2010), "Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar", Jurnal Teknik Sipil UBL, Vol. 1 No. 1

World Health Organization Air Quality Guidelines (2006), *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Global update 2005*, Summary of risk assessment, Geneva.

World Health Organization (2007). *Health Risks of Heavy Metals from Longrange Transboundary Air Pollution*, Joint WHO Convention Task Force on the Health Aspects of AirPollution

World Health Organization (2018), *World Health Statistic Monitoring Health for the SDGs*. WHO. Geneva

Wu, L., Luo, X.-S., Li, H., Cang, L., Yang, Jie, Yang, Jiangli, Zhao, Z., Tang, M.(2019),"Seasonal Levels, Sources, and Health Risks of Heavy Metals in Atmospheric $PM_{2.5}$ from Four Functional Areas of Nanjing City, Eastern China",*Atmosphere*, Vol. 10, No. 419https://doi.org/10.3390/atmos10070419

Wuisang, C., E., V., Budiarjono, Ugit, M., Aryanti, D. (2006), "Analisis Efek Tanaman Dalam Mereduksi Partikel danLogam Berat Timbel (Pb)". Institut Pertanian Bogor, Bogor

Yin. R, Wang. D., Deng. H., Shi. R., Chen, Z., (2013), "Heavy Metal Contamination and Assessment of Roadside and Foliar Dust along the Outer-Ring Highway of Shanghai, China". *J Environ Qual*. 2013 Vol.42 No. 6, hlm. 1724-1732 doi:10.2134/jeq2013.04.0150

Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E. (2006), "Multivariate Analysis of Heavy Metal Contamination in Urban Dusts of Xi'an, Central China", *Science of The Total Environment,* Vol. 355, hal. 176–186. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026

Zakaria, N., Azizah, R. (2013), "Analisis Pencemaran Udara (SO_2), Keluhan Iritasi Tenggorokan dan Keluhan Kesehatan Iritasi Mata pada Pedagang Makanan di Sekitar Terminal Joyoboyo Surabaya", The Indonesian *Journal of Occupational Safety and Health* Vol.2, No.1, hal. 75-81

Zannaria, N.D., Rosmini, D., Santoso, M. (2009), "Karakteristik Kimia Paparan Partikulat Terespirasi", *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. Vol. IX, No.1, hal. 37-50

Zhang, J.Q., Yang, H., Wang, Y.T., Zhang, Y.(2015),"$PM_{2,5}$ Pollution Level of Heavy Metals in Atmospheric Particles in Taiyuan",*Applied Mechanism and Materials*,Vol. 737, hal. 491–494https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.737.491

Zhang, Y., Ji, X., Ku, T., Li, G., Sang, N.(2016),"Heavy metals bound to fine particulate matter from northern China induce season-dependent health risks: A study based on myocardial toxicity", Environmental Pollution Vol. 216, hal. 380–390. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.072

Zajusz-Zubek, E., Kaczmarek, K., Mainka, A.(2015),"Trace Elements Speciation of Submicron Particulate Matter (PM_1) Collected in the Surroundings of Power Plants" International Journal of Environmental Research and Public Health Vol. 12, hal. 13085–13103. https://doi.org/10.3390/ijerph121013085

BIOGRAFI PENULIS

Penulis dilahirkan di Tuban pada 27 Desember 1994. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Latsari 1 Tuban pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Tuban tahun 2007-2010. Pada tahun 2010-2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Tuban. Selanjutnya pada tahun 2013 penulis menempuh pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan pendidikan sarjana dengan Tugas Akhir berjudul "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Laboratorium di Kampus ITS". Penulis melanjutkan pendidikan S2 pada tahun 2018 di Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis berharap segala bentuk komunikasi yang ingin disampaikan kepada penulis, baik mengenai penelitian maupun saran pengembangan penelitian dapat dikomunikasikan melalui email trestanurina@gmail.com