



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN PAPARAN LOGAM BERAT TERHADAP
SISWA SEKOLAH DI ZONA INDUSTRI WARU,
SIDOARJO**

DESYA SULISTYORINI SARASWATI

0321154000063

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

**STUDY OF HEAVY METAL EXPOSURE
TOWARDS SCHOOL STUDENTS IN WARU
INDUSTRIAL ZONE, SIDOARJO**

DESYA SULISTYORINI SARASWATI

0321154000063

Supervisor

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

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Environmental and Geo-Engineering

Institute Technology Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

Kajian Paparan Logam Berat Terhadap Siswa Sekolah di
Zona Industri Waru Sidoarjo

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

DESYA SULISTYORINI SARASWATI

NRP. 03211540000063

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S. T., MPEM.

NIP. 19820119 200501 1 001



KAJIAN PAPARAN LOGAM BERAT TERHADAP SISWA SEKOLAH DI ZONA INDUSTRI WARU, SIDOARJO

Nama Mahasiswa : Desya Sulistyorini Saraswati
NRP : 03211540000063
Departemen : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T.,
MEPM.

ABSTRAK

Logam atau metal merupakan salah satu bahan pencemar udara yang ikut bersama partikulat udara. Keberadaan logam berat di udara dapat disebabkan oleh aktivitas manusia maupun faktor alam. Salah satu aktivitas manusia tersebut adalah kegiatan industri yang menghasilkan emisi udara. Emisi yang dihasilkan berupa partikel berukuran $2.5 \mu\text{m}$ sampai dengan $10 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5-10}$) yang dapat mengandung logam berat. Logam berat dalam bentuk partikel dapat mempengaruhi kesehatan manusia jika masuk ke dalam pernapasan kemudian menembus ke bagian dalam paru-paru manusia. Selain itu, logam berat juga dapat menimbulkan penyakit gangguan pernafasan bahkan kematian dini. Maka dari itu, emisi polutan logam berat perlu dipantau agar kadar polutan di udara ambien tidak melampaui baku mutu yang telah ditetapkan. Kandungan partikel logam terdapat pada $\text{PM}_{2.5}$ dan $\text{PM}_{2.5-10}$. Namun, di Indonesia pemantauan kualitas udara untuk $\text{PM}_{2.5}$, terutama partikel logam, masih terbatas. Atas dasar itu, penelitian ini berfokus pada karakterisasi logam berat di udara ambien. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi paparan logam berat terhadap siswa sekolah dan mengestimasi lokasi sumber pencemar berdasarkan arah dan kecepatan angin di Zona Industri Waru, Sidoarjo.

Pengambilan sampel dilakukan dengan *personal sampler*. Kemudian filter tersebut diuji dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk melihat konsentrasi partikel logam. Hasil identifikasi

dan karakterisasi tersebut digunakan untuk menghitung nilai IEC (Inhalation Exposure Concentration) sebagai estimasi paparan logam berat yang terhirup selama kurun waktu tertentu. Tahap tersebut merupakan tahap awal dari studi epidemiologi yang mengkaitkan kejadian penyakit saluran pernafasan dengan hasil identifikasi dan karakterisasi paparan logam berat. Unsur-unsur kimia yang teridentifikasi adalah unsur Br, Mn, Al, I, V, Cl, Ti, Na, Hg, Pb, dan *black carbon* (BC).

Merujuk pada penelitian tersebut maka perlu dilakukan analisis paparan logam berat terhadap siswa sekolah sebagai reseptor dari pencemaran udara, Mengingat setiap unsur kimia tersebut mempunyai potensi bahaya bagi fungsi fisiologis tubuh. Data mengenai paparan logam berat yang memapari siswa sekolah sebagai reseptor, khususnya untuk pemantauan perorangan belum banyak dilakukan. Sistem monitoring kualitas udara pada umumnya dilakukan dengan mengukur pencemaran udara ambien. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data paparan pencemaran udara pada manusia dan menjadi dasar studi epidemiologi dalam kaitannya dengan kondisi kesehatan masyarakat, Sehingga dapat menjadi masukan bagi pengambil keputusan untuk kesehatan lingkungan dan masyarakat, khususnya di Kota Surabaya.

Kata Kunci: Zona Industri, Logam Berat, *Particulate Matter* (PM), Pencemaran Udara, Udara Ambien.

STUDY OF HEAVY METALS EXPOSURE TOWARDS SCHOOL STUDENTS IN WARU INDUSTRIAL ZONE, SIDOARJO

Student Name : Desya Sulistyorini Saraswati
NRP : 0321154000063
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T.,
MEPM.

ABSTRACT

Metal is one type of air pollutant that exists along with air particulates. The presence of heavy metals in the air may be caused by human activities or natural factors. Among these human activities are industrial activities that produce air emissions. The emissions produced are in the form of particles sized 2.5 μm to 10 μm ($\text{PM}_{2.5-10}$) which may contain heavy metals. Heavy metals in the form of particles can affect human health if they enter into the respiratory system then penetrate inside human lungs. In addition, heavy metals can cause respiratory disorders and even premature death. Therefore, emissions of heavy metal pollutants need to be monitored so that the levels of pollutants in ambient air do not exceed the prescribed quality standards. The content of metal particles is found in $\text{PM}_{2.5}$ and $\text{PM}_{2.5-10}$. However, in Indonesia air quality monitoring for $\text{PM}_{2.5}$, especially metal particles, is still limited. On that basis, this study focuses on the characterization of heavy metals in ambient air. The purpose of this study is to identify heavy metal exposure towards school students and estimate the location of pollutant sources based on wind direction and speed in the Waru Industrial Zone, Sidoarjo.

Sampling is done with a personal sampler. The filter was then tested by X-Ray Fluorescence (XRF) device to know the concentration of metal particles. The results of the identification and characterization are used to calculate the IEC (Inhalation Exposure Concentration) value as an estimate of heavy metal

exposure inhaled for a certain period of time. This stage is the initial stage of an epidemiological study that links the incidence of respiratory diseases with the identification and characterization of heavy metal exposure. The chemical elements identified are elements of Br, Mn, Al, I, V, Cl, Ti, Na, Hg, Pb, and black carbon (BC).

Referring to the aforementioned study, it is necessary to analyze heavy metal exposure to school students as receptors of air pollution, considering that each of these chemical elements has a potential danger to physiological functions of the body. Data regarding heavy metal exposure that exposes school students as receptors, especially in individual monitoring, has not been studied much. The air quality monitoring system is generally carried out by measuring ambient air pollution. This research is expected to be able to complement data on exposure to air pollution in humans and become the basis of epidemiological studies in relation to public health conditions, so that it can be an input for decision makers of environmental health and society, especially in Surabaya City.

Keyword: Industrial Zone, Heavy Metals, Particulate Matter (PM), Air Pollution, Ambient Air

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S. T., MEPM. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan nasihatnya dalam penyelesaian tugas ini.
2. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M. T., Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S. Si., M. T., Bapak Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, M. T., selaku dosen pengarah serta Ibu Prof. Dr. Muhayatun Santoso, M.T beserta staf dari PSTNT-BATAN Bandung yang telah memberikan ilmu, arahan dan bimbingan yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian tugas ini.
3. Kepala SMP Dharma Wanita 8 Waru beserta staf pengajar dan Kepala MTs Darul Ulum Waru Sidoarjo beserta staf pengajar yang telah memberikan izin serta bantuan demi kelancaran tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua serta adik yang telah mendoakan dan memberikan dukungan sehingga tugas ini dapat selesai tepat waktu.
5. Teman-teman satu kelompok bimbingan yang senantiasa menemani dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2015 yang telah berjuang bersama-sama dan memberikan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Atika Kusumastuti, Adinda Larasati, Nadhila Ismiralda, Salwa Ena Ratiosa, Naufal Nabil dan teman-teman pengembangan minat dan bakat yang senantiasa memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB 2	5
KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Pencemaran Udara.....	5
2.2. Sumber Pencemaran Udara	8
2.3. <i>Particulate Matter (PM)</i>	9
2.4. Unsur Penyusun <i>Particulate Matter (PM)</i>	12
2.5. Unsur - Unsur Penanda dan Sumber Pencemar PM ...	16
2.6. Dampak Kesehatan <i>Particulate Matter (PM)</i> dan Mekanismenya	18
2.7. Spektroskopi <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1. Gambaran Umum	23
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.3. Kerangka Penelitian.....	24

3.4.	Ide Penelitian.....	25
3.5.	Studi Literatur.....	25
3.6.	Persiapan Sampling dan Penelitian	25
3.7.	Identifikasi Sumber Pencemar.....	32
BAB 4		35
HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Konsentrasi Massa Particulate Matter (PM)	35
4.2	Unsur - Unsur Kimia dalam Particulate Matter (PM) ..	39
4.1	Kalium (K)	43
4.2	Kalsium (Ca)	43
4.3	Vanadium (V).....	44
4.4	Mangan (Mn)	45
4.5	Besi (Fe).....	46
4.6	Kobalt (Co).....	47
4.7	Nikel (Ni).....	48
4.8	Seng (Zn)	50
4.9	Timbal (Pb)	51
4.10	Arsenik (As)	52
4.3	Identifikasi Sumber Pencemar.....	54
BAB 5		57
KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1.	Kesimpulan	57

5.2. Saran.....57

DAFTAR PUSTAKA..... 59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perbandingan ukuran untuk <i>Particulate Matter</i> (US EPA, 2013)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 XRF Spectrometer Epsilon5 PANalytical	22
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	24
Gambar 3.2 <i>Personal Dust Sampler</i> tipe Buck Libra Pump L-4	25
Gambar 3.3 Filter <i>PVC</i>	26
Gambar 3.4 Neraca <i>Microbalance</i>	26
Gambar 3.5 Wadah filter di dalam XRF	27
Gambar 3.6 XRF Spectrometer Epsilon5 PANalytical	27
Gambar 3.7 Kondisi filter di ruang bersih	28
Gambar 3.8 Penimbangan filter sebelum sampling	28
Gambar 3.9 Kaset Filter	29
Gambar 3.10 Penimbangan filter setelah sampling	29
Gambar 3.11 Pemasangan alat sampling	30
Gambar 3.12 Peta Lokasi Sampling	31
Gambar 3.13 <i>Kestrel</i>	32
Gambar 3.14 Lokasi <i>Kestrel</i> (Pin berwarna kuning)	33
Gambar 3.15 Software WRPLOT View	34
Gambar 4.1 <i>Personal Dust Sampler</i> yang terpasang	44

Gambar 4.2 Grafik <i>Particulate Matter</i>	38
Gambar 4.3 Windrose pada tanggal 15 Mei 2019.....	43
Gambar 4.4 Windrose pada tanggal 4 April 2019	44
Gambar 4.5 Windrose pada tanggal 9 April 2019	44
Gambar 4.6 Windrose pada tanggal 4 April 2019	44
Gambar 4.7 Windrose pada tanggal 16 Mei 2019.....	47
Gambar 4.8 Windrose pada tanggal 13 Mei 2019.....	48
Gambar 4.9 Windrose pada tanggal 13 April 2019	49
Gambar 4.10 Windrose pada tanggal 4 April 2019	50
Gambar 4.11 Windrose pada tanggal 16 Mei 2019.....	52
Gambar 4.12 Windrose pada tanggal 15 Mei 2019.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional.....	5
Tabel 2.2 Perbandingan nilai baku PM berdasarkan publikasi WHO, USA dan Indonesia.....	11
Tabel 2.3. Baku Mutu Logam Berat Pb di Udara Ambien	13
Tabel 2.4. Baku Mutu Logam Berat As (Arsen) di Udara Ambien.....	14
Tabel 2.5. Baku Mutu Logam Berat Mn (Mangan) di Udara Ambien.....	15
Tabel 2.6. Baku Mutu Logam Berat Ni (Nikel) di Udara Ambien.....	15
Tabel 2.7. Tinjauan Unsur Penanda PM Oleh De Bruin <i>et al</i> (2006).....	17
Tabel 3.1 Waktu dan Lokasi Sampling	30
Tabel 3.2 Tabel Data Kestrel.....	33
Tabel 4.1 Konsentrasi PM	36
Tabel 4.2 Konsentrasi Multi Unsur	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan populasi penduduk yang tinggi dengan aktivitas yang beragam mulai dari sektor pertanian, perkebunan, industri, perumahan dan transportasi mengakibatkan peningkatan polutan antropogenik yang juga mengakibatkan penurunan daya dukung lingkungan dan pada akhirnya dapat menimbulkan penyakit yang berhubungan dengan saluran pernafasan, selain itu juga memiliki pengaruh yang serius terhadap pemanasan global dan visibilitas. Perubahan kualitas udara dapat terjadi secara fisis maupun kimiawi seperti pengurangan maupun penambahan konsentrasi salah satu komponen yang juga disebut dengan pencemaran udara. Pencemaran lingkungan udara merupakan pencemaran yang tidak mengenal batas administrasi wilayah. Pencemaran udara di suatu wilayah tidak hanya berasal dari sumber pencemar lokal namun dapat pula berasal dari transportasi lintas provinsi maupun negara (Rixson *et al*, 2015).

Beberapa studi menunjukkan bahwa ± 20 partikel logam atau metal terdapat di udara, seperti logam Al, Ag, As, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Hg, I, K, La, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Sm, Ti, Si, Ni, S, V, Sr, dan Zn (Santoso, 2013). Logam berat tersebut terdapat didalam partikulat dalam ukuran $PM_{2.5}$ (WHO, 2007). Pencemaran yang disebabkan oleh partikel logam di Indonesia menjadi lebih buruk karena meningkatnya kegiatan ekonomi, pertumbuhan penduduk yang cepat, urbanisasi, dan industrialisasi (Lestiani, 2013).

Aktivitas pembangunan industri yang semakin meningkat memiliki konsekuensi yaitu meningkatnya limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut, termasuk bahan pencemar udara yang dapat mengubah kualitas udara ambien (Mukono, 2011). Kegiatan industri merupakan kegiatan yang kompleks dan melibatkan berbagai proses. Penggunaan bahan bakar, proses insinerasi ataupun kegiatan pembakaran bahan baku dengan suhu tinggi umumnya terdapat pada kegiatan-kegiatan industri (Zannaria *et al*,

2009). Emisi dari industri diyakini menjadi salah satu kontributor utama sumber pencemar ke partikulat udara (Lestiani *et al*, 2013).

Particulate Matter (PM) merupakan salah satu dari 12 parameter pencemar udara yang terdapat di dalam PP No 41 tahun 1999. Unsur partikulat ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia sebagai reseptor terutama menyebabkan gangguan pada sistem respirasi. Masuknya partikulat ke dalam sistem respirasi manusia dipengaruhi oleh ukuran partikulat. Ukuran partikulat yang dapat masuk ke dalam sistem respirasi adalah kurang dari 10 μm . Beberapa penelitian sebelumnya telah menghubungkan antara paparan polutan partikulat terespirasi dengan beberapa kejadian penyakit saluran pernafasan. Seperti yang dilakukan oleh Mutius *et al.* di Jerman Timur, bahwa peningkatan konsentrasi partikulat, SO₂, NO_x, serta kombinasi antara ketiganya di udara ambien berhubungan dengan peningkatan risiko anak-anak mengidap penyakit saluran pernafasan bagian atas dan asma. (Santoso *et al*, 2009).

Partikel berukuran 2.5 μm sampai dengan 10 μm (PM_{2.5-10}) dapat menembus ke dalam paru tanpa tersaring oleh rambut di dalam hidung. Partikel berukuran dibawah 2.5 μm (PM_{2.5}) apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernafasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru-paru. Dampak paparan jangka pendek (short term) maupun jangka panjang (long term) dari PM menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia. Hal tersebut menjadi alasan utama mengapa pemantauan kualitas udara parameter PM perlu dilakukan. Studi multikota yang dilakukan di Eropa (29 kota) dan di Amerika Serikat (20 kota) melaporkan efek mortalitas paparan singkat untuk PM₁₀ 0,62% dan 0,46% per setiap kenaikan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam rata-rata) (Samet *et al*, 2010).

Studi 24 kota di Harvard, Amerika Serikat menyebutkan efek paparan PM dengan waktu yang lama berakibat terhadap peningkatan terjadinya penyakit saluran pernafasan pada anak-anak (Dockery *et al*, 2013). Publikasi WHO memberikan nilai baku mutu konsentrasi massa rata-rata tahunan untuk PM₁₀ sebesar 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan untuk periode 24 jam adalah 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan rata-rata tahunan PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 24 jam adalah 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Baku mutu udara ambien nasional 24 jam untuk PM₁₀ adalah 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan PM_{2.5} sebesar 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk 24 jam dan 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

untuk periode 1 tahun (PP No.41 Tahun 1999). Selain itu, salah satu studi menyatakan bahwa paparan long term PM₁₀ secara signifikan akan menghambat pertumbuhan volume paru-paru anak sekolah dasar. (Molter *et al*, 2010)

Merujuk pada hasil kajian tersebut maka perlu dilakukan analisis paparan partikulat terhadap masyarakat terutama anak-anak sebagai reseptor dari pencemaran udara, mengingat setiap unsur kimia tersebut mempunyai potensi bahaya bagi fungsi fisiologis tubuh. Data mengenai karakteristik partikulat yang memapari anak-anak sebagai reseptor, khususnya untuk pemantauan perorangan belum banyak dilakukan. Sistem monitoring kualitas udara pada umumnya dilakukan dengan mengukur pencemaran udara ambien. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data paparan pencemaran udara pada manusia dan menjadi dasar studi epidemiologi dalam kaitannya dengan kondisi kesehatan masyarakat, sehingga dapat menjadi masukan bagi pengambil keputusan untuk kesehatan lingkungan dan masyarakat, khususnya di Pemerintah Kota Surabaya.

Penelitian ini dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTNT-BATAN), Bandung. Lokasi sampling berada di zona industri utama selatan Surabaya (Waru, Sidoarjo) dengan periode data sampling adalah satu bulan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah siswa sekolah di Zona Industri Waru, Sidoarjo terpapar kandungan logam berat akibat aktivitas Industri?
2. Apakah industri dominan sebagai sumber pencemar logam terhadap siswa sekolah di Zona Industri Waru, Sidoarjo?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menentukan paparan logam berat terhadap siswa sekolah yang berada di Zona Industri Waru, Sidoarjo
2. Menentukan lokasi sumber pencemar berdasarkan arah dan kecepatan angin di Zona Industri Waru, Sidoarjo

1.4. Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui unsur yang terdapat pada partikulat matter
2. Mengetahui asal sumber pencemar yang memberikan kontribusi logam berat ke partikulat terutama dari emisi industri di daerah perindustrian Surabaya Selatan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Pada penelitian ini, survei dilakukan di daerah Zona Industri Waru, Sidoarjo
2. Pengukuran konsentrasi massa rata-rata dan identifikasi unsur PM dilakukan menggunakan spektroskopi XRF.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Udara

Udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan. Beberapa gas seperti sulfur dioksida vulkanik, hidrogen sulfida, dan karbon monoksida selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya (Fardiaz,1992).

Pencemaran udara adalah masuknya 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. Dalam PP Nomor 41 Tahun 1999 tersebut didefinisikan lebih lanjut mengenai udara ambien sebagai udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah yuridiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. (PP RI Nomor 41 Tahun 1999).

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No.	Parameter	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)		
		1 jam	24 jam	1 tahun
1	CO (Karbon Monoksida)	30.000	10.000	-
2	O3 (Oksidan)	235	-	50
3	NO2 (Nitrogen Dioksida)	400	150	100

No.	Parameter	Baku Mutu ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)		
		1 jam	24 jam	1 tahun
4	SO ₂ (Sulfur Dioksida)	900	365	60
5	TSP (Debu)	-	230	90
6	PM ₁₀ (Partikel < 10 μm)	-	150	-
	PM _{2,5} (*) (Partikel < 2,5 μm)	-	65	15
7	Pb (Timah Hitam)	-	2	1
No.	Parameter	Baku Mutu		Waktu Pengukuran
8	Dustfall (Debu Jatuh)	10 Ton/km ² /Bulan (Pemukiman)		30 Hari
		20 Ton/km ² /Bulan (Industri)		
9	HC (Hidro Karbon)	160 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		3 Jam
10	Total Fluorides (as F)	3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		24 Jam
		0,5 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		90 Hari

Sumber : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999

Menurut Prawiro (1983), berdasarkan bentuknya pencemar udara dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Pencemar udara dalam bentuk gas, seperti CO, CO₂, H₂S, SO₂, NO₂ dan sebagainya
2. Pencemar udara dalam bentuk partikel, partikel atau benda-benda kecil yang melayang di udara ada dua macam, yaitu:
 - Partikel Padat
Merupakan partikel yang sangat halus dan sering mencemari yang berasal dari benda-benda yang dibakar, dapat berupa asap hitam atau asap putih.

- Partikel cair
Terdiri dari uap air yang mengembun sebagai titik-titik air dengan diameter lebih dari 1 mikron. Perwujudannya sebagai awan yang tinggi letaknya atau kabut yang dekat dengan permukaan tanah.

Penyebab pencemaran udara dapat dibagi menjadi tiga kategori antara lain:

1. Pembakaran : Pada pembakaran menghasilkan senyawa karbondioksida dan air disamping itu arang dan jelaga. Campuran berbagai hidrokarbon mempunyai suhu penguapan yang berbeda-beda dan digunakan untuk keperluan yang berbeda-beda. Seperti bahan bakar pesawat jet, minyak bakar untuk tungku, bahan bakar kendaraan bermotor, minyak pelumas, dan solar, sisanya dapat berupa aspal atau parafin. Jika berbagai hidrokarbon di atas mengalami pembakaran sempurna maka akan diperoleh karbondioksida, uap air, dan energi.
2. Pergesekan permukaan : pencemaran akibat gesekan permukaan menjadi penyebab utama pencemaran partikel padat di udara dan ukurannya dapat bermacam-macam, misalnya penggergajian dan pengeboran.
3. Penguapan : Perubahan fase cair menjadi gas (penyubliman) juga dapat menambah uap di udara. Zat-zat yang mudah menguap, seperti pelarut cair dan perekat dapat menyebabkan polusi udara, demikian pula terjadi uap pencemar jika ada reaksi kimia pada suhu tinggi atau tekanan rendah. (Prawiro, 1983).

Berdasarkan asal mula dan kelanjutan perkembangan, maka pencemar udara dibagi menjadi dua yaitu :

1. Pencemar primer
Semua pencemar yang ada di udara dalam bentuk yang hampir tidak berubah, sama seperti saat dibebaskan dari sumbernya sebagai hasil dari suatu proses tertentu misalnya CO, NO_x, CH₄ dan lain-lain yang dikeluarkan dari tempat/industri yang melakukan pembakaran bahan bakar. Pencemaran primer umumnya berasal dari sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, antara lain sumber-sumber industri (cerobong industri). Dalam industri tersebut terdapat proses

pembakaran yang menggunakan bahan bakar/batubara atau proses-proses peleburan/pemurnian logam.

2. Pencemar sekunder

Semua pencemar di udara yang sudah berubah karena hasil reaksi tertentu antara dua atau lebih kontaminan/polutan, umumnya pencemar sekunder itu merupakan hasil antara pencemar primer dengan kontaminan/polutan lain yang ada di dalam udara. Polutan dapat berbentuk bermacam-macam, ada yang natural dan ada yang buatan manusia. Polutan ada yang berbentuk gas dan ada pula yang berbentuk partikel-partikel, baik padat maupun cair. (Ryadi, 1982),

2.2. Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran dapat berasal dari kegiatan yang bersifat alami dan kegiatan antropogenik. Pencemaran akibat kegiatan manusia secara kuantitatif sering lebih besar, misalnya sumber pencemar akibat aktivitas transportasi, industri, persampahan baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran dan rumah tangga. Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat yang menghasilkan gas CO, NO_x, hidrokarbon, SO₂ dan Tetraethyl lead, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan kedalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, Partikulat, NO_x, HC, Pb, dan SO_x. Pencemaran udara yang berasal dari sumber alami adalah letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan lain sebagainya.

Proses pembakaran sampah walaupun dalam skala kecil sangat berperan dalam menambah jumlah zat pencemar di udara terutama debu dan hidrokarbon. Hal penting yang perlu diperhitungkan dalam emisi pencemaran udara oleh sampah adalah emisi partikulat akibat pembakaran, sedangkan emisi dari proses dekomposisi yang perlu diperhatikan adalah emisi HC dalam bentuk gas metana. Emisi pencemaran udara oleh industri sangat tergantung dari jenis industri dan prosesnya, peralatan

industri dan utilitasnya. Berbagai industri dan pusat pembangkit tenaga listrik menggunakan tenaga dan panas yang berasal dari pembakaran arang dan bensin. Hasil sampingan dari pembakaran adalah SO_x, asap dan bahan pencemar lain.

2.3. Particulate Matter (PM)

Environmental Protection Agency (EPA) mulai Juli tahun 1987, menggunakan indikator baru yaitu PM₁₀ yang mencakup partikel-partikel dengan diameter lebih kecil dari 10 µm. Sepuluh (10) mikron kurang lebih 1/7 dari diameter rambut manusia, Gambar 2.1. Partikel dengan ukuran 2.5 µm - 10 µm (PM_{2.5-10}) dapat menembus ke dalam paru-paru tanpa tersaring oleh rambut di dalam hidung. Partikel berukuran dibawah 2.5 µm (PM_{2.5}) apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru-paru (Dockery et al,1993).

Particulate Matter (PM) adalah salah satu parameter polutan di udara. Unsur partikulat ini dapat mempengaruhi kesehatan manusia sebagai reseptor terutama menyebabkan gangguan pada sistem respirasi. Masuknya partikulat ke dalam sistem respirasi manusia dipengaruhi ukuran partikulat. Ukuran partikulat yang dapat masuk ke dalam sistem respirasi adalah kurang dari 10 µm dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Ukuran < 2 µm akan mudah masuk ke dalam saluran respirasi dan akan mudah keluar kembali bersama udara ekspirasi
- Ukuran 2 - 5 µm akan terendapkan di alveoli
- Ukuran 5 - 10 µm akan mudah tersaring secara fisik oleh rambut-rambut halus dalam rongga hidung.

Komposisi *Particulate Matter* sebagian besar berasal dari emisi alam, seperti aktivitas gunung meletus yang pada umumnya mengeluarkan gas yang mengandung sulfat, kebakaran hutan yang menghasilkan emisi karbon ke udara serta evaporasi garam laut dari air laut. *Particulate Matter* yang berasal dari emisi alam terakumulasi dalam ukuran partikulat kasar (PM>2.5µm) yang teremisi secara primer ke atmosfer. Partikel kasar menimbulkan dampak yang bersifat lokal karena memiliki sifat waktu tinggal yang pendek di atmosfer. (Rixson *et al*, 2015).

Partikulat halus ($PM < 2.5 \mu m$) dengan komposisi $\pm 10\%$ berasal dari aktivitas manusia seperti pemanfaatan bahan bakar fosil yang menghasilkan sulfur dioksida, pembakaran biomassa yang dapat menghasilkan *black carbon* (BC) dan karbon organik. Sedangkan Sulfat, Nitrat dan *Black Carbon* dihasilkan dari aktivitas transportasi, insinerator, kegiatan industri peleburan logam serta pembangkit listrik tenaga batubara. Aktivitas alih fungsi lahan dan konstruksi bangunan dapat meningkatkan konsentrasi emisi debu tanah dalam partikulat halus. Partikulat halus memiliki sifat waktu tinggal yang lebih lama dibandingkan dengan partikulat kasar sehingga memungkinkan mengalami perpindahan atau perjalanan dari lokasi yang jauh. Perbedaan dari partikulat kasar dengan partikulat halus adalah proses terbentuknya di atmosfer, partikulat halus dapat terbentuk secara langsung (primer) dan tidak langsung (transformasi sekunder) (Rixson *et al*, 2015).

Partikulat yang sering disebut *particulate matter* (PM), aerosol atau partikel-partikel kecil. Partikel-partikel ini dapat mengandung logam berat antara lain Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, dan Pb (Mukhtar *et al*, 2013).

Peningkatan aktivitas kegiatan sumber pencemar *particulate matter* baik sumber emisi dari alam maupun buatan dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi massa *particulate matter* pada waktu pemantauan di suatu area. Peningkatan konsentrasi massa PM bukan hanya disebabkan akibat peningkatan aktivitas kegiatan sumber pencemar *particulate matter*, melainkan dapat dipengaruhi pula oleh faktor cuaca (suhu dan kelembapan) dan meteorologi (arah dan kecepatan angin). Pemantauan konsentrasi massa parameter *particulate matter* merupakan bagian dari pengendalian yang bertujuan agar konsentrasi massa PM tidak sampai melebihi nilai baku mutu kualitas udara ambien. Publikasi WHO memberikan nilai baku mutu konsentrasi massa 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) Perbandingan nilai baku PM berdasarkan publikasi WHO, USA dan Indonesia pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan nilai baku PM berdasarkan publikasi WHO, USA dan Indonesia.

Parameter	USA		WHO		Indonesia	
	24	1	24	1	24	1
	Jam	Tahun	Jam	Tahun	Jam	Tahun
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	20	150	50	150	-
PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25	10	35	15	65	15

Sumber : (a) PP. No 41 tahun 1999

(b) *US EPA Vol.78, No.1 January 2013 (NAQG for PM)*

(c) *WHO AQG,2006*

Logam berat dalam bentuk partikel dapat mempengaruhi kesehatan manusia jika terhirup ke paru-paru manusia, dapat menimbulkan penyakit seperti infeksi saluran pernafasan akut (ISPA), gejala anemia, hambatan dalam pertumbuhan, sistem kekebalan tubuh yang lemah, gejala autisme, kanker paru-paru, bahkan kematian dini (Mukhtar et al, 2013).

Paparan logam berat dapat menyebabkan polusi udara yang sangat berpengaruh dalam jangka panjang, disamping itu polutan logam berat ini tahan di udara dan dapat berpindah-pindah sampai ke daerah yang paling terpencil, karena biasanya polutan logam berat terkandung dalam debu yang melayang di udara ambien dan jika terhirup oleh manusia melalui saluran pernafasan dapat menembus sampai ke bagian dalam paru-paru hingga ke jantung (WHO, 2007).

Kota Surabaya memiliki status kualitas udara untuk PM_{2,5} pada bulan Oktober 2012 hingga Februari 2014 telah melebihi baku mutu tahunan yaitu 15.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan baku mutu yang telah ditetapkan sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selain itu, PM_{2,5} di Surabaya pada Oktober 2012 hingga Februari 2014 juga telah melebihi baku mutu tahunan dari baku mutu yang telah ditetapkan WHO sebesar 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan US EPA sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. PM₁₀ di

Surabaya pada Oktober 2012 hingga Februari 2014 sebesar 30.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dimana angka tersebut belum melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam PP RI 41 Tahun 1999 sebesar 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *US EPA* sebesar 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan WHO sebesar 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muhayatun, 2016).

2.4. Unsur Penyusun *Particulate Matter* (PM)

Particulate Matter (PM) merupakan partikel yang melayang di udara dalam jangka waktu yang lama atau partikel yang dapat ditemukan di udara, termasuk debu, kotoran, jelaga, dan asap. *Environmental Protection Agency* (EPA) mengelompokkan partikel debu berdasarkan ukurannya menjadi 2 kategori yaitu partikel debu dengan ukuran ≤ 10 mikrometer dan partikel debu dengan ukuran $\leq 2,5$ mikrometer. Partikel yang berukuran kurang dari 10 mikrometer (PM_{10}) dapat menimbulkan masalah kesehatan karena dapat terhirup dan terakumulasi ke dalam sistem pernapasan. *Fine particles* atau partikel yang berukuran kurang dari 2,5 mikrometer ($\text{PM}_{2.5}$) diyakini dapat menimbulkan risiko kesehatan terbesar karena ukurannya yang kecil (sekitar 1/30 lebar rata-rata rambut manusia) sehingga partikel tersebut dapat masuk ke dalam paru-paru. (*US EPA*, 2013).

Komposisi unsur logam dalam *particulate matter* dengan berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 disebut dengan logam berat, antara lain adalah Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Hg, Ni, Sn, Co, dan Fe. Aktivitas antropogenik yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar batu bara, minyak bumi, bensin, bahan bakar diesel, industri peleburan logam dan pembakaran kayu mengakibatkan emisi logam berat ke udara ambien. (Theakston, 2006).

Logam berat merupakan unsur logam dengan berat molekul yang tinggi. Logam berat dalam kadar yang rendah pada umumnya sudah beracun bagi makhluk hidup termasuk manusia. Logam berat yang sering mencemari habitat antara lain Hg, Cr, Cd, As, dan Pb. Berikut ini nilai baku mutu logam berat di beberapa negara (Mukhtar *et al*, 2014).

Tabel 2.3. Baku Mutu Logam Berat Pb di Udara Ambien

No.	Negara	Waktu Pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
		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	Phillippines	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		
13	Switzerland	0,5				
14	Australia	0,5				
15	European commisson (QS)	0,5				
16	EU 2005, 2012	0,5				

No.	Negara	Waktu Pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
		1 tahun	24 jam	3 bulan	1 bulan	1 jam
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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		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 Mn (Mangan) di Udara Ambien

No.	Negara / Organisasi	Waktu Pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		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 2.6. Baku Mutu Logam Berat Ni (Nikel) di Udara Ambien

No.	Negara/organisasi	Waktu Pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		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

Partikel ini terbentuk dari gas dan uap yang terkondensasi oleh suhu tinggi dan tersusun atas kombinasi senyawa sulfat, senyawa karbon, ammonium, ion hidrogen, senyawa organik, unsur non logam (Si dan P) dan unsur logam (Al, Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn dan Fe) dan partikel air terikat (Fierro, 2000).

2.5. Unsur - Unsur Penanda dan Sumber Pencemar PM

Particulate matter merupakan salah satu dari 12 parameter pencemar udara yang memiliki dampak paling berbahaya bagi kesehatan manusia. (PP No.41 tahun 1999). Perubahan kualitas udara dapat terjadi secara fisis maupun kimiawi seperti pengurangan maupun penambahan konsentrasi salah satu komponen dapat disebut sebagai pencemaran udara (Rixson, 2015).

Sumber pencemar *particulate matter* dapat diperkirakan dengan cara mengetahui unsur-unsur logam yang terkandung dalam *Particulate Matter* tersebut serta dapat memperlihatkan hubungan korelasi antara unsur logam dengan unsur logam lainnya (Ahmad dan Muhayatun, 2016).

Peningkatan polutan antropogenik dapat disebabkan karena pertumbuhan populasi penduduk yang tinggi dengan aktivitas yang beragam mulai dari sektor pertanian, perkebunan, kegiatan industri, perumahan dan aktivitas transportasi, serta mengakibatkan penurunan daya dukung lingkungan dan pada akhirnya dapat menimbulkan penyakit saluran pernafasan.

Penelitian mengenai karakteristik dan identifikasi sumber pencemar PM pada daerah perkotaan telah dilakukan di beberapa negara termasuk Indonesia. Faktor sumber emisi primer dari total konsentrasi *particulate matter* untuk wilayah Eropa sejak tahun 2002-2011 berasal dari tungku pembakaran perumahan, industri dan institusi pemerintah sesuai dengan Laporan Europe Environmental Agency (EEA) pada tahun 2013. Sektor tersebut memberi kontribusi peningkatan dari 33% hingga 39% untuk PM₁₀ dan 42% hingga 50% pada tahun 2002 hingga 2011 (EEA, 2013).

Di Indonesia, faktor pembakaran biomassa berkontribusi sekitar 40% dari PM_{2,5} massa di daerah pinggiran kota di Lembang dan sekitar 20% di daerah perkotaan Bandung (Santoso et al., 2008).

Penelitian mengenai unsur penanda yang terdapat di PM telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Salah satu kajian yang telah dilakukan oleh De bruin et al. (2006) adalah melakukan tinjauan hasil berbagai penelitian mengenai identifikasi unsur penanda yang terdapat didalam *particulate matter*, hasil tinjauan tersebut terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Tinjauan Unsur Penanda PM Oleh De Bruin *et al* (2006)

Sumber	Unsur Penanda	Referensi
Kerak Konstruksi	Sc, Ce, Sm, Fe,	Lee <i>et al</i> , 1994 ; Koistinen <i>et al</i> , 2004
Partikel tanah	Si, Fe, Mn, Al, Sc	Chan <i>et al</i> , 1991 ; Janssen <i>et al</i> , 1997; Huang <i>et al</i> 1994
Debu tanah	Al, Si, Fe, Ti	Maenhaut <i>et al</i> , 1989
Lalu lintas darat	Pb, Br, Sb, Zn, Cu, C	Ojanen <i>et al</i> , 1998, Huang <i>et al</i> , 1994
Kendaraan bensin	Cd, Ni, Cu, Mn, Fe, Al, Ca, Si, S	Ojanen <i>et al</i> , 1998 Norbeck <i>et al</i> , 1998
Kendaraan diesel	Al, Ba, Cu, Mg, Mn, Na, Pb, Sb, Zn	Ojanen <i>et al</i> , 1998 Norbeck <i>et al</i> , 1998
Kendaraan non katalis	Pb, Br	Hildemam <i>et al</i> , 1991
<i>Steel industry</i>	Fe, Mn, Cr, Ca	Ojanen <i>et al</i> , 1998 ; Huang <i>et al</i> , 1994
<i>Zinc smelter</i>	Zn, Cd, Sn, Pb	Sweet <i>et al</i> , 1993
<i>Copper smelter</i>	Cu, Se, P	Sweet <i>et al</i> , 1993
<i>Pyrite smelter</i>	As, Cu	Pio <i>et al</i> , 1996
<i>Waste Burning</i>	Ag, In, Cl, Zn, K, Cu	Ojanen <i>et al</i> , 1998
<i>Coal burning</i>	Se, Ag, As, Mo, S, Zn, Sb, pb, Cr, K	Biegasiki <i>et al</i> , 1998; Lee <i>et al</i> , 1994; Parekh <i>et al</i> ,1987 ; Harrison <i>et al</i> , 1996
<i>Coal-fired powerplant</i>	As, Se, S	Huang <i>et al</i> , 1994
<i>Oil burning</i>	V, Ni, La, Sm, S	Ojanen <i>et al</i> , 1998
<i>Wood burning</i>	K, volatile C, elemental C,	Huang <i>et al</i> , 1994; Ojanen <i>et al</i> , 1998 ; Chan <i>et al</i> , 1991
<i>Industrial processes</i>	Hg,Co	Lee <i>et al</i> , 1994

Sumber : De Bruin *et al* (2006)

Pengukuran komposisi unsur logam adalah faktor utama dalam penggunaan data untuk menentukan kemungkinan sumber pencemar. Sumber penghasil *particulate matter* 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 *et al*, 2016).

Partikulat dapat berasal 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 sehingga terbentuk aerosol. Jika dibandingkan dengan pembakaran batu bara, pembakaran minyak dan gas pada umumnya menghasilkan partikulat dalam jumlah yang lebih sedikit. Secara alamiah, partikulat dapat dihasilkan dari debu tanah kering yang terbawa oleh angin, proses vulkanis yang berasal dari letusan gunung berapi, serta uap air laut. Emisi partikulat tergantung pada aktivitas manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti kegiatan transportasi kendaraan bermotor, industri berupa proses (penggilingan dan penyemprotan), bahan bakar 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 umumnya terdapat pada kegiatan-kegiatan industri. (Zannaria *et al*, 2009)

2.6. Dampak Kesehatan *Particulate Matter* (PM) dan Mekanismenya

Studi epidemiologi menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara mortality dengan konsentrasi *particulate matter* (PM) khususnya *fine particulate* (PM_{2.5}) yang secara efisien

dapat menembus ke dalam paru-paru sehingga meningkatkan risiko penyakit pernafasan dan kardiovaskular (Breu *et al*, 2013).

PM₁₀ merupakan partikel halus dengan ukuran diameter hingga 10µm dapat masuk kedalam sistem pernafasan, sedangkan PM_{2.5} adalah partikel yang sangat halus dengan ukuran diameter dibawah 2.5µm yang dapat masuk ke dalam jaringan dalam paru-paru sehingga dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti infeksi saluran pernafasan akut, gejala anemia, penyakit jantung, hambatan dalam pertumbuhan, sistem kekebalan tubuh yang lemah, gejala autisme, kanker paru-paru, bahkan kematian dini (Mukhtar *et al*, 2013).

Studi 24 kota di Harvard, Amerika Serikat menyebutkan efek paparan jangka panjang partikulat berhubungan terhadap peningkatan probabilitas kejadian penyakit saluran pernafasan pada anak-anak (Dockery *et al*, 1993), bahkan Partikel yang sangat halus (PM₁₀) dapat masuk dalam aliran darah untuk diangkut ke hati dan sumsum tulang. (ALAPCO, 2006).

Salah satu studi menyatakan bahwa ada indikasi paparan jangka waktu singkat (short term) dari unsur yang terdapat di PM_{2.5} bersifat lebih toksik dibandingkan dengan unsur pencemar lainnya (Krall *et al*, 2013). Studi lain menyatakan bahwa paparan long term PM₁₀ secara signifikan akan menghambat pertumbuhan volume paru-paru anak (Molter *et al*, 2010).

Logam berat yang masuk kedalam pernafasan kemudian menembus ke bagian dalam paru-paru manusia. Efek yang terjadi tergantung pada jumlah dan tempat absorpsi, sifat kimiawi-fisis racun. Misalnya silika sangat reaktif bereaksi dengan sel paru-paru sehingga rusak dan terbentuk jaringan ikat atau fibrosis yang sifatnya progresif, sekalipun silika sudah tidak bertambah jumlahnya, karbon bersifat inert, tidak akan bereaksi hanya terkumpul didalamnya (Mukhtar *et al*, 2013).

. Kontribusi faktor lingkungan adalah penyebab utama timbulnya penyakit. Beberapa unsur seperti timbal dan merkuri, walaupun dalam jumlah yang sedikit memiliki tingkat toksisitas dan efek yang berbahaya. Timbal akan merusak jaringan syaraf, menurunkan IQ, dan merkuri dapat menyebabkan penyakit Minamata diseases. Logam lainnya seperti Cr, Be, Cd, Cu, Fe, Pb, Ni, Se, Ti, Te, V dapat menimbulkan tumor/kanker. Konsentrasi

yang kecil bukan berarti tidak berbahaya, karena masing-masing unsur mempunyai tingkat toksisitas berbeda-beda. (Mukhtar *et al*, 2013).

Peningkatan risiko kanker kulit dan paru-paru berkaitan dengan keterpaparan arsenik. Kadmium terkait dengan penyakit ginjal dan kerusakan tulang dan telah diidentifikasi 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 pernapasan dan pencernaan. Mangan pada dosis yang tinggi dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf. Nikel disamping dikenal dengan sifat karsinogen, juga memiliki efek non-kanker lainnya, misalnya pada sistem endokrin (WHO, 2007).

Kandungan Pb dalam darah berkorelasi dengan tingkat kecerdasan, semakin tinggi kadar Pb dalam darah, semakin rendah poin IQ. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa Pb yang terserap oleh anak walaupun dalam jumlah kecil dapat menyebabkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental, yang kemudian berakibat pada fungsi kecerdasan dan kemampuan berfikir. (KPBB,2011).

2.7. Spektroskopi X-Ray Fluorescence (XRF)

Identifikasi multi unsur dilakukan dengan menggunakan spektroskopi *X-Ray Fluorescence* (XRF) Epsilon 5. Prinsip analisis spektrometer XRF adalah dengan memanfaatkan pancaran emisi radiasi dari sinar-X karakteristik sekunder yang menjadi ciri setiap unsur dari suatu bahan. Sinar-X karakteristik sekunder dihasilkan dari proses tereksitasi atau terionisasinya elektron kulit terdalam akibat pancaran emisi radiasi sinar-X primer pada energi tertentu terhadap target yang disebut efek fotolistrik. Radiasi sinar-X sekunder selanjutnya dideteksi oleh detektor sinar-X menjadi pulsa-pulsa listrik. Pulsa tersebut diperkuat oleh penguat awal dan penguat akhir. Pulsa listrik yang telah diperkuat oleh penguat akhir digunakan sebagai input bagi *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk diubah menjadi bilangan digital dan selanjutnya diolah komputer menjadi luasan spektrum hasil yang akan dianalisis secara kualitatif maupun kuantitatif.

Analisis kandungan unsur dalam suatu partikel udara dengan menggunakan teknik nuklir telah banyak diaplikasikan pada saat ini, salah satunya *XRF*. Teknik *XRF* ini memiliki kelebihan yaitu akurasi data yang relatif tinggi, dapat menentukan unsur dalam material tanpa adanya standar, dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologis maupun dalam tubuh secara langsung. Adapun kelemahan teknik *XRF* ini adalah tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material yang akan diteliti dan tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material itu (Setiabudi, 2012).

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* mempunyai kemampuan untuk mendeteksi berbagai unsur yang ada di dalam partikel udara dan menghasilkan satu set data konsentrasi 25-30 unsur dalam identifikasi sumber polutan udara (Santoso dan Lestiani, 2014).

XRF yang digunakan untuk analisis metal yang terkandung di PM adalah *XRF Spectrometer Epsilon5 PANalytical* yang terlihat pada Gambar 2.2. *XRF Epsilon5* merupakan jenis *XRF Energy Dispersive Systems (EDXRF)* karena kemampuan detektornya untuk memisahkan perbedaan energi radiasi karakteristik yang berasal langsung dari sampel.

Gambar 2.2 XRF Spectrometer Epsilon5 PANalytical



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum

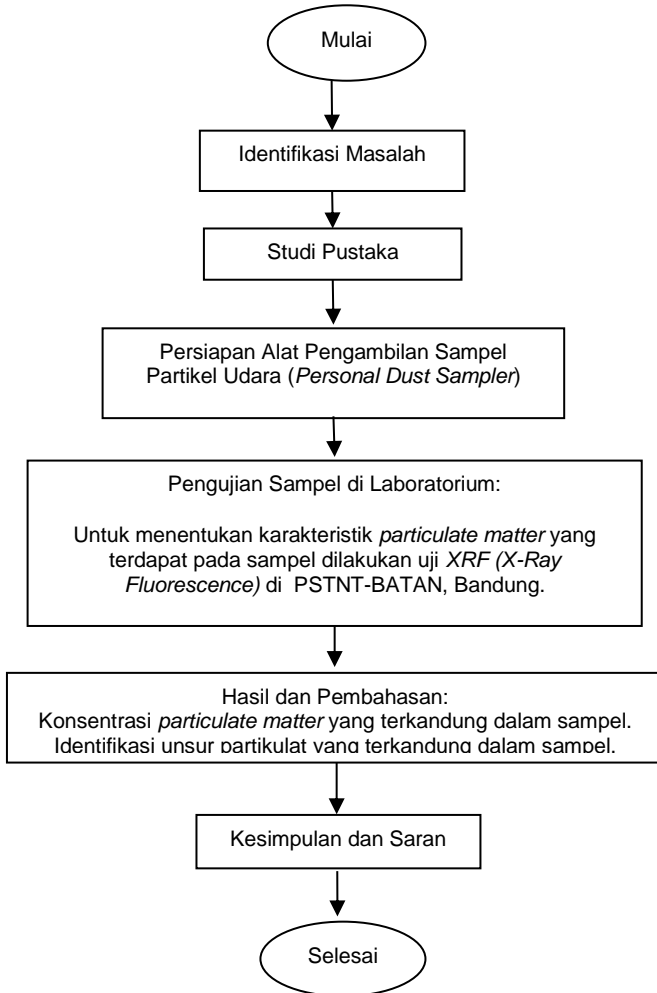
Berdasarkan uraian hasil kajian kualitas *Particulate Matter* yang mengandung logam berat di Zona Industri Waru, Sidoarjo, dampak yang ditimbulkan polutan *Particulate Matter* terhadap risiko kesehatan, peningkatan penyakit ISPA, peningkatan pertumbuhan populasi penduduk dan aktivitas kegiatan lainnya yang dapat berpotensi sebagai sumber pencemar udara maka diperlukan kajian pemantauan kualitas pencemar *Particulate Matter* yang fokus pada unsur partikulat logam di salah satu zona industri Waru, Sidoarjo, yang meliputi identifikasi konsentrasi PM₁₀ dan unsur yang terkandung.

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama 6 bulan yaitu pada bulan Januari - Juni 2019. Lokasi analisis dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTNT-BATAN), yang berada di Jalan Taman Sari No.71 Bandung, Jawa Barat. Sampling dilakukan selama 2 bulan yaitu pada bulan Maret – Mei 2019 dengan lokasi berada di sekitar Zona Industri Waru, Sidoarjo.

3.3. Kerangka Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.4. Ide Penelitian

Penelitian ini didasari dari data yang didapatkan oleh Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTNT-BATAN), yang menyatakan kandungan logam berat pada *particulate matter* di Zona Industri Waru, Sidoarjo cukup tinggi.

3.5. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi terkait dengan penelitian. Literatur yang digunakan diperoleh dari buku, jurnal internasional, jurnal penelitian, artikel, *text book*, laporan tugas akhir, *thesis*, asistensi dengan dosen pembimbing serta literatur yang diakui keabsahannya.

3.6. Persiapan Sampling dan Penelitian

Persiapan awal yang dilakukan sebelum sampling dan penelitian yaitu menyiapkan alat yang diperlukan.

A. Alat yang digunakan dalam sampling sebagai berikut:

1. *Personal Dust Sampler* sebagai alat sampling untuk menangkap *Particulate Matter*. Pada *sampling* ini menggunakan *Personal Dust Sampler* tipe Buck Libra Pump L-4 with 230 VAC Charger. *Flow* yang digunakan 1 L/menit.



Gambar 3.2 *Personal Dust Sampler* tipe Buck Libra Pump L-4

2. *Filter PVC* dengan diameter 37mm



Gambar 3.3 Filter *PVC*

B. Alat yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. *Microbalance*, neraca dengan ketelitian hingga enam digit.



Gambar 3.4 *Microbalance*

2. Alat ukur Spektrometer XRF, untuk analisis unsur yang teridentifikasi.



Gambar 3.5 Wadah filter di dalam XRF



Gambar 3.6 XRF Spectrometer Epsilon5 PANalytical

Pada penelitian ini, sampel partikulat (PM_{10}) diambil disekitar Zona Industri Waru, Sidoarjo, Jawa Timur dengan alat sampler udara *Personal Dust Sampler* dengan laju alir 1 liter/menit selama 8 jam. Sebelum dilakukan pengambilan sampel, filter telah dikondisikan selama 24 jam di ruang bersih PSTNT-BATAN yang

dilengkapi dengan *dehumidifier* dan *air conditioner* dengan temperatur dalam rentang 18-25°C dan kelembaban dibawah 60% agar kadar air dalam PM tersebut stabil.



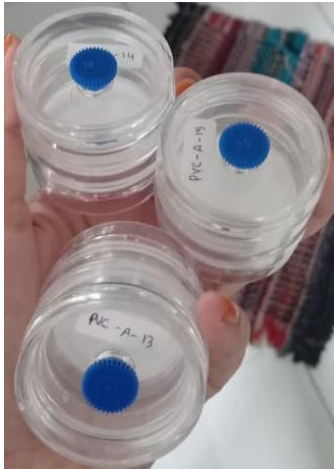
Gambar 3.7 Kondisi filter di ruang bersih

Kemudian filter ditimbang menggunakan *mikrobalance* untuk mendapatkan berat awal.



Gambar 3.8 Penimbangan filter sebelum sampling

Setelah itu filter disusun pada kaset filter yang telah dihubungkan dengan selang udara dari pompa *vacuum* (Gambar 3.9)



Gambar 3.9 Kaset Filter



Gambar 3.10 Penimbangan filter setelah sampling

Kemudian *personal dust sampler* dipasang ke siswa sekolah. Pemasangan diletakkan di pinggang siswa dan kaset filter yang sudah tersambung selang berada di dekat saluran pernafasan yaitu leher. Sebelum alat dipasang, terlebih dahulu siswa sekolah diberi instruksi bahwa alat tersebut tetap dipakai selama kegiatan sekolah dan tidak melepas atau mematikannya secara sengaja. Jumlah siswa sekolah yang dibutuhkan sebanyak 30 siswa, terdiri dari siswa laki-laki dan perempuan.



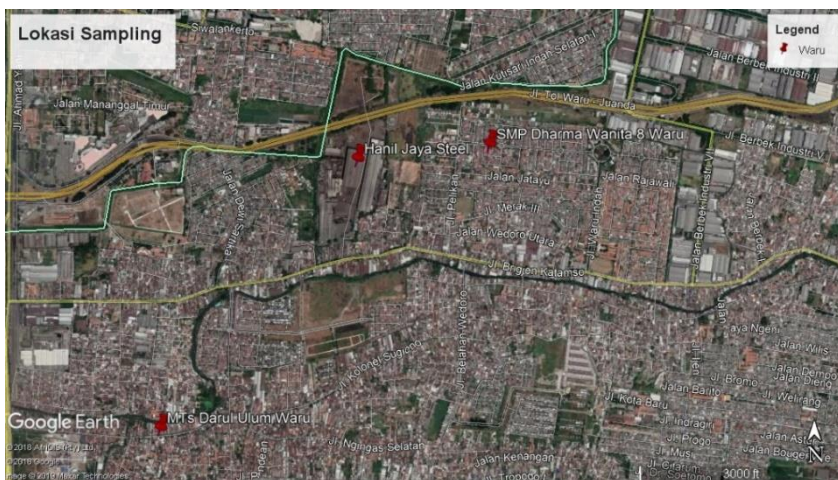
Gambar 3.11 Pemasangan alat sampling

Tabel 3.1 Waktu dan Lokasi Sampling

Waktu	Lokasi
02-Apr-19	SMP Dharma Wanita 8 Waru
04-Apr-19	
08-Apr-19	
09-Apr-19	
10-Apr-19	
11-Apr-19	
13-Apr-19	
15-Apr-19	
18-Apr-19	
13-Mei-19	
14-Mei-19	
15-Mei-19	
16-Mei-19	

Tabel 3.1 Lanjutan

Waktu	Lokasi
21-Mei-19	MTS Darul Ulum Waru
22-Mei-19	
23-Mei-19	



Gambar 3.12 Peta Lokasi Sampling
(Sumber: Google Earth)

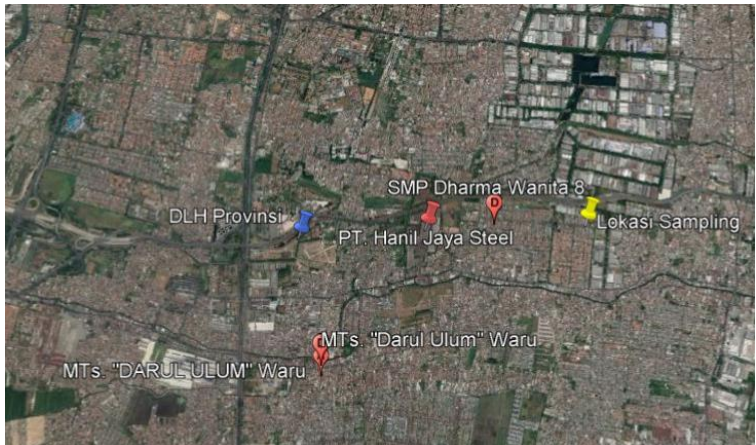
3.7. Identifikasi Sumber Pencemar

Estimasi lokasi sumber pencemar lokal dilakukan dengan cara menggabungkan data konsentrasi unsur terhadap data meteorologi arah dan kecepatan angin seperti pada gambar 3.13.

Data meteorologi arah dan kecepatan angin didapatkan dari Data Kestrel yang dipasang di lokasi sampling.



Gambar 3.13 *Kestrel*

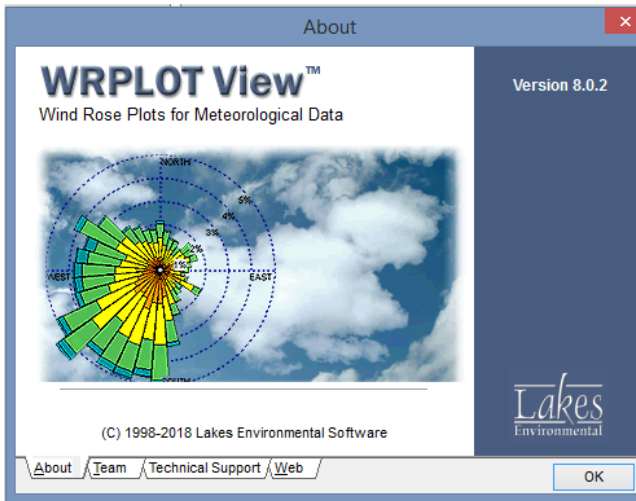


Gambar 3.14 Lokasi Kestrel (Pin berwarna kuning)

Tabel 3.2 Tabel Data Kestrel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Device Name WEATHER-2168701																		
2	Device Model KESTREL_S500L																		
3	Serial Number 2168701																		
4	FORMATTED DATE, TIME HeadwincWind Chl Wind SpelAltitude TemparatRelative H Direction CrosswincPsycho W Density Al Station Pr Barometri Direction Heat StresDew Point																		
5	YYYY-MM-DD HH:MM:SS	mmps	A°C	Chl	m	m	A°C	%	A°	m	mmps	A°C	m	mb	mb	A°	A°C	A°C	
6	30-12-18 12:07	***	28,3	0,0	63	28,4	79,5	***	***	25,5	***	688	1.005,5	1.005,5	***	33,5	24,5		
7	20-03-19 13:48	***	28,7	0,0	62	28,7	86,3	***	***	26,8	***	893	1.005,6	1.005,5	***	36,0	26,2		
8	20-03-19 13:49	***	28,3	0,4	64	28,3	81,0	***	***	25,7	***	670	1.005,3	1.005,2	***	33,8	24,8		
9	20-03-19 13:50	-0,4	27,2	0,4	64	27,2	71,7	***	153	0,2	23,3	634	1.005,3	1.005,2	153	29,9	21,7		
10	20-03-19 13:50	-0,4	27,3	0,4	65	27,3	71,5	***	152	0,2	23,3	617	1.005,3	1.005,2	151	30,0	21,7		
11	20-03-19 13:51	0,3	27,5	0,6	64	27,5	71,2	***	31	0,5	23,5	625	1.005,3	1.005,2	51	30,3	21,9		
12	20-03-19 13:52	0,0	27,4	0,0	64	27,4	70,6	***	***	***	23,2	619	1.005,4	1.005,2	160	30,3	21,6		
13	20-03-19 13:53	0,0	27,7	0,0	64	27,8	68,4	***	***	***	23,2	630	1.005,3	1.005,2	161	30,3	21,4		
14	20-03-19 13:53	0,0	27,2	0,0	65	27,2	68,3	***	164	0,0	22,7	607	1.005,3	1.005,2	164	29,4	20,9		
15	20-03-19 13:54	0,0	27,0	0,0	65	27,0	69,7	***	160	0,0	22,7	601	1.005,3	1.005,2	159	29,3	21,0		
16	20-03-19 13:55	0,0	26,9	0,0	64	26,9	71,6	***	62	0,0	22,9	600	1.005,3	1.005,2	61	29,3	21,3		
17	20-03-19 13:56	0,2	26,8	0,4	65	26,9	71,0	***	59	0,3	22,8	597	1.005,3	1.005,2	59	29,0	21,1		
18	20-03-19 13:57	0,0	27,0	0,0	65	27,0	69,8	***	57	0,0	22,7	603	1.005,3	1.005,2	56	29,3	21,0		
19	20-03-19 13:58	0,0	27,0	0,0	65	27,0	69,4	***	57	0,0	22,5	599	1.005,3	1.005,2	56	29,1	20,7		
20	20-03-19 13:59	0,0	27,2	0,0	69	27,2	70,0	***	74	0,0	23,0	615	1.004,8	1.004,7	74	29,6	21,3		
21	20-03-19 14:00	0,0	27,2	0,0	65	27,2	70,3	***	73	0,0	23,0	611	1.005,2	1.005,2	72	29,6	21,3		
22	20-03-19 14:01	0,0	26,8	0,0	65	26,8	68,9	***	100	0,0	22,5	596	1.005,2	1.005,2	106	28,8	20,7		
23	20-03-19 14:02	0,0	26,9	0,0	65	27,0	68,3	***	10	0,0	22,5	600	1.005,1	1.005,2	10	28,9	20,6		

Kemudian analisis data tersebut menggunakan *software* WRPLOT View.



Gambar 3.15 Software WRPLOT View

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi Massa Particulate Matter (PM)

Penentuan konsentrasi PM_{10} menggunakan metode gravimetri, analisis ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi partikulat pada sampel yang terukur disetiap lokasi penelitian. Konsentrasi ditentukan dari hasil pengurangan penimbangan berat sampel pada filter halus dengan berat filter halus kosong. Sebelum dilakukan penimbangan, filter dikondisikan di ruang bersih pada temperatur $24^{\circ}C$ dan kelembaban 53%. Kemudian membandingkan hasil konsentrasi partikulat tersebut dengan baku mutu berdasarkan PP 41 tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien pada *particulate matter*.



Gambar 4.1 *Personal Dust Sampler* yang terpasang

Sampling dilakukan selama 8 jam dan laju alir diatur sebesar 1 L/menit. *Personal Dust Sampler* tersebut akan mati secara otomatis setelah 8 jam karena kapasitas baterai kemudian

PM₁₀ akan tersaring pada kertas filter yang berada di dalam kaset filter.

Setelah partikulat terkumpul di dalam filter, filter- filter tersebut dikeluarkan dari kaset filter dan dikemas dalam wadah, kemudian dibawa ke PSTNT-BATAN dan dikondisikan di ruang bersih selama 24 jam lalu dilakukan penimbangan menggunakan neraca *microbalance* untuk mendapatkan berat partikulat setelah dilakukan sampling.

Setelah didapatkan berat filter awal dan filter akhir dilakukan perhitungan konsentrasi massa PM selama pengukuran 8 jam. Tabel hasil pengukuran konsentrasi PM dapat dilihat pada tabel 4.1.

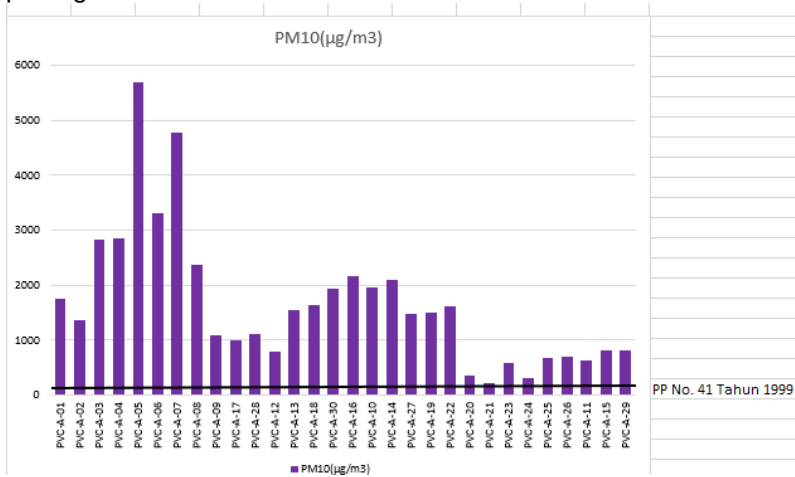
Tabel 4.1 Konsentrasi PM

Tanggal	Identitas Sampel	PM10	PM10
		(mg/m ³)	(µg/m ³)
02-Apr-19	PVC-A-01	1.744	1743.75
04-Apr-19	PVC-A-02	1.356	1355.56
08-Apr-19	PVC-A-03	2.842	2841.67
09-Apr-19	PVC-A-04	2.856	2855.56
10-Apr-19	PVC-A-05	5.686	5686.11
11-Apr-19	PVC-A-06	3.308	3307.64
13-Apr-19	PVC-A-07	4.774	4774.31
15-Apr-19	PVC-A-08	2.371	2370.83
18-Apr-19	PVC-A-09	1.092	1091.67

Tabel 4.1 Lanjutan

Tanggal	Identitas Sampel	PM10	PM10
		(mg/m ³)	(μ g/m ³)
13-Mei-19	PVC-A-17	0.994	994.44
	PVC-A-28	1.110	1109.72
	PVC-A-12	0.789	788.89
14-Mei-19	PVC-A-13	1.541	1540.97
	PVC-A-18	1.632	1631.94
	PVC-A-30	1.940	1940.28
15-Mei-19	PVC-A-16	2.158	2158.33
	PVC-A-10	1.954	1954.17
	PVC-A-14	2.088	2088.19
16-Mei-19	PVC-A-27	1.476	1475.69
	PVC-A-19	1.510	1510.42
	PVC-A-22	1.623	1622.92
21-Mei-19	PVC-A-20	0.358	357.64
	PVC-A-21	0.219	219.44
	PVC-A-23	0.581	581.25
22-Mei-19	PVC-A-24	0.302	302.08
	PVC-A-25	0.672	671.53
	PVC-A-26	0.697	696.53
23-Mei-19	PVC-A-11	0.627	627.08
	PVC-A-15	0.825	825.00
	PVC-A-29	0.815	815.28

Dari tabel tersebut didapatkan grafik konsentrasi PM₁₀ pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik *Particulate Matter*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi PM₁₀ selama pengukuran tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan baku mutu harian (24 jam) di dalam PP No. 41 tahun 1999 yaitu 150 µg/m³ oleh sebab itu hanya dijadikan acuan karena pengukuran hanya dilakukan selama 8 jam dan belum ada baku mutu yang sesuai. Sedangkan di Australia baku mutu harian untuk PM₁₀ adalah 50 µg/m³. (Air NEPM, 2016). PM₁₀ adalah partikel yang berukuran kurang dari atau sama dengan 10 µm, ukuran ini sangat kecil sehingga dapat masuk ke paru-paru, berpotensi menyebabkan masalah kesehatan yang serius. Sejumlah penelitian ilmiah menghubungkan paparan polusi partikel dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk iritasi mata, hidung dan tenggorokan, batuk, dan sesak napas, fungsi paru-paru berkurang, denyut jantung tidak teratur, serangan asma, serangan jantung, dan kematian dini pada orang dengan penyakit jantung atau penyakit paru-paru (US.EPA, 2005).

4.2 Unsur - Unsur Kimia dalam Particulate Matter (PM)

Penentuan unsur pada sampel dilakukan dengan menggunakan alat Spektroskopi *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui konsentrasi massa dan identifikasi unsur partikel logam pada sampel. Data yang diperoleh dalam bentuk konsentrasi massa dan multi unsur logam kemudian di analisis serta divisualisasikan dalam bentuk tabel.

Tabel 4.2 Konsentrasi Multi Unsur

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A01	0.633354	5.185698	-	0.086018	1.854697	0.001031	0.053761	0.478698	0.441139	0.245535
PVC-A02	0.728210	6.960120	-	0.172626	3.302132	-	0.048901	0.871083	0.414626	0.242000
PVC-A03	0.922930	3.928711	-	0.098096	2.884855	-	0.027544	0.316235	0.235519	0.135508
PVC-A04	0.697426	2.473322	0.944729	0.054056	1.701808	0.001768	0.032404	0.418308	-	0.034614
PVC-A05	0.212689	1.253010	0.377509	0.043304	0.899805	0.004566	0.043156	0.309902	0.043746	0.053614
PVC-A06	0.320212	2.254152	0.308281	0.006186	1.028243	0.001178	0.052436	0.259823	0.224178	0.149501
PVC-A07	0.698604	5.485731	-	0.110911	1.259786	0.001620	0.068638	0.380013	0.043598	0.020179
PVC-A08	0.273668	1.218544	0.629966	0.006186	0.785801	0.001620	0.043009	0.155245	0.237876	0.197960
PVC-A09	0.030048	0.718047	0.421843	0.076592	0.269249	0.002209	0.063041	0.101484	0.458666	0.201053
PVC-A10	0.278529	2.726958	-	0.070700	1.180837	0.004361	0.065839	0.216813	0.143020	0.185440
PVC-A11	0.636447	1.230475	0.349965	0.065692	1.017785	0.004213	0.017380	0.168944	0.106492	0.182347
PVC-A12	-	-	0.407261	0.115329	1.355673	0.004861	0.017233	0.271900	0.188091	0.257319
PVC-A13	0.329639	1.018227	-	0.078212	0.458372	0.000736	0.020326	0.273079	0.085724	0.226682
PVC-A14	0.633354	5.185698	-	0.086018	1.854697	0.001031	0.053761	0.478698	0.441139	0.245535

Tabel 4.2 Lanjutan

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A16	1.507236	2.941120	0.280591	0.031815	0.917185	0.003093	0.032846	0.419045	0.313584	0.327577
PVC-A17	0.241853	1.022204	-	0.086608	0.369849	-	0.013845	0.719078	0.102515	0.206503
PVC-A18	0.181169	2.526641	-	0.056707	0.198107	0.002504	0.051699	0.333616	0.424053	0.325809
PVC-A19	1.023824	5.851751	-	0.147734	3.475494	0.003093	0.036234	0.132968	0.200759	0.115624
PVC-A22	0.034466	-	0.832345	0.088522	0.167913	0.002062	0.066281	0.133741	0.568399	0.312848
PVC-A27	0.151710	0.823802	0.219612	0.126376	0.847811	0.000589	0.048164	0.651913	0.145671	0.213131
PVC-A28	0.298855	5.332253	-	0.110469	2.876459	-	0.014876	0.592849	-	0.146113
PVC-A30	0.091763	0.695953	-	0.137718	0.180580	0.003535	0.035350	0.306809	0.001620	0.179401
Average	0.464632	2.823511	0.477210	0.084279	1.287259	0.002591	0.040617	0.405312	0.230488	0.188512

Keterangan : Konsentrasi dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
 (-) memiliki nilai dibawah limit deteksi
 Lokasi Sampling di SMP Dharma Wanita 8 Waru

Tabel 4.3. Konsentrasi Multi Unsur

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A11	-		0.428324	0.065398	-	0.001031	0.027102	0.207239	0.057296	0.194720
PVC-A15	0.147218	6.337077	-	0.005450	1.664985	0.001768	0.044040	0.348050	0.281769	0.091910
PVC-A20	-	2.296866	-	0.111205	0.149059	0.002946	0.051847	0.249218	-	0.027544
PVC-A21	0.379865	1.366130	0.468682	0.087049	0.930589	0.001768	0.046250	0.243473	-	0.075561
PVC-A23	0.203115	0.763560	0.537173	0.099422	0.722024	0.001915	0.025629	0.354384	0.311964	0.302537
PVC-A24	-	-	0.389881	0.125493	-	0.004419	0.034172	0.215193	0.048312	0.200611
PVC-A25	0.415215	4.246566	-	0.045219	1.076260	-	0.029458	0.535405	-	0.068933
PVC-A26	0.184704	1.542880	0.093825	0.110174	0.713628	-	0.016791	0.561181	0.327135	0.286335
PVC-A29	0.537909	4.015318	-	0.076592	1.561586	0.001620	0.040505	0.755459	0.221527	0.328313
Average	0.644671	2.938343	0.372390	0.082575	0.974019	0.002406	0.036086	0.407795	0.238141	0.172718

Keterangan : Konsentrasi dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
 (-) memiliki nilai dibawah limit deteksi
 Lokasi Sampling di MTs Darul Ulum Waru

Dari hasil yang didapat pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa unsur:

4.1 Kalium (K)

Konsentrasi tertinggi unsur Kalium pada sampel yang teridentifikasi sebesar $1.507 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sampling dilakukan pada tanggal 15 Mei 2019. Hasil ini menunjukkan bahwa Kalium lebih banyak bersumber dari tanah dan arah angin pada saat sampling cenderung dominan dari arah timur menuju barat dengan kecepatan angin 1.78 m/s

Radioaktivitas yang ada pada Kalium tidak terlalu berbahaya bagi kesehatan anak-anak.



Gambar 4.3 Windrose pada tanggal 15 Mei 2019

4.2 Kalsium (Ca)

Konsentrasi tertinggi unsur Kalsium pada sampel teridentifikasi sebesar $6.960 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang dilakukan pada tanggal 4 April 2019 di Lokasi Sampling SMP Dharma Wanita 8 Waru. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa arah angin bergerak dari tenggara menuju barat laut dengan kecepatan angin 1.08 m/s .

Kalsium merupakan unsur yang tidak beracun dan termasuk logam penting untuk organisme hidup.



Gambar 4.4 Windrose pada tanggal 4 April 2019

4.3 Vanadium (V)

Konsentrasi tertinggi untuk unsur Vanadium teridentifikasi sebesar $0.945 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang dilakukan pada tanggal 9 April 2019 bertempat di SMP Dharma Wanita 8 Waru. Arah angin dominan dari Tenggara menuju barat laut dengan kecepatan angin 0.82 m/s .



Gambar 4.5 Windrose pada tanggal 9 April 2019

Senyawa vanadium umumnya tidak berbahaya, namun anak-anak yang terpapar debu vanadium berpotensi mengalami iritasi mata, hidung, dan tenggorokan parah. Vanadium dapat mempengaruhi kesehatan ketika diserap dalam jumlah terlalu tinggi.

Vanadium dapat ditemukan di lingkungan dalam ganggang, berbagai tanaman, invertebrata, ikan, dan banyak spesies lainnya.

4.4 Mangan (Mn)

Konsentrasi tertinggi unsur Mangan pada sampel teridentifikasi sebesar $0.173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang dilakukan pada tanggal 4 April 2019 di SMP Dharma Wanita 8 Waru. Hasil ini tidak melebihi baku mutu WHO tentang baku mutu harian Logam Berat Mn di udara ambien sebesar $0.018 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Arah angin dominan bergerak dari Tenggara menuju Barat laut dengan kecepatan 1.08 m/s . Partikel mangan di udara hadir dalam partikel debu. Manusia meningkatkan konsentrasi mangan di udara oleh kegiatan industri dan melalui pembakaran bahan bakar fosil.



Gambar 4.6 Windrose pada tanggal 4 April 2019

Meskipun konsentrasi Mn masih dibawah ambang batas, Mangan adalah salah satu dari tiga unsur penting jejak beracun, yang berarti bahwa tidak hanya diperlukan bagi manusia untuk bertahan hidup, tetapi juga beracun bila konsentrasi terlalu tinggi yang hadir dalam tubuh manusia.

Efek mangan terjadi terutama di saluran pernapasan dan di otak. Gejala keracunan mangan adalah halusinasi, dan kerusakan saraf. Mangan juga dapat menyebabkan parkinson, emboli paru-paru dan bronkitis.

4.5 Besi (Fe)

Konsentrasi tertinggi unsur Besi pada lokasi sampling SMP Dharma Wanita 8 Waru teridentifikasi sebesar $3.475 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang dilakukan pada tanggal 16 Mei 2019. Arah angin dominan dari Tenggara menuju Barat

Laut dengan kecepatan angin 1.20 m/s.



Gambar 4.7 Windrose pada tanggal 16 Mei 2019

Unsur Fe dapat bersumber dari hasil industri pengolahan baja yang berada di sekitar lokasi sampling. Dampak dari terpaparnya bahan kimia seperti besi dalam bentuk kronis maupun akut, dalam jangka waktu pendek, zat tersebut dapat menimbulkan gangguan sistem pernapasan seperti lemas, batuk, sesak napas, bronchopneumonia, edema paru, dan cyanosis serta methemoglobinemia. Dampak penyimpangan parameter zat kimia adalah dapat meningkatkan reaktivitas pada pembuluh tenggorokan dan sensitivitas pada penderita asma. Zat kimia bersifat racun terutama terhadap paru dengan diawali gangguan pada pernafasan. (Phillip *et al*, 2005).

4.6 Kobalt (Co)

Konsentrasi tertinggi unsur Kobalt di lokasi sampling teridentifikasi sebesar $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi ini didapat pada tanggal 13 Mei 2019 di SMP

Dharma Wanita 8 Waru.



Gambar 4.8 Windrose pada tanggal 13 Mei 2019

Arah angin dominan pada hari tersebut menunjukkan arah dari Tenggara menuju Barat Laut, Unsur Kobalt dapat bersumber dari industri baterai dan komponen listrik serta industri peleburan baja. Unsur tersebut stabil di udara dan tidak terpengaruh oleh air, namun perlahan-lahan akan larut oleh asam encer.

Kobalt dapat terpapar ke manusia melalui udara, air, dan makanan yang mengandung Kobalt. Konsentrasi tinggi Kobalt yang terhirup melalui udara bisa menimbulkan berbagai keluhan seperti asma dan pneumonia.

Kualitas tanah dekat industri peleburan baja memiliki kandungan Kobalt yang lebih tinggi. Sehingga saat terhirup melalui udara akan menimbulkan berbagai efek kesehatan. (Phillip *et al*, 2005).

4.7 Nikel (Ni)

Konsentrasi tertinggi unsur Nikel pada sampel teridentifikasi sebesar $0.069 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jika dibandingkan dengan baku mutu harian Logam Berat Nikel di udara

Ambien di Vietnam, hasil pengukuran ini masih dibawah ambang batas baku mutu yaitu sebesar $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 4.9 Windrose pada tanggal 13 April 2019

Arah angin pada tanggal 13 April 2019 dominan dari arah Timur menuju Barat dengan kecepatan angin 0.50 m/s , Nikel dilepaskan ke udara oleh pembangkit listrik dan insinerator sampah. Nikel akan mengendap di tanah atau jatuh setelah bereaksi dengan air hujan. Nikel memerlukan waktu yang cukup lama agar dapat dihapus dari udara.

Manusia dapat terkena Nikel dengan menghirup udara, dalam jumlah kecil nikel adalah penting, tetapi ketika serapan terlalu tinggi dapat membahayakan kesehatan manusia terutama anak-anak. Unsur nikel jika terlalu banyak didalam tubuh dan tidak mampu di keluarkan oleh hati melalui urin, buang air besar dan keringat secara normal maka logam nikel dapat menyebabkan cacat lahir, kerusakan paru-paru dan munculnya sel abnormal didalam DNA yang dapat berubah menjadi sel kanker. Hal tersebut disebabkan jika terlalu banyak zat logam nikel didalam tubuh maka fungsi

hati mengalami penurunan dan kelainan. (Mukhtar *et al*, 2013).

4.8 Seng (Zn)

Konsentrasi tertinggi unsur Seng pada sampel teridentifikasi yaitu sebesar $0.871 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang dilakukan pada tanggal 4 April 2019. Arah angin dominan berasal dari Tenggara menuju Barat Laut dengan kecepatan 1.08 m/s.



Gambar 4.10 Windrose pada tanggal 4 April 2019

Unsur Zn dapat bersumber dari industri otomotif dan listrik. Peningkatan kegiatan industri yang memanfaatkan Seng (Zn) dalam kegiatan produksi secara signifikan menyebabkan peningkatan emisi yang dihasilkan. Emisi logam berat Seng (Zn) hasil produksi industri tersebut dilepaskan ke udara ambien, berakumulasi dengan partikel lain yang ada di udara. Seng di udara pada umumnya berkaitan dengan partikel aerosol.

Penggunaan bahan bakar solar dan rem kendaraan bermotor juga turut menjadi faktor penyumbang emisi logam berat seng (Zn) selain dari hasil produksi industri.

Paparan Seng (Zn) melalui inhalasi yang disebabkan dari proses industri seperti galvanisasi dan asap kendaraan dapat memicu adanya gangguan inhalasi bagi manusia yang terpapar secara langsung terutama bagi anak-anak. Efek yang seringkali ditimbulkan akibat terpapar Seng (Zn) adalah demam dan penurunan fungsi tubuh seperti penurunan kepekaan terhadap bau dan rasa. (US EPA, 1984)

4.9 Timbal (Pb)

Konsentrasi tertinggi unsur Timbal pada sampel teridentifikasi di sebesar $0.568 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang dilakukan pada tanggal 16 Mei 2019 dengan arah angin dominan berasal dari Tenggara menuju Barat Laut. Kecepatan angin sebesar 1.20 m/s. Hasil ini tidak melebihi baku mutu logam berat Pb di udara ambien sesuai dengan PP Nomor 41 tahun 1999 yaitu sebesar $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Gambar 4.11 Windrose pada tanggal 16 Mei 2019

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa Pb yang terserap oleh anak walaupun dalam jumlah kecil dapat menyebabkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental, yang kemudian berakibat pada fungsi kecerdasan dan kemampuan berfikir. Kandungan Pb dalam darah berkorelasi dengan tingkat kecerdasan, semakin tinggi kadar Pb dalam darah, semakin rendah poin IQnya (KPBB,2011).

4.10 Arsenik (As)

Konsentrasi tertinggi unsur Arsenik didapatkan pada tanggal 15 Mei 2019 sebesar $0.328 \mu\text{g}/\text{m}^3$, arah angin dominan menunjukkan dari Timur menuju Barat dengan kecepatan angin 1.78 m/s.



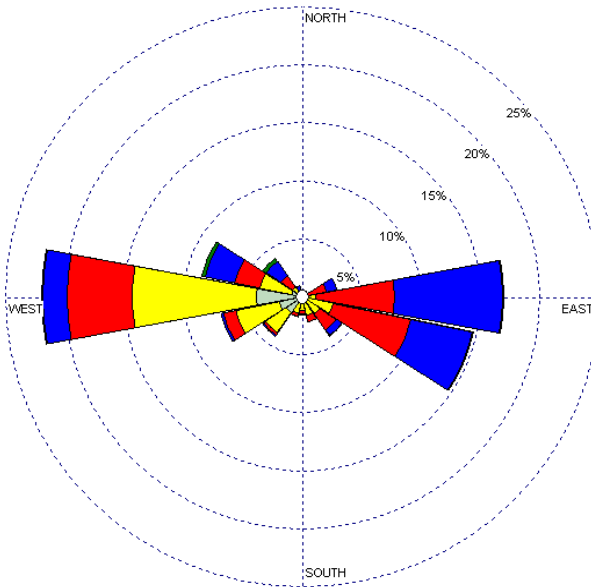
Gambar 4.12 Windrose pada tanggal 15 Mei 2019

Unsur Arsen dapat bersumber dari industri kayu, Arsenik juga dapat memengaruhi kesehatan anak-anak ketika mereka dewasa nanti. Suatu penelitian terdahulu menemukan adanya peningkatan jumlah penderita kanker paru-paru dan kanker kandung kemih pada orang dewasa yang terpapar arsenik pada awal hidupnya. Terpapar arsenik dalam dosis rendah maupun tinggi juga dapat meningkatkan risiko pubertas dini, obesitas, dan gangguan sistem reproduksi.

Arsenik juga memengaruhi kemampuan otak anak. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa siswa sekolah dasar yang terpapar arsenik memiliki hasil tes IQ lebih rendah daripada siswa yang tidak terpapar. (WHO, 2007).

4.3 Identifikasi Sumber Pencemar

Estimasi lokasi sumber pencemar lokal dilakukan dengan cara menggabungkan data konsentrasi unsur terhadap data meteorologi arah dan kecepatan angin seperti pada gambar 4.3. Analisis kedua data tersebut menggunakan *software* WRPLOT.



Gambar 4.3 Windrose

Hasil pengolahan Windrose harian terdapat pada lampiran. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pada tanggal, 21 Mei 2019 arah angin dominan dari Tenggara menuju Barat Laut dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 1.42 m/s sedangkan pada tanggal 22 dan 23 Mei 2019 arah angin dominan dari Timur menuju Barat dengan kecepatan angin rata-rata 1.33 m/s dan 1.52 m/s. Hasil ini menunjukkan konsentrasi yang lebih rendah pada lokasi sampling MTs Darul Ulum Waru dikarenakan Kegiatan Industri dominan berada di sisi Utara dan Barat lokasi sampling.

Sedangkan untuk lokasi sampling SMP Dharma Wanita 8 Waru hasil windrose harian arah angin dominan dari arah Barat dan Timur tetapi memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dikarenakan lokasi sampling berada di tengah zona industri, dimana kegiatan industri banyak berlangsung di sisi Timur dan Barat lokasi sampling.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Anak usia sekolah di Zona Industri Waru Sidoarjo telah terpapar kandungan logam berat yang cukup besar. Adapun unsur-unsur tersebut adalah K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, dan As.
2. Zona Industri Waru Sidoarjo berpotensi menjadi penyebab konsentrasi logam berat yang besar di Udara. Industri peleburan baja menjadi kontributor utama terhadap pencemaran logam berat di udara.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kajian kualitas lingkungan (air, tanah dan udara) serta kualitas kesehatan masyarakat terutama siswa sekolah di sekitar lokasi zona industri untuk mengetahui konsentrasi PM disekitar wilayah tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [ALAPCO] Association of Local Air Pollution Control Officials. 2006. *Controlling Fine Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options*. Washington.
- [Am.Geol.Inst] American Geological Institute. 1976. *Dictionary of Geological terms*. Revised Edition. Anchor Boks. New York. Vii +472 h.
- [EEA] European Environmental Agency, *Air Quality in Europe — 2013 report*. Copenhagen (Denmark), European Environment Agency report (2013).
- [KPBB] Press Release Komite Penghapusan Bensin Nertimbel (KPBB), *Bertahan Hidup di Zona merah; Paparan timbal dan dampaknya dari daur ulang aki bekas*. 27 Januari 2011.
- [Pusarpedal] Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan. 2010. *Laporan Kajian Timbal di Serpong Tangerang dan Sekitarnya Tahun 2010*. Kementerian Lingkungan Hidup. Kawasan Puspipetek Serpong.
- [US EPA] United States Environmental Protection Agency .2013. *National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule US EPA*.Vol 78 no 1.
- [US EPA] United States Environmental Protection Agency.2005. *Review of The National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information*. OAQPS Staff Paper.45(2):05-005
- [WHO AQG] 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.

- Abu-Allaban M, John AG, Alan W, Gertler, Russ Clayton, David Proffitt. 2007. *Motor Vehicle Contributions to Ambient PM₁₀ and PM_{2.5} at Selected Urban Areas in the USA*. Environment Monit Assess. 132:155-163.
- Ahmad, EF., Santoso, Muhayatun. 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
- Breu F, Guggenbichler S, Wollmann J. 2013. *World health statistics 2013*. Geneva : WHO Press.
- Brouwer P .2010. *Theory of XRF, Getting acquainted with the principles*. AA Almelo(Netherlands):PANalytical B.V.
- De Bruin YB, Koistinen K, Yli-Tuomi T, Kephelopoulos 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
- Dockery Dw, Pope Ca, Xu X, Spengler Jd, Ware Jh, Fay Me, Ferris Bg, Speizer Fe. *An Association Between Air Pollution And Mortality in six US cities*, New England Journal of Medicine, 329, 1753 — 1759 (1993)
- Fardiaz, S. (1992). *Polusi air dan udara* cetakan ke-11. Yogyakarta, Jawa tengah, Indonesia: Yogyakarta.
- Fierr, Marian. 2000. *Particulate matter*. [http://www .airinfony.org /pdf /Particulate _Matter.pdf](http://www.airinfony.org/pdf/Particulate_Matter.pdf).
- Hopke PK. 2000. A Guide to Positive Matrix Factorization, in workshop on UNMIX and PMF as applied to PM2.5. Willis, Editor. Amsterdam (NL):Elsevier Press.
- Krall JR, Anderson GB, Dominici F, Bell ML, Peng RD. 2013. *Short-Term Exposure To Particulate Matter Constituents And*

Mortality In A National Study Of U.S. Urban Communities. Environmental Health Perspectives. 10(121):1148 – 1153

- Mölter M, Agius Rm, Vocht F, Lindley S, Gerrard W, Lowe L, Belgrave D, Custovic A, Simpson A., *Long-term exposure to PM10 and NO2 in association with lung volume and airway resistance in the MAAS birth cohort,* Environmental Health Perspectives, 10 (121), 1232-1238 (2010).
- Mukhtar, Rita, Hari W, Esrom H, Susy L, Muhayatun S, Diah DL, Syukria K, *Heavy Metal Concentrations Of Air Ambient In Several Cities In Indonesia.* Jurnal Ecolab Vol.7 Hal. 50, 2013.
- Mukhtar, Rita. Lestiani. D.D. Esrom H. Muhayatun S. Hernani Y. 2016. *Kualitas Udara (PM 10 dan PM 2,5) Untuk Melengkapi Kajian Indeks Kualitas Lingkungan Hidup.* Ecolab Vol.10 No. 1 January 2016 : 1-48
- Mukhtar, Rita., Esron H., Hari W., Muhayatun S., Syukria K. 2013. *Komponen Kimia PM2,5 dan PM10 di Udara Ambien di Serpong-Tangerang.* Ecolab. Vol.7 : 1-48.
- Mukhtar, Rita., Susy Lahtiani, Esrom H, Hari, W, Santoso, M., Diah Dwiana Lestiani. 2014. *Study Of Quality Standard Of Heavy Metal In Ambient Air For Proposing Appendix Of Government Regulation Pp41/1999 On Air Pollution Control,* Ecolab Vol. 8 No. 1 Januari 2014 : 1 – 52.
- Norris G and Rachelle D. 2014. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamental and User Guide. Washington DC (USA).
- Phillip R.S, Johnson, John J. Graham. 2005. *Fine Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards; Public Health Impact on Populations in the Noreastern United*

States. Environmental Health Perspectives. V. 113(9) ;
2005 Sep : 1140-1147.

- Rixson, L. Riani, E., Santoso, M. (2015), *Karakterisasi Paparan Long Term Particulate Matter di Puspiptek Serpong-Kota Tangerang Selatan*, Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi", Vol.11, No. 1, hal. 51-64.
- Ryadi, Slamet. 1982. *Pencemaran Udara*. Surabaya: Usaha Nasional
- Santoso M, Hopke PK, Hidayat A, Diah DL. 2008. *Sources Identification Of The Atmospheric Aerosol At Urban And Suburban Sites In Indonesia By Positive Matrix Factorization*. Science of Total Environment.397:229-237
- Santoso, M., Lestiani DD, Hopke PK, 2013, *Atmosfir Black Carbon in PM_{2,5} in Indonesian Cities*. Journal of the Air & Waste Management Association, 63(9) : 1022-1025.
- Santoso, M., Lestiani DD., (2014), *Application Of ED XRF In Supporting National Program Of Air Quality Improvement In Indonesia*, XRF Newsletter, No. 26, April 2014
- Santoso, M., Marselina, M., Lestiani, DD., Mukhtar, R., 2016. *Karakteristik Partikulat Udara Ambien dan Terespirasi di Sekitar Kawasan Industri Non Formal*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Vol.17, No.1, Februari 2016; 49-58.
- Santoso, M., Sutisna. Taftazani, A., Darsono. Mulyaningsih, R., Lestiani, DD., Damastuti, E., Kurniawati, S. (2010). *Peran Teknik Analisis Nuklir dalam Kesehatan dan Lingkungan. Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VI*. Jakarta, 15-16 Juni 2010.
- Sastrawijaya, A. T., 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta, Jakarta.

Setiabudi, Agus, (2012), *Teknik XRF*, Bahan Kuliah Karakterisasi Material, Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA-UPI, Bandung. Di unduh pada [http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR. PEND. KIMIA /196808031992031AGUS SETIABUDI/Bahan Kuliah Karakterisasi Material/BAb 4 Teknik XRF.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._KIMIA/196808031992031AGUS_SETIABUDI/Bahan_Kuliah_Karakterisasi_Material/BAb_4_Teknik_XRF.pdf), diakses pada tanggal 14 Oktober 2018.

Soedomo M., 2001, *Pencemaran Udara*, Kumpulan Karya Ilmiah, ITB, Bandung

Theakston F. 2006. *Health Risks Of Particulate Matter From Long-Range Transboundary Air Pollution, Joint WHO/Convention Task Force On The Health Aspects Of Air Pollution*. Denmark. WHO.

Tyasjono, Bayong HK. 2006. *Klimatologi*, Penerbit ITB, Bandung

Watson JG, Chow JC. 2004. *Receptor Model For Air Quality Management*. Air & Waste Management Association. pp:15-24

WHO, 2007, *Health risks of heavy metals from longrange transboundary air pollution, Joint WHO Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution*(http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/78649/E91044.pdf)

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Desya Sulistyorini Saraswati. Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 21 Desember 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara pasangan Gatot Teguh Sulistio, SH. dan Yulia Priharini. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Teladan Pertiwi Surabaya, SD Negeri Kertajaya Surabaya, kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Surabaya, dan pendidikan tingkat atas dilalui di SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah menempuh pendidikan SMA penulis melanjutkan pendidikan Program Sarjana Teknik Lingkungan tahun ajaran 2015 dan terdaftar dengan NRP 03211540000063 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL dan aktif sebagai pengurus UKM Softball ITS dan UKM Bola Basket ITS serta aktif sebagai *volunteer* 'Earth Hour Surabaya'. Prestasi yang pernah diraih adalah mendapatkan Juara 3 Kejuaraan Softball antar Perguruan Tinggi Tingkat Nasional "Airlangga Cup 2017" dan Juara 2 Kejuaraan Softball Antar Perguruan Tinggi Tingkat Provinsi "Pra Liga Pemuda Cup 2018". Berbagai pelatihan dan seminar nasional di Bidang Teknik Lingkungan juga telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email desya.dss@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

ST-TL-03
 Kode: Genap 2018/2019

TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Kamis, 9 Mei 2019
 Pukul 08.00-09.00 WIB
 Lokasi TL-101
 Judul KAJIAN PAPAN LOGAM BERAT TERHADAP SISWA SEKOLAH DI ZONA INDUSTRI WARU, SIDOARJO
 Nama DESYA SULISTYORINI SARASWATI
 NRP. 3211540000063
 Topik Penelitian

Nilai TOEFL : 473

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
-	<p>Potensi sumber daya lahan?</p> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i> 20/6/19</p>
=	

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
 Dr. Eng. Arle Dipareza Syafel, S.T., MEPM.

(*[Signature]*)



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Desya Sulistyahini Samiwati
NRP : 0321154 0000663
Judul : Kajian Paparan Logam Berat terhadap Siswa Sekolah
di Zona Industri Wan, Sidoarjo

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	8 Maret 2019	Diskusikan Rentan Lokasi Sampling.	
2.	25 Maret 2019	Diskusikan Persiapan Data Smples	
3.	10 April 2019	Diskusikan Persebaran Master	
4.	20 April 2019	Diskusikan mengenai analisis XRF	
5.	29 April 2019	Diskusikan penyusunan laporan tugas akhir	
6.	21 Mei 2019	Diskusikan revisi laporan tugas akhir	
7.	24 Juni 2019	Diskusikan laporan tugas akhir	
8.	27 Juni 2019	Diskusikan penyusunan laporan tugas akhir	

Surabaya, 29 April 2019.....
Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Wijaya Syarif, S.T., M.Eng.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE184804
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 18 Juli 2019
Pukul : 9.30 - 11.30
Lokasi : TL-106
Judul : KAJIAN PAPAN LOGAM BERAT TERHADAP SISWA SEKOLAH DI ZONA INDUSTRI WARU SIDOARJO

Nilai TOEFL 473

Nama : Desya Sulistyorini Saraswati
NRP. : 0321154000063
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1	Keselamatan di lokasi sampel tempat responden
2	Penelitian "neraca mikro" atau Micro Balance"

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

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



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : DESYA SULISTYORINI SARASWATI
NRP : 4121154000063
Judul Tugas Akhir : Kajian Perairan LACAM BERAT Terhadap Sisa Sekolah di
ZONA INDUSTRI WAKU SIDAREJO

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1	Kartel sebaiknya dipajang di lokasi simpul tempat responden	Kartel dipajang tidak jauh dari lokasi titik pengambilan sampel
2	Penulisan analisis mikro	Penulisan analisis mikro sbv mikro biologi

Dosen Pembimbing,

Dr. Eng. Agus Diponegoro, S.T., M.Eng.

Mahasiswa Ybs.,

DESYA SULISTYORINI

Lampiran Tabel Konsentrasi Multi Unsur

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A01	43	352.07	-	5.84	125.92	0.07	3.65	32.5	29.95	16.67
PVC-A02	49.44	472.54	-	11.72	224.19	-	3.32	59.14	28.15	16.43
PVC-A03	62.66	266.73	-	6.66	195.86	-	1.87	21.47	15.99	9.2
PVC-A04	47.35	167.92	64.14	3.67	115.54	0.12	2.2	28.4	-	2.35
PVC-A05	14.44	85.07	25.63	2.94	61.09	0.31	2.93	21.04	2.97	3.64
PVC-A06	21.74	153.04	20.93	0.42	69.81	0.08	3.56	17.64	15.22	10.15
PVC-A07	47.43	372.44	-	7.53	85.53	0.11	4.66	25.8	2.96	1.37
PVC-A08	18.58	82.73	42.77	0.42	53.35	0.11	2.92	10.54	16.15	13.44
PVC-A09	2.04	48.75	28.64	5.2	18.28	0.15	4.28	6.89	31.14	13.65
PVC-A10	18.91	185.14	-	4.8	80.17	0.33	4.47	14.72	9.71	12.59
PVC-A11	-	-	29.08	4.44	-	0.07	1.84	14.07	3.89	13.22
PVC-A12	43.21	83.54	23.76	4.46	69.1	0.32	1.18	11.47	7.23	12.38
PVC-A13	-	-	27.65	7.83	92.04	0.33	1.17	18.46	12.77	17.47
PVC-A14	22.38	69.13	-	5.31	31.12	0.05	1.38	18.54	5.82	15.39
PVC-A15	145.78	430.24	-	0.37	113.04	0.12	2.99	23.63	19.13	6.24
PVC-A16	102.33	199.68	19.05	2.16	62.27	0.21	2.23	28.45	21.29	22.24

PVC-A17	16.42	69.4	-	5.88	25.11		0.94	48.82	6.96	14.02
PVC-A18	12.3	171.54	-	3.85	13.45	0.17	3.51	22.65	28.79	22.12
PVC-A19	69.51	397.29	-	10.03	235.96	0.21	2.46	76.92	13.63	7.85
PVC-A20	-	155.94	-	7.55	10.12	0.2	3.52	16.92	-	1.87
PVC-A21	25.79	92.75	31.82	5.91	63.18	0.12	3.14	16.53	-	5.13
PVC-A22	2.34		56.51	6.01	11.4	0.14	4.5	9.08	38.59	21.24
PVC-A23	13.79	51.84	36.47	6.75	49.02	0.13	1.74	24.06	21.18	20.54
PVC-A24	-	-	26.47	8.52	-	0.3	2.32	14.61	3.28	13.62
PVC-A25	28.19	288.31	-	3.07	73.07	-	2	36.35	-	4.68
PVC-A26	12.54	104.75	6.37	7.48	48.45	-	1.14	38.1	22.21	19.44
PVC-A27	10.3	55.93	14.91	8.58	57.56	0.04	3.27	44.26	9.89	14.47
PVC-A28	20.29	362.02	-	7.5	195.29	-	1.01	40.25	-	9.92
PVC-A29	36.52	272.61	-	5.2	106.02	0.11	2.75	51.29	15.04	22.29
PVC-A30	6.23	47.25	-	9.35	12.26	0.24	2.4	20.83	0.11	12.18

Keterangan : Konsentrasi dalam ng/cm²

Lampiran Tabel Konsentrasi Multi Unsur

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A01	633.354	5185.698	-	86.018	1854.697	1.031	53.761	478.698	441.139	245.535
PVC-A02	728.210	6960.120	-	172.626	3302.132	-	48.901	871.083	414.626	242.000
PVC-A03	922.930	3928.711	-	98.096	2884.855	-	27.544	316.235	235.519	135.508
PVC-A04	697.426	2473.322	944.729	54.056	1701.808	1.768	32.404	418.308	-	34.614
PVC-A05	212.689	1253.010	377.509	43.304	899.805	4.566	43.156	309.902	43.746	53.614
PVC-A06	320.212	2254.152	308.281	6.186	1028.243	1.178	52.436	259.823	224.178	149.501
PVC-A07	698.604	5485.731	-	110.911	1259.786	1.620	68.638	380.013	43.598	20.179
PVC-A08	273.668	1218.544	629.966	6.186	785.801	1.620	43.009	155.245	237.876	197.960
PVC-A09	30.048	718.047	421.843	76.592	269.249	2.209	63.041	101.484	458.666	201.053
PVC-A10	278.529	2726.958	-	70.700	1180.837	4.861	65.839	216.813	143.020	185.440
PVC-A11	-	-	428.324	65.398	-	1.031	27.102	207.239	57.296	194.720
PVC-A12	636.447	1230.475	349.965	65.692	1017.785	4.713	17.380	168.944	106.492	182.347
PVC-A13	-	-	407.261	115.329	1355.673	4.861	17.233	271.900	188.091	257.319
PVC-A14	329.639	1018.227	-	78.212	458.372	0.736	20.326	273.079	85.724	226.682
PVC-A15	2147.218	6337.077	-	5.450	1664.985	1.768	44.040	348.050	281.769	91.910

Sampel	K	Ca	V	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Pb	As
PVC-A16	1507.236	2941.120	280.591	31.815	917.185	3.093	32.846	419.045	313.584	327.577
PVC-A17	241.853	1022.204	-	86.608	369.849	-	13.845	719.078	102.515	206.503
PVC-A18	181.169	2526.641	-	56.707	198.107	2.504	51.699	333.616	424.053	325.809
PVC-A19	1023.824	5851.751	-	147.734	3475.494	3.093	36.234	1132.968	200.759	115.624
PVC-A20	-	2296.866	-	111.205	149.059	2.946	51.847	249.218	-	27.544
PVC-A21	379.865	1366.130	468.682	87.049	930.589	1.768	46.250	243.473	-	75.561
PVC-A22	34.466	-	832.345	88.522	167.913	2.062	66.281	133.741	568.399	312.848
PVC-A23	203.115	763.560	537.173	99.422	722.024	1.915	25.629	354.384	311.964	302.537
PVC-A24	-	-	389.881	125.493	-	4.419	34.172	215.193	48.312	200.611
PVC-A25	415.215	4246.566	-	45.219	1076.260	-	29.458	535.405	-	68.933
PVC-A26	184.704	1542.880	93.825	110.174	713.628	-	16.791	561.181	327.135	286.335
PVC-A27	151.710	823.802	219.612	126.376	847.811	0.589	48.164	651.913	145.671	213.131
PVC-A28	298.855	5332.253	-	110.469	2876.459	-	14.876	592.849	-	146.113
PVC-A29	537.909	4015.318	-	76.592	1561.586	1.620	40.505	755.459	221.527	328.313
PVC-A30	91.763	695.953	-	137.718	180.580	3.535	35.350	306.809	1.620	179.401

Keterangan : Konsentrasi dalam ng/m³

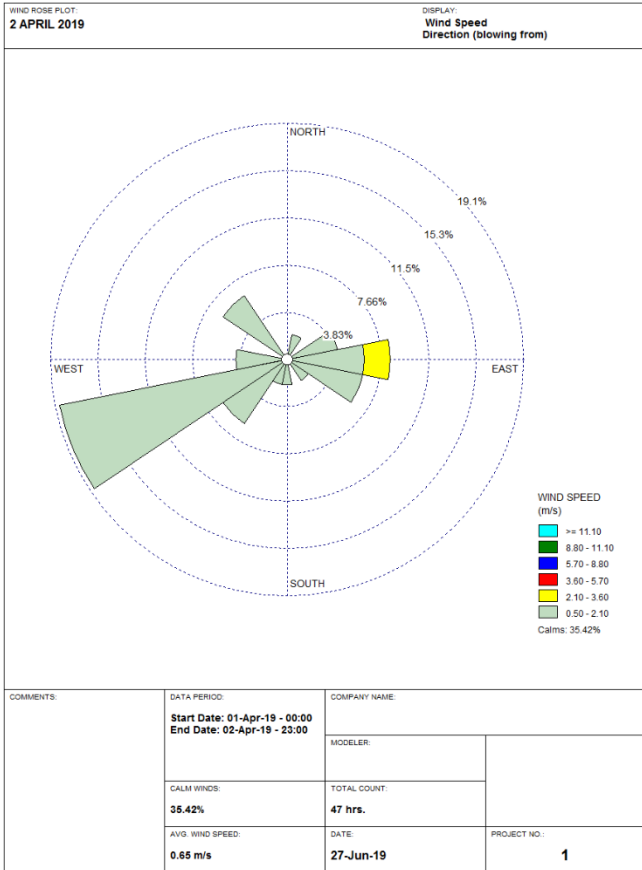
Lampiran Tabel Penimbangan Filter

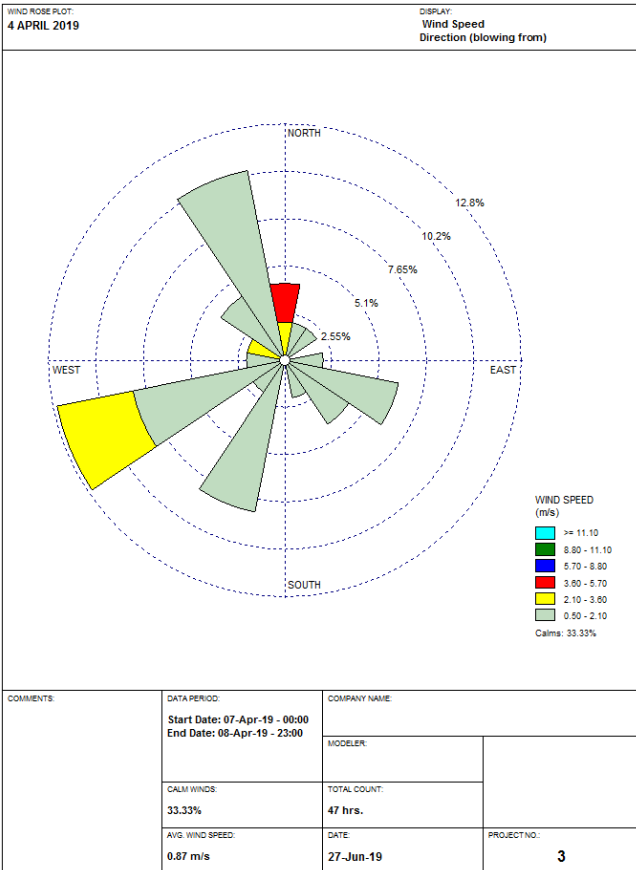
Tanggal	Identitas Sampel	Penimbangan Filter Kosong	Penimbangan Filter Kosong + Sampel	berat debu	PM10	PM10
		Berat (mg)	Berat (mg)	(mg)	(mg/m ³)	(µg/m ³)
02-Apr-19	PVC-A-01	329.966	330.803	0.837	1.744	1743.75
04-Apr-19	PVC-A-02	308.902	309.553	0.651	1.356	1355.56
08-Apr-19	PVC-A-03	335.223	336.587	1.364	2.842	2841.67
09-Apr-19	PVC-A-04	337.095	338.466	1.371	2.856	2855.56
10-Apr-19	PVC-A-05	327.578	330.307	2.729	5.686	5686.11
11-Apr-19	PVC-A-06	333.700	335.288	1.588	3.308	3307.64
13-Apr-19	PVC-A-07	332.212	334.504	2.292	4.774	4774.31
15-Apr-19	PVC-A-08	338.348	339.486	1.138	2.371	2370.83
18-Apr-19	PVC-A-09	316.609	317.133	0.524	1.092	1091.67

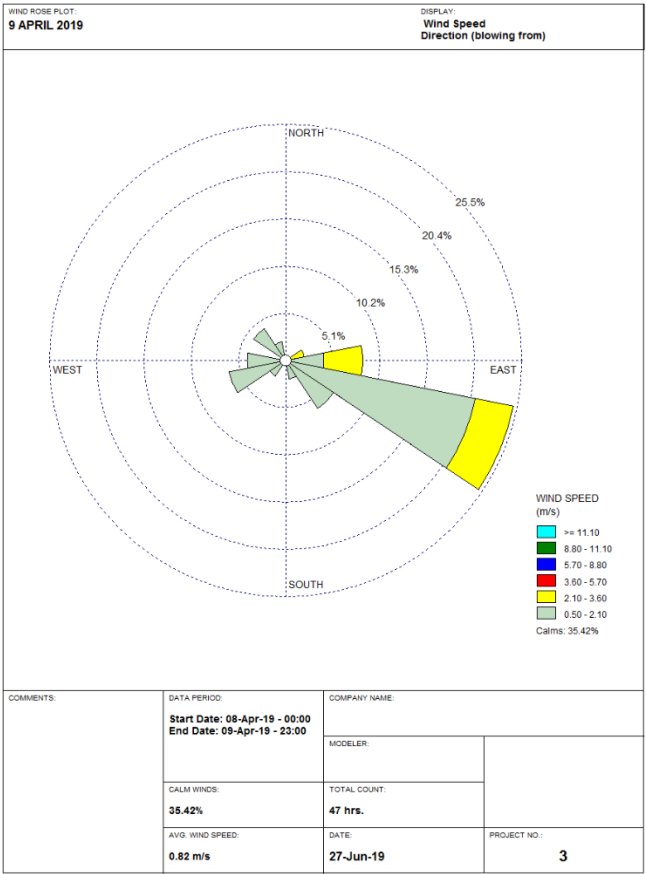
Tanggal	Identitas Sampel	Penimbangan Filter Kosong	Penimbangan Filter Kosong + Sampel	berat debu	PM10	PM10
		Berat (mg)	Berat (mg)	(mg)	(mg/m3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13-Mei-19	PVC-A-17	348.877	349.354	0.477	0.994	994.44
	PVC-A-28	318.298	318.831	0.533	1.110	1109.72
	PVC-A-12	342.806	343.185	0.379	0.789	788.89
14-Mei-19	PVC-A-13	351.474	352.213	0.740	1.541	1540.97
	PVC-A-18	327.602	328.385	0.783	1.632	1631.94
	PVC-A-30	355.989	356.920	0.931	1.940	1940.28
15-Mei-19	PVC-A-16	330.446	331.482	1.036	2.158	2158.33
	PVC-A-10	341.422	342.360	0.938	1.954	1954.17
	PVC-A-14	337.848	338.850	1.002	2.088	2088.19
16-Mei-19	PVC-A-27	340.693	341.401	0.708	1.476	1475.69
	PVC-A-19	335.832	336.557	0.725	1.510	1510.42
	PVC-A-22	350.090	350.869	0.779	1.623	1622.92

Tanggal	Identitas Sampel	Penimbangan Filter Kosong	Penimbangan Filter Kosong + Sampel	berat debu	PM10	PM10
		Berat (mg)	Berat (mg)	(mg)	(mg/m3)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
21-Mei-19	PVC-A-20	330.010	330.182	0.172	0.358	357.64
	PVC-A-21	343.484	343.589	0.105	0.219	219.44
	PVC-A-23	344.075	344.354	0.279	0.581	581.25
22-Mei-19	PVC-A-24	333.321	333.466	0.145	0.302	302.08
	PVC-A-25	343.397	343.719	0.322	0.672	671.53
	PVC-A-26	359.729	360.063	0.334	0.697	696.53
23-Mei-19	PVC-A-11	325.834	326.135	0.301	0.627	627.08
	PVC-A-15	345.346	345.742	0.396	0.825	825.00
	PVC-A-29	319.384	319.775	0.391	0.815	815.28

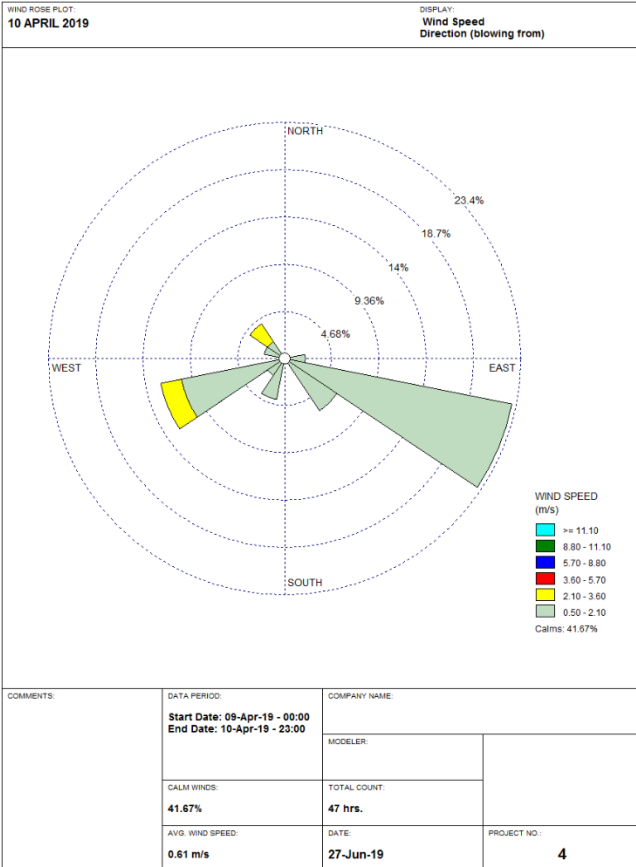
Lampiran Windrose



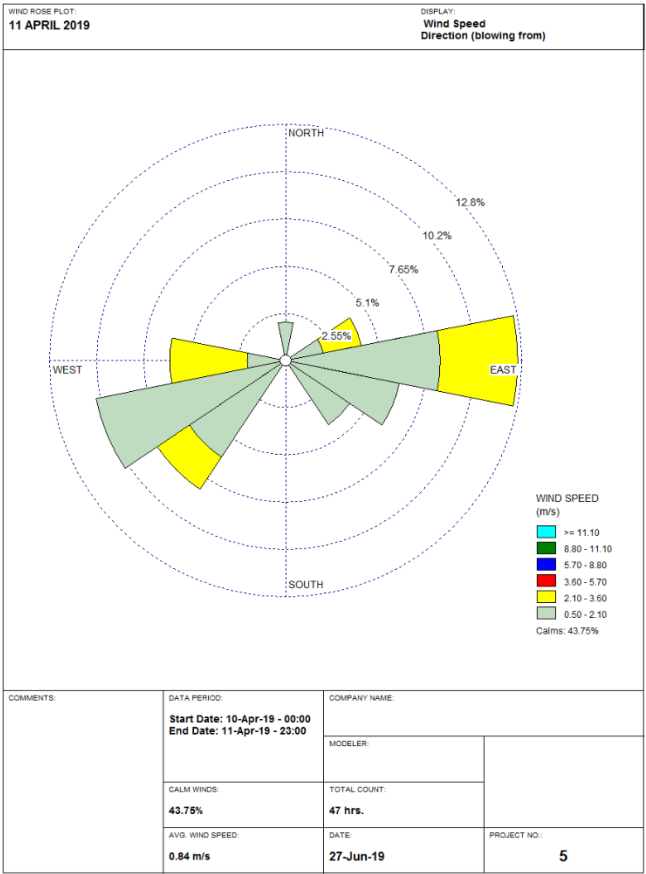


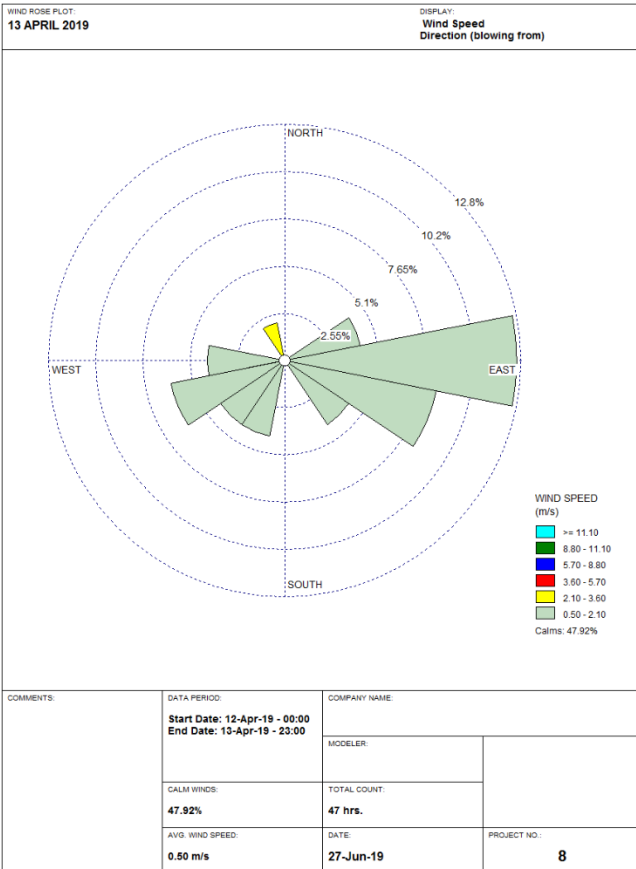


WRPLOT View - Lakes Environmental Software

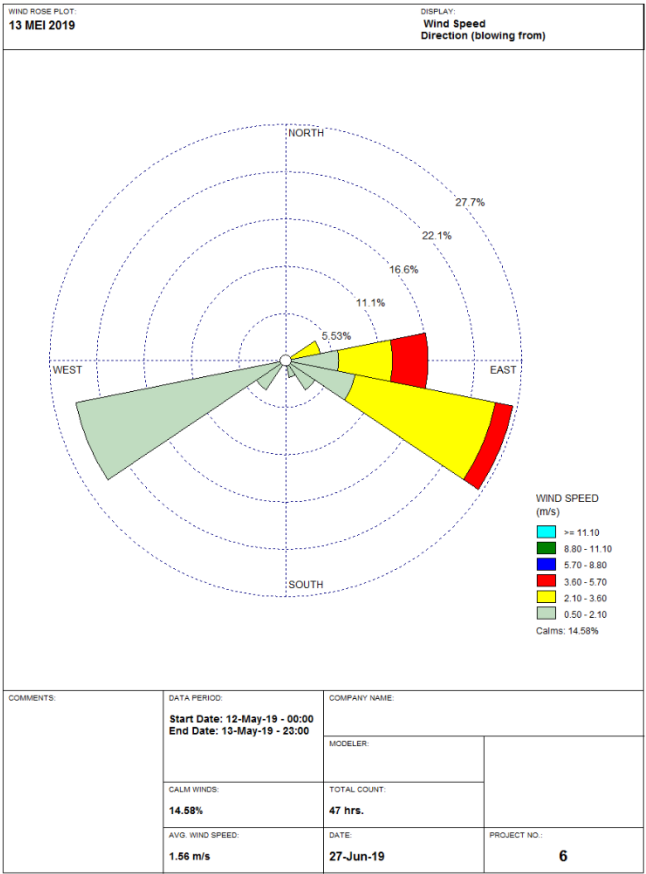


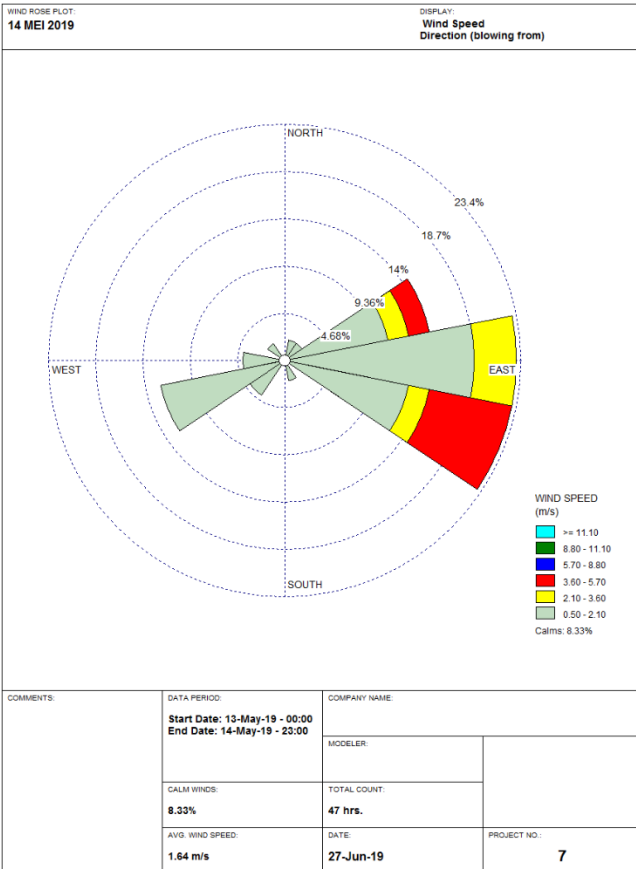
WRPLOT View - Lakes Environmental Software



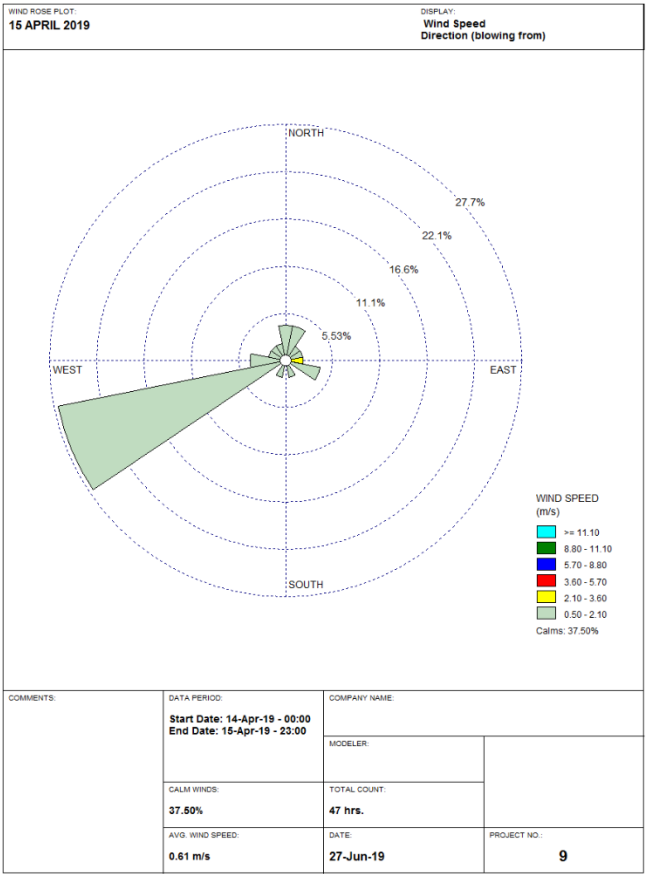


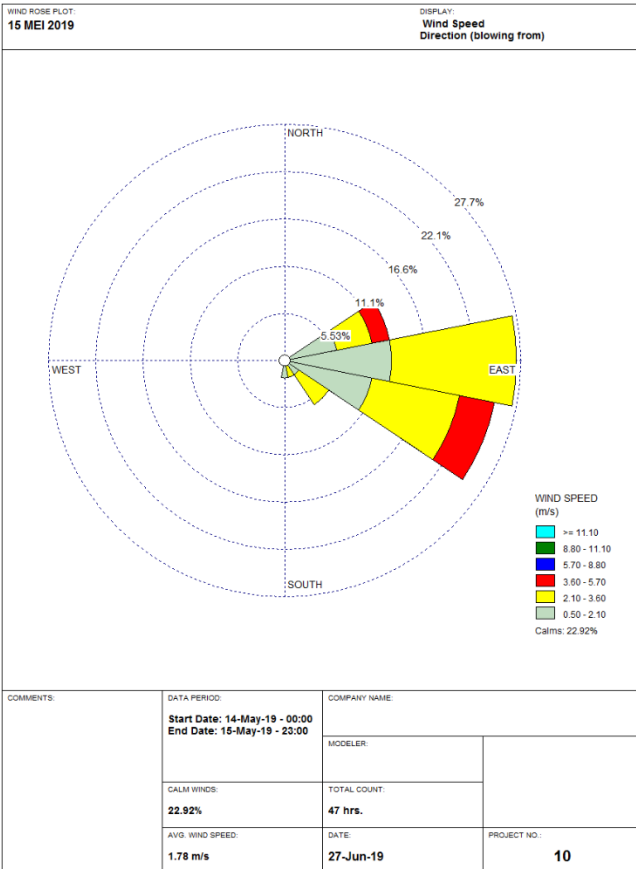
WRPLOT View - Lakes Environmental Software



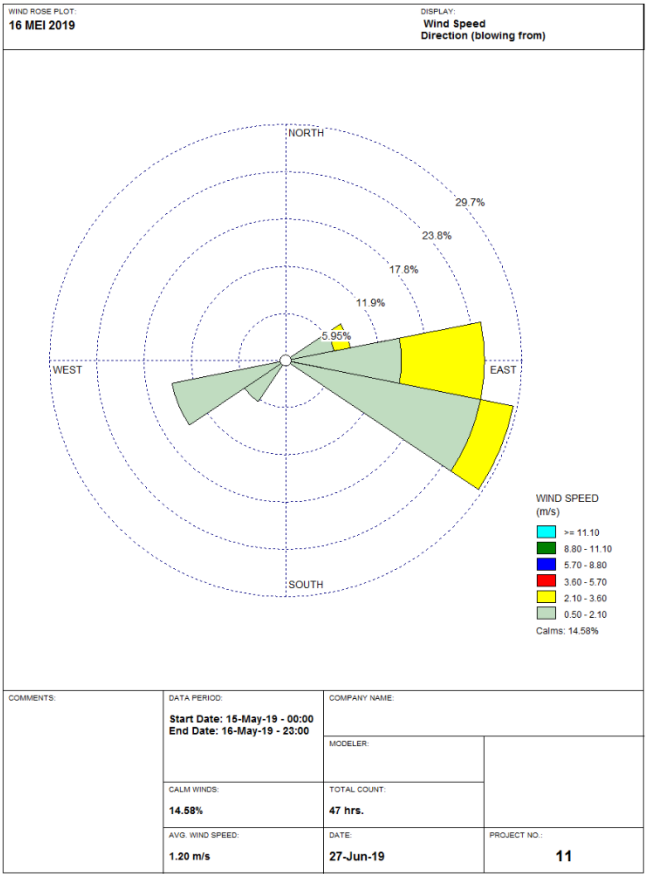


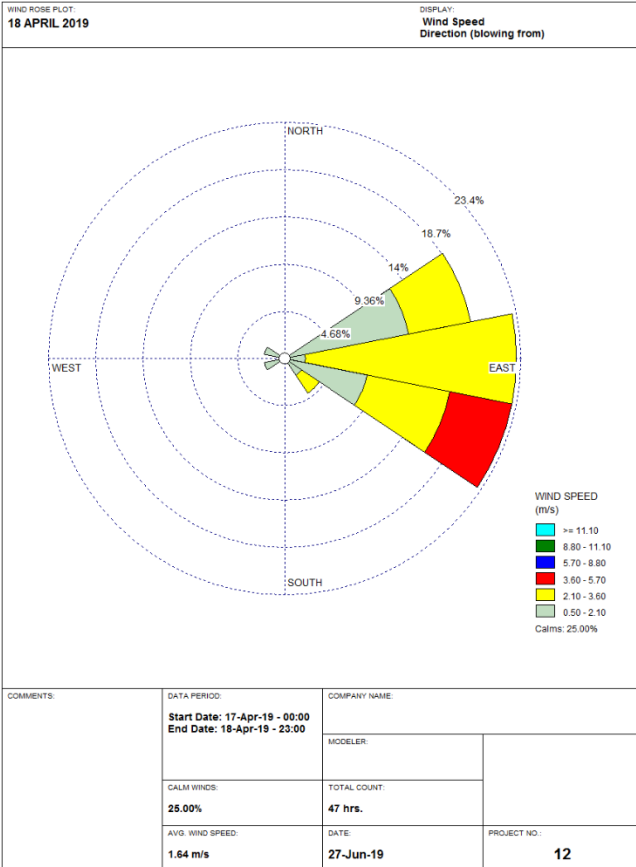
WRPLOT View - Lakes Environmental Software



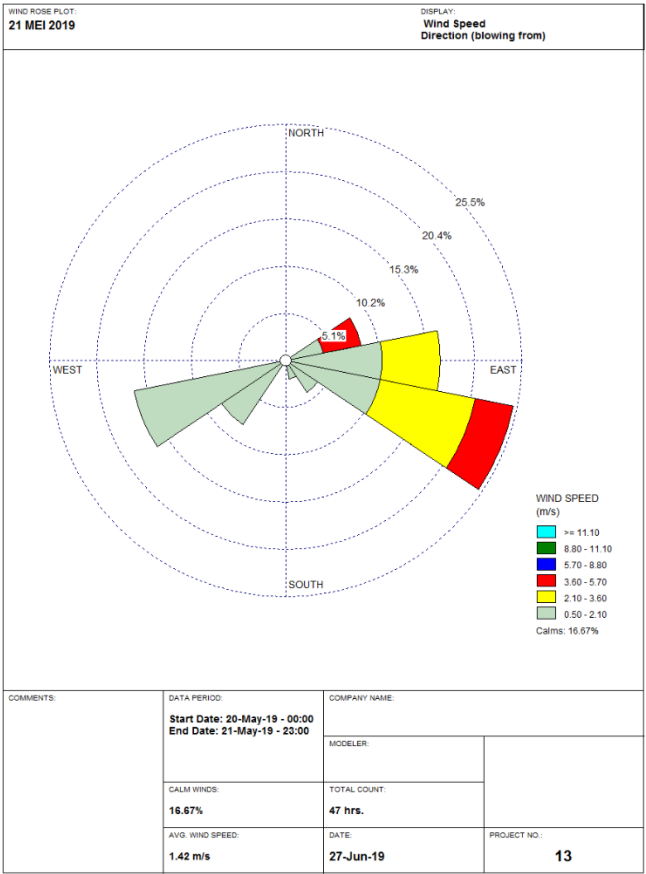


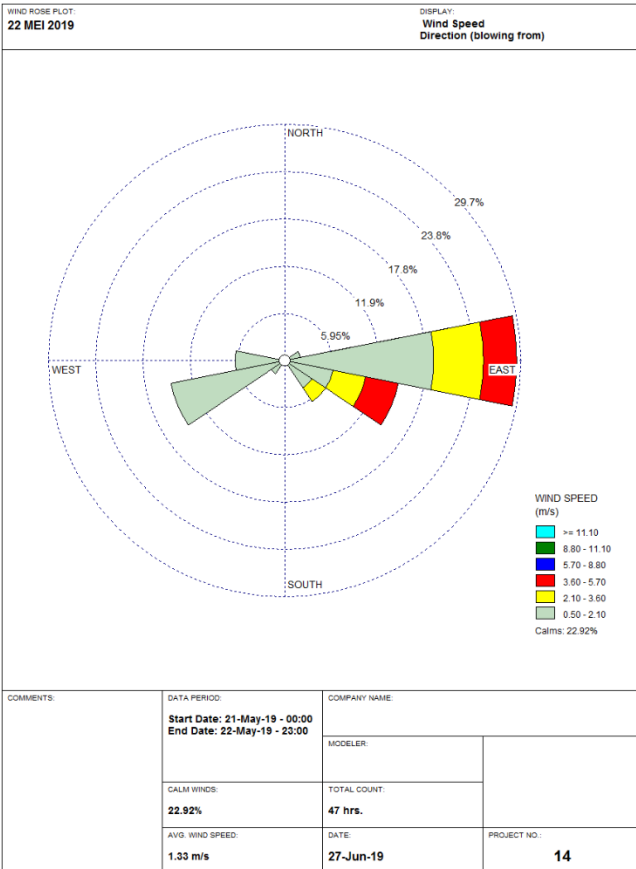
WRPLOT View - Lakes Environmental Software

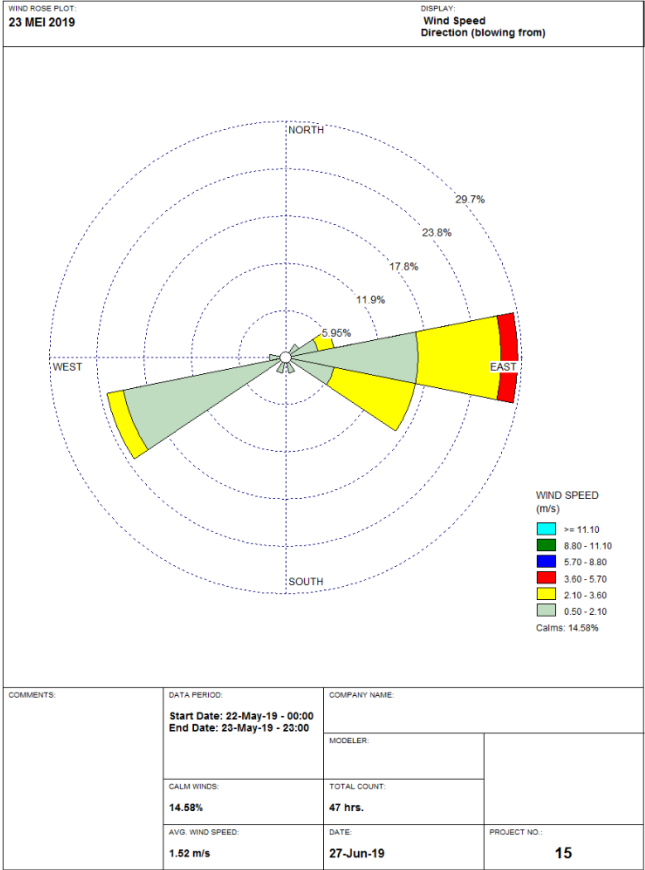




WRPLOT View - Lakes Environmental Software







Lampiran Daftar Industri

NO	JENIS USAHA
1.	Pemotongan Baja
2.	Industri Baja
3.	Industri Pemotongan Baja
4.	Industri Kayu
5.	Industri Plastik
6.	Industri Plastik
7.	Industri Plastik
8.	Industri Kayu
9.	Industri Plastik
10.	Industri Pengemasan
11.	Industri Kimia
12.	Industri Baja
13.	Industri Lakban
14.	Industri Baja
15.	Industri Baja
16.	Industri Baja

