

PENGAMATAN KONSENTRASI MASSA PM_{2.5} DI CEKUNGAN UDARA BANDUNG RAYA

OBSERVATION OF PM_{2.5} MASS CONCENTRATION IN THE GREATER BANDUNG AIR BASIN

Furqan Vaicdan^{1,*}, Indra Chandra¹, Asep Suhendi¹

¹Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹furqanvaicdan@student.telkomuniversity.ac.id, ²indrachandra@telkomuniversity.ac.id,

³suhendi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PM_{2.5} adalah partikulat yang tersuspensi di udara dan berukuran < 2.5 μm. Apabila konsentrasinya melebihi ambang batas maka dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan/atau tumbuhan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat ukur konsentrasi massa PM_{2.5} dengan menggunakan *low-cost sensor* di cekungan udara Bandung Raya dan menganalisis pengaruh meteorologi dan unsur kimia dari partikulatnya terhadap pengukuran PM_{2.5}. Alat yang digunakan adalah sensor SKU:SEN0177 yang dikalibrasi di laboratorium dengan menggunakan *particle generator* (model KG-02, Rion Co. Ltd.) menggunakan *polystyrene latex spheres* (PSL) berukuran 0,309, 0,479, dan 1,005 μm, yang akan diteruskan ke *diffusion dryer* sebagai pengering untuk mengurangi kelembaban (RH~40%), kemudian diteruskan ke sensor, *optical particle counter* (OPC, model KC-01E, Rion Co. Ltd.) dan *exhaust* secara serempak. OPC digunakan sebagai kalibrator dan memiliki cara kerja yang sama dengan sensor, yaitu menggunakan prinsip hamburan cahaya. Kampanye dilaksanakan pada 17 Agustus-11 September 2018, di Gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung. Pengukuran dilengkapi dengan Nanosampler, sensor DHT22 (temperatur dan kelembaban), sensor BMP180 (tekanan), sensor BH1750 (intensitas cahaya), sensor HMC 5883L (arah angin), dan sensor *hall effect* (kecepatan angin). Dari hasil pengamatan, pembacaan sensor dipengaruhi oleh RH (> 80%) dan komposisi kimia. Pertumbuhan higroskopis selama ketersediaan uap air di udara menyebabkan pembacaan sensor menjadi lebih tinggi (*overestimate*). Unsur kimia yang paling banyak ditemukan selama masa pengukuran adalah Natrium klorida (NaCl, berukuran lebih dari 1 μm) dan amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄, < 1 μm). Komposisi kimia dengan indeks bias yang lebih kecil menyebabkan intensitas hamburan yang ditangkap oleh foto detektor menjadi lebih rendah (*underestimate*). Selama masa penelitian sensor dapat mengikuti nilai dari Nanosampler dengan rerata simpangan harian sebesar 1,1±12,1 μg m⁻³.

Kata Kunci: *low-cost sensor*, Nanosampler, PM_{2.5}, polusi udara

PM_{2.5} are suspended particles ($D_p < 2.5 \mu\text{m}$) in the air. If the concentration exceeds the threshold, it can endanger human health, animal and/or plant. This study aims to develop PM_{2.5} detector using a low-cost sensor, to observe the mass concentration of PM_{2.5} in the Greater Bandung air basin, and to analyze the effects of meteorology and chemical components on its particulates in PM_{2.5} measurements. We used a sensor (model SKU: SEN0177) which is calibrated in a laboratory using polystyrene latex spheres (PSLs) with the size of 0.309, 0.479, and 1.005 μm (generated by a particle generator (model KG-02, Rion Co. Ltd.)). Those particles are introduced to a diffusion dryer (to maintain a relative humidity (RH) ~ 40%) and then forwarded to a sensor, an optical particle counter (OPC, model KC-01E, Rion Co. Ltd.) and an exhaust simultaneously. OPC is used as a calibrator and has the same method with a sensor, which it uses the principle of light scattering. The campaign was held on 17 August-11 September 2018, at the Tokong Nanas Building, Telkom University, Bandung. Measurements are equipped with Nanosampler, DHT22 sensor (temperature and RH), BMP180 sensor (pressure), BH1750 sensor (light intensity), HMC 5883L sensor (wind direction), and hall effect sensor (wind speed). During the field observation, a sensor is influenced by RH (> 80%) and chemical composition. Hygroscopic growth is one of the main factors that it causes overestimate reading due to the availability of water vapor in the air. The dominant chemical compositions observed in the field are sodium chloride ($D_p > 1 \mu\text{m}$) and ammonium sulfate ($D_p < 1 \mu\text{m}$). These particulates have low refractive indexes that it causes low capturing light scattering by the photodetector. A sensor data can follow Nanosampler data with the daily-average deviation of $1.1 \pm 12.1 \mu\text{g m}^{-3}$.

Keywords: air pollution, low-cost sensor, Nanosampler, PM_{2.5},

1. Pendahuluan

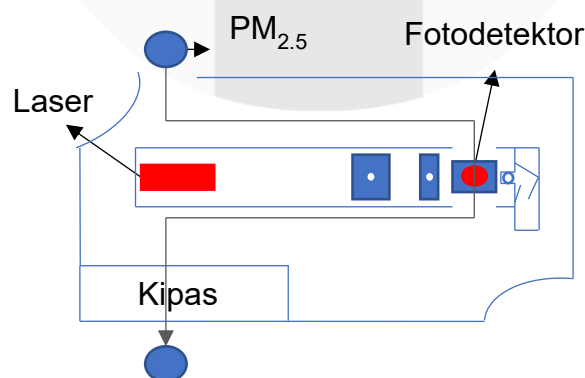
Salah satu permasalahan yang sedang dihadapi di daerah perkotaan adalah pencemaran udara. Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga mengakibatkan gangguan kesehatan pada makhluk hidup dan kerusakan pada lingkungan [1]. Sumber pencemaran udara dibagi menjadi dua, yaitu pencemaran udara akibat kegiatan manusia (*anthropogenic pollution*) dan sumber alamiah (*natural pollution*). Salah satu pencemar udara akibat kegiatan manusia dan alam adalah $PM_{2.5}$ [2]. $PM_{2.5}$ adalah partikel padatan atau cair yang tersuspensi di udara yang ukuran diameternya lebih kecil atau sama dengan 2.5 mikrometer. $PM_{2.5}$ dapat terbentuk dari dalam ruangan maupun luar ruangan. Kegiatan di dalam ruangan yang menyebabkan adanya $PM_{2.5}$ adalah merokok, memasak, menyalakan lilin, dan memanaskan ruangan [3]. Sedangkan kegiatan di luar ruangan dapat terjadi secara primer dan sekunder. $PM_{2.5}$ secara primer adalah polutan yang langsung dipancarkan ke atmosfer, seperti asap kendaraan bermotor, kegiatan industri [4] dan kebakaran hutan. Sedangkan $PM_{2.5}$ secara sekunder adalah polutan yang tidak langsung dipancarkan ke atmosfer dan dihasilkan dari reaksi substansi di atmosfer seperti ozon [5].

Berdasarkan Peraturan Pemerintahan Republik Indonesia no 41 Tahun 1999, batas maksimum rerata $PM_{2.5}$ dalam 1 hari dan 1 tahun adalah $65 \mu\text{g m}^{-3}$ dan $15 \mu\text{g m}^{-3}$ [6]. Apabila melewati batas ambang, hal tersebut akan berdampak terhadap kesehatan manusia ataupun lingkungan. Dampak pada manusia yaitu iritasi saluran pernapasan, batuk, kesulitan bernapas, mengurangi fungsi paru-paru, asma, meningkatkan resiko bronkitis, serangan jantung dan kematian serta berkurangnya jarak pandang manusia. Dampak yang terjadi pada manusia juga dapat terjadi kepada hewan [7]. Sedangkan dampak yang terjadi pada tumbuhan adalah mengganggu kegiatan fotosintesis karena menghambat masuknya cahaya matahari. Oleh karenanya, sangat penting dilakukan pemantauan terhadap konsentrasi $PM_{2.5}$. Alat ukur yang biasa digunakan dalam pengukuran konsentrasi massa partikel 2.5 adalah *Tapered Element Oscillating Microbalance* (TEOM) yang dapat mengukur secara *real-time* [8]. Namun TEOM memiliki kekurangan yaitu harganya yang mahal. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat ukur konsentrasi massa $PM_{2.5}$ berbasis *low-cost sensor* yang dapat mengukur secara *real-time* dengan harga yang murah dan memiliki ukuran yang kecil [9], melakukan pengamatan di cekungan udara Bandung Raya, serta mengevaluasi kinerja sensor dengan data dari Nanosampler dan faktor meteorologi.

2. Perancangan Penelitian

2.1 Low-Cost Sensor $PM_{2.5}$.

Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor SKU:SEN 0177 (Gambar 1). Sensor ini berukuran $65 \times 42 \times 23 \text{ mm}$, bekerja pada tegangan 5V, dengan arus maksimum 120 mA. Sensor ini dapat mengukur konsentrasi massa $PM_{2.5}$ sampai $500 \mu\text{g m}^{-3}$, dan bekerja dengan baik pada temperatur $-20 - 50^\circ\text{C}$ dan RH 0-80% [10]. Prinsip kerja dari sensor ini yaitu menggunakan hamburan laser dengan panjang gelombang sekitar 630-680 nm. Laser tersebut akan memancarkan cahaya bila adanya partikel sehingga terjadi hamburan cahaya. Hamburan yang tersebar ke arah tertentu bergantung pada ukuran partikel, indeks bias, bentuk partikel, sudut hamburan dan panjang gelombang dari laser [11]. Hamburan yang terjadi akan ditangkap oleh foto detektor dimana pembacaan tersebut dipengaruhi oleh gelombang cahaya datang, sudut hamburan dan indeks bias [12]. Pada ukuran kurang dari 0,3 mikrometer, partikel tidak dapat dideteksi karena kurangnya hamburan cahaya yang dihasilkan [13]. Sinyal yang didapatkan akan dikuatkan oleh filter sehingga dapat dibaca oleh *Microcontroller Unit*. Apabila tidak terdapat partikel yang masuk laser akan diteruskan kedalam ruangan kosong sehingga tidak terjadi pembacaan partikel.

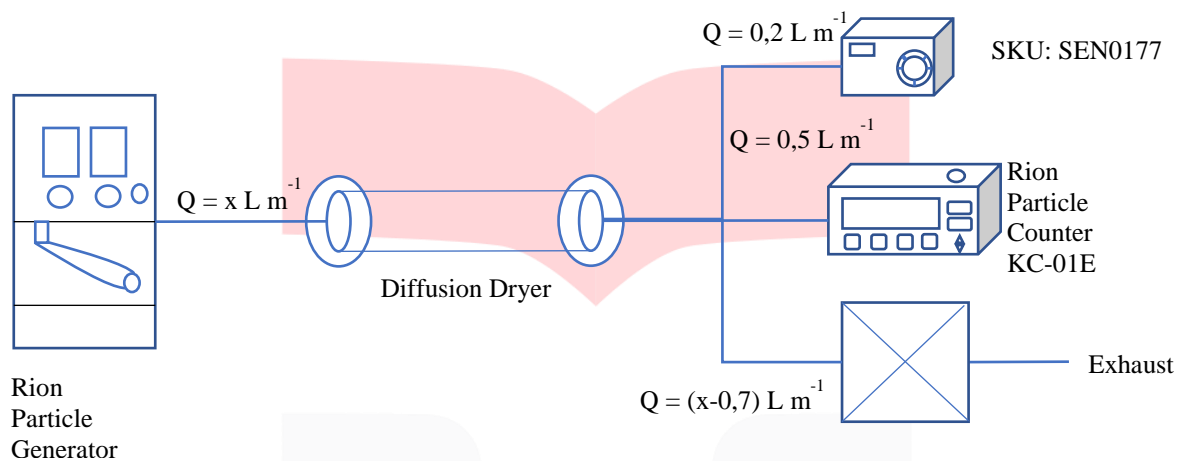


Gambar 1. Skematik dari *low-cost sensor* $PM_{2.5}$ yang digunakan.

2.2 Kalibrasi Low-Cost Sensor $PM_{2.5}$

Telah dilakukan kalibrasi pada alat SKU:SEN 0177 dengan menggunakan generator partikel, *diffusion dryer*, dan *optical particle counter* (OPC) (Gambar 2). Generator partikel adalah alat untuk membangkitkan partikel dalam ukuran tertentu ($D_p = 0,309, 0,479, \text{ dan } 1,005$) dengan menggunakan *polystyrene latex spheres*

(PSL). Partikel generator menggunakan prinsip kerja Nebulizer yaitu suatu alat yang mengubah larutan menjadi uap atau aerosol secara terus-menerus dengan menggunakan tenaga listrik. Salah satu contohnya yaitu Nebulizer ultrasonik dengan menggunakan gelombang suara ultrasonik untuk memecah partikel cair menjadi kabut berbasis piezoelektrik. Partikel-partikel tersebut diteruskan ke sensor dan OPC dengan kecepatan tertentu melalui *diffusion dryer*. *Diffusion dryer* adalah alat yang digunakan untuk memisahkan partikel dengan uap air. *Diffusion dryer* sendiri terdiri dari 3 bagian yaitu *inlet* sebagai jalur masuknya partikel, *desiccant dryer* dimana di dalamnya terdapat silika yang digunakan sebagai pengering, serta *outlet* sebagai tempat keluar partikel yang ingin diukur setelah dikeringkan. Cara kerja dari *diffusion dryer* itu sendiri adalah ketika partikel masuk ke dalam *inlet*, uap air akan berdifusi dengan silika gel sehingga kelembaban relative (RH) akan menurun. Terdapat kekurangan dalam alat ini yaitu ketika partikel yang masuk tidak mengenai silika maka akan terjadi *particle loss*. OPC digunakan sebagai pembanding dari data yang dihasilkan oleh sensor. OPC memiliki cara kerja yang sama dengan sensor yaitu dengan menggunakan prinsip hamburan cahaya dimana laser akan mengenai partikel sehingga terjadi hamburan cahaya, hamburan tersebut akan ditangkap oleh fotodiode dengan kecepatan $0,5 \text{ L min}^{-1}$ [14].



Gambar 2. Skema eksperimen untuk mengkalibrasi sensor.

2.3 Alat dan Sensor Lainnya pada Masa Pengukuran

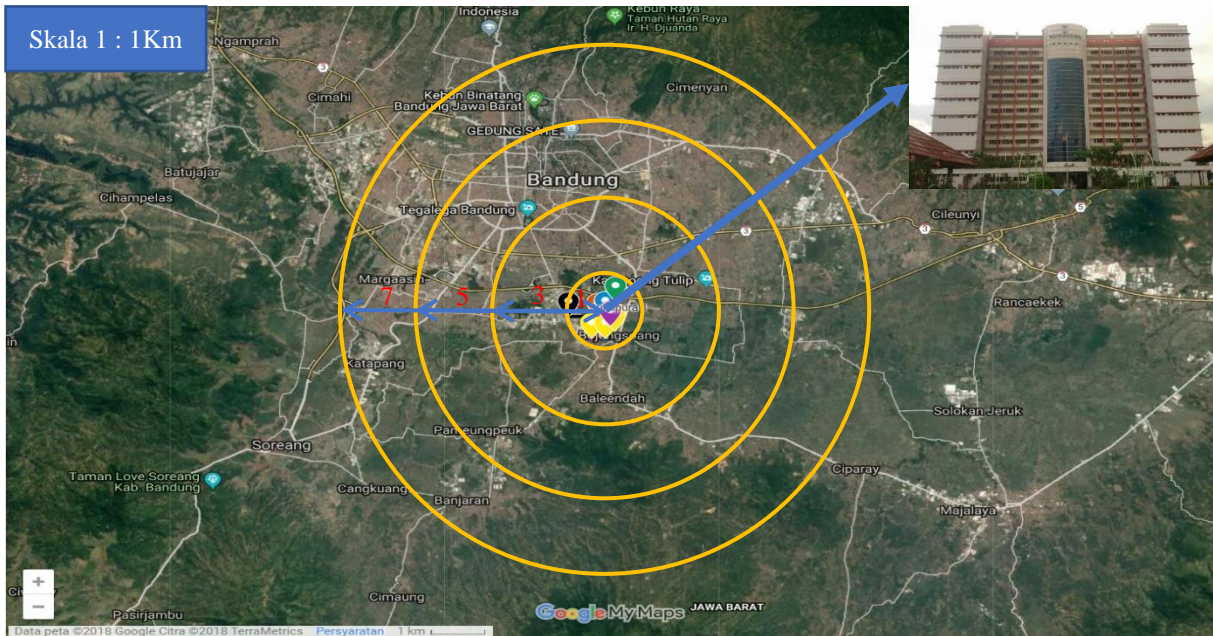
Selama masa penelitian terdapat beberapa alat ukur lainnya yang digunakan yaitu Nanosampler yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi massa dan unsur-unsur kimia yang berada di udara, sensor DHT22 yang digunakan untuk mengetahui suhu dan kelembaban, sensor BMP 180 yang digunakan untuk mengukur tekanan di sekitar lokasi pengukuran, sensor BH1750 yang digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya, sensor BH1750 yang digunakan untuk mengetahui asal massa udara, serta sensor *Hall Effect* untuk mengetahui kecepatan angin (Tabel 1).

Tabel 1. Alat dan sensor lainnya yang digunakan pada masa pengukuran.

Sensor dan Alat	Parameter	Jangkauan
Nanosampler	Partikel	PM _{0.1} , PM _{0.5} , PM ₁ , PM _{2.5} dan PM ₁₀
DHT 22	Temperatur dan Kelembaban	-40 - 80°C dan 0-100%RH
BMP 180	Tekanan	300-1100 hPa
BH1750	Intensitas Cahaya	1 - 65535 lux
HMC5883L	Arah Angin	0 - 360°
<i>Hall Effect</i> Sensor	Kecepatan Angin	0-5 Km/h

2.4 Lokasi pengukuran

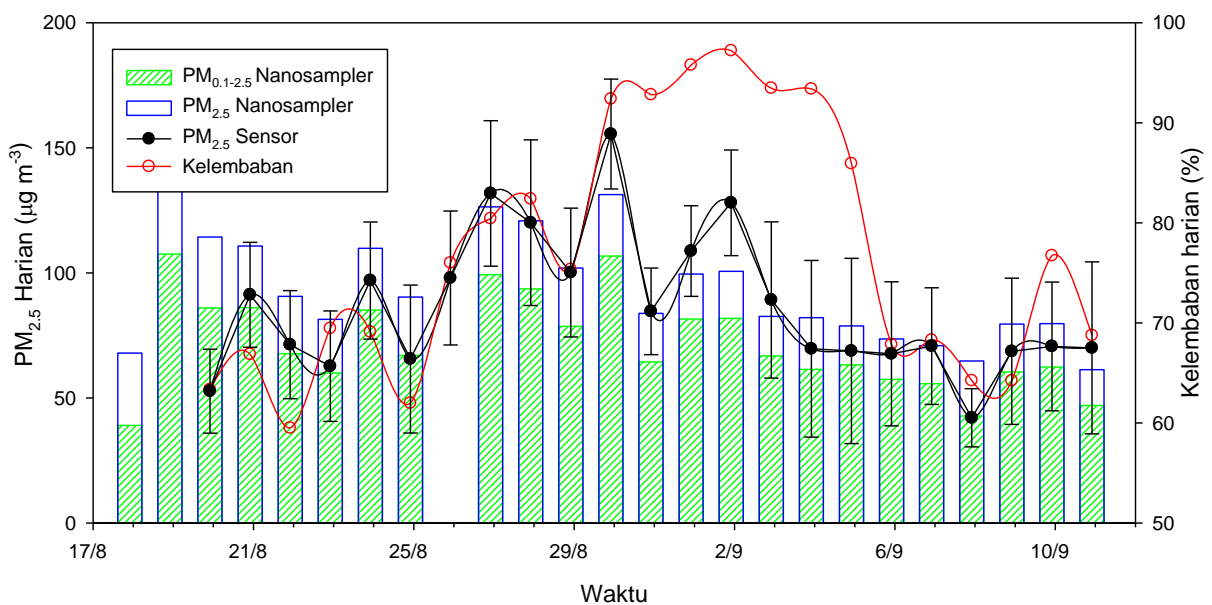
Pengukuran dilakukan di Gedung Tokong Nanas (~675 mdpl; 6°58'22.4"S dan 107°37'47.1"E) yang terletak di Universitas Telkom, Bandung. Lokasi pengukuran sangat berdekatan dengan kegiatan transportasi, pembakaran sampah, area pabrik dan jalan raya. Dapat dilihat pada Gambar 3, lingkaran pertama merupakan radius 1 kilometer dari lokasi pengukuran, dan kelipatan 2 km untuk lingkaran berikutnya. Dalam radius 1 kilometer dari lokasi pengukuran terdapat beberapa lokasi sumber partikel dimana warna biru merupakan lokasi pengukuran, warna ungu merupakan tempat pembakaran sampah yang berada di Bandung Techno Park, warna kuning adalah tempat pembakaran sampah yang berada di Sukabirus, warna merah merupakan tempat pembakaran sampah yang berada di Jalan Radio, warna hitam merupakan area pabrik yang terletak di Jalan Raya Dayeuhkolot dan warna hijau merupakan jalan raya Sukapura.



Gambar 3. Lokasi pengukuran di Gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran dilakukan selama 25 hari (17 Agustus-11 September 2018) di Gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung. Pengukuran yang dilakukan meliputi konsentrasi massa PM_{2.5} (Sensor SKU: SEN 0177), temperature dan kelembaban (Sensor DHT22), dan konsentrasi massa PM_{2.5} dan ion (Nanosampler). Baku mutu PM_{2.5} yang ditetapkan oleh Pemerintah adalah 65 µg m⁻³ dimana PM_{2.5} yang didapatkan bernilai antara 42 – 155,5 µg m⁻³ data dari Nanosampler 39 – 107,5 µg m⁻³ pada PM_{0.1-2.5} dan 61,3 – 133,6 pada PM_{2.5}. Data yang digunakan pada pengukuran ini yaitu data PM_{0.1-2.5} hal ini dikarenakan pembacaan sensor yang dapat membaca sampai 0,3 µg m⁻³ sehingga data yang digunakan sebagai perbandingan yaitu data Nanosampler PM_{0.1-2.5}. Selama masa pengukuran PM_{2.5} berasal dari tenggara menuju barat laut. Ketika masa pengukuran kelembaban bernilai antara 60 – 97% dimana udara kering berada pada tanggal 20 Agustus sampai 28 Agustus setelah itu pada tanggal 29 Agustus udara mulai menjadi basah dikarenakan hujan yang terjadi secara terus menerus serta angin yang berasal dari laut sampai tanggal 4 September dan pada tanggal 5 September sampai pengukuran berakhir arah angin berubah menyebabkan udara menjadi kering.



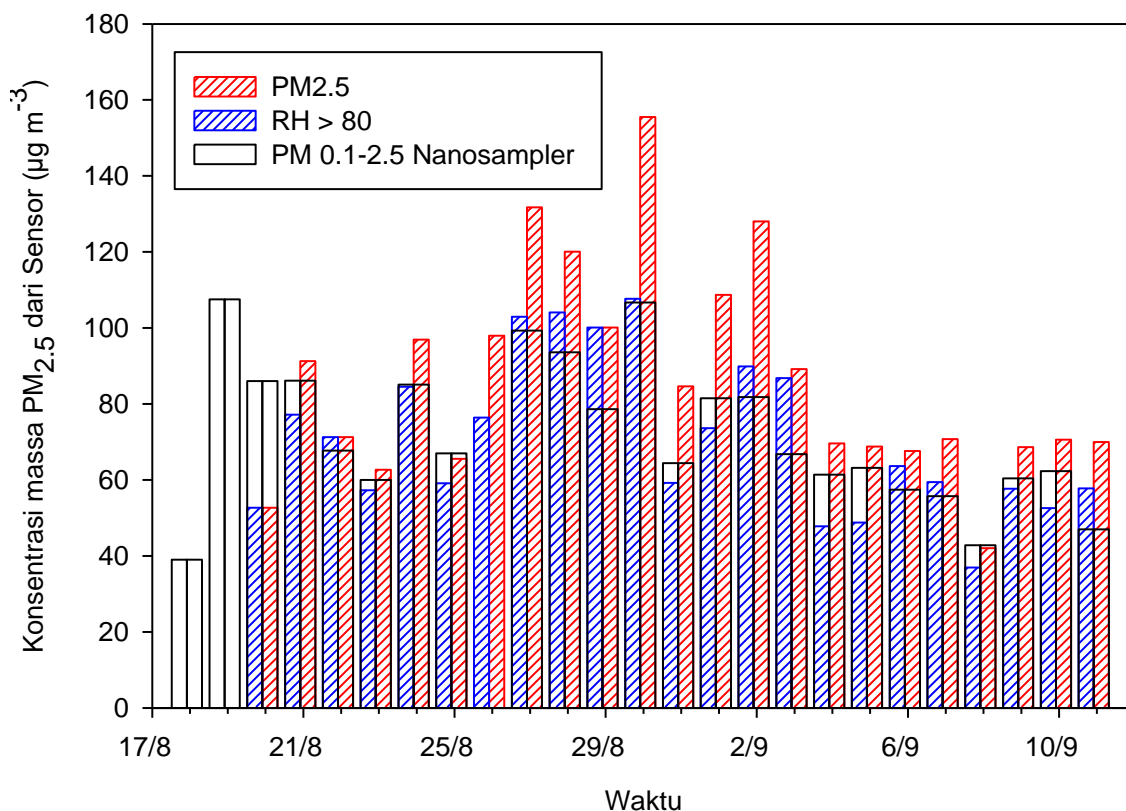
Gambar 4. Data pengukuran selama masa kampanye 17 Agustus-11 September 2018.

3.1 Pengaruh Kelembaban

Selama masa pengukuran terdapat tiga kejadian yang terjadi yaitu udara kering yang terjadi pada 20 sampai 28 Agustus, udara basah pada 29 Agustus sampai 4 September, dan udara kering pada tanggal 5 sampai pengukuran berakhir. Kelembaban berbanding terbalik dengan suhu, apabila suhu lebih tinggi maka kelembaban akan bernilai kecil dan berlaku sebaliknya. Pembacaan sensor sangat berpengaruh terhadap kelembaban dimana pembacaan sensor bergantung pada ukuran partikel, indeks bias partikel, bentuk partikel.

Partikel terdiri dari zat organik dan anorganik dimana ketika RH tinggi maka zat anorganik akan menangkap uap air di udara sehingga ukuran partikel akan menjadi lebih besar karena uap air yang berada di udara akan bergabung di dalam partikel [15] dimana hal ini dikarenakan partikel bersifat higroskopis. Higroskopis adalah kemampuan partikel untuk menyerap uap air yang berada di udara. Pertumbuhan higroskopis adalah rasio diameter ketika ukurannya menjadi besar karena RH yang tinggi dengan ukuran sebenarnya. Akibat dari penyerapan partikel tersebut adalah partikel akan menjadi lebih halus atau bulat karena massanya bertambah serta pengurangan indeks bias [16]. Setiap unsur kimia memiliki kemampuan higroskopis yang berbeda-beda. NaCl misalnya, akan menyerap air yang berada pada udara ketika RH bernilai kurang dari 70% ketika RH mendekati 100% ada kemungkinan tetesan kabut atau asap yang terdeteksi sebagai partikel [17]. Sedangkan pada amonium Sulfat, partikel akan menyerap uap air ketika RH melebihi 62% sehingga membuat massa partikel meningkat. Hal ini yang menyebabkan pembacaan sensor menjadi lebih tinggi [18].

Kelembaban yang terjadi selama pengukuran memiliki nilai di antara 60-97% dimana pembacaan sensor memiliki rentang 0-80% sehingga pembacaan sensor menjadi meningkat. Hal ini dikarenakan pada *low-cost sensor* tidak dilengkapi dengan sistem pengering untuk menghilangkan uap air dari partikel sehingga pembacaan di dalam sensor menjadi meningkat [19]. Dapat dilihat pada Gambar 5 ketika RH melebihi 80% maka pembacaan pada sensor akan dipengaruhi oleh faktor alfa, dimana faktor alfa didapatkan dari pengukuran. Faktor alfa yang didapat bernilai 0,7 sehingga pembacaan PM_{2.5} ketika RH dibawah 80% dan diatas 80% menjadi berbeda.

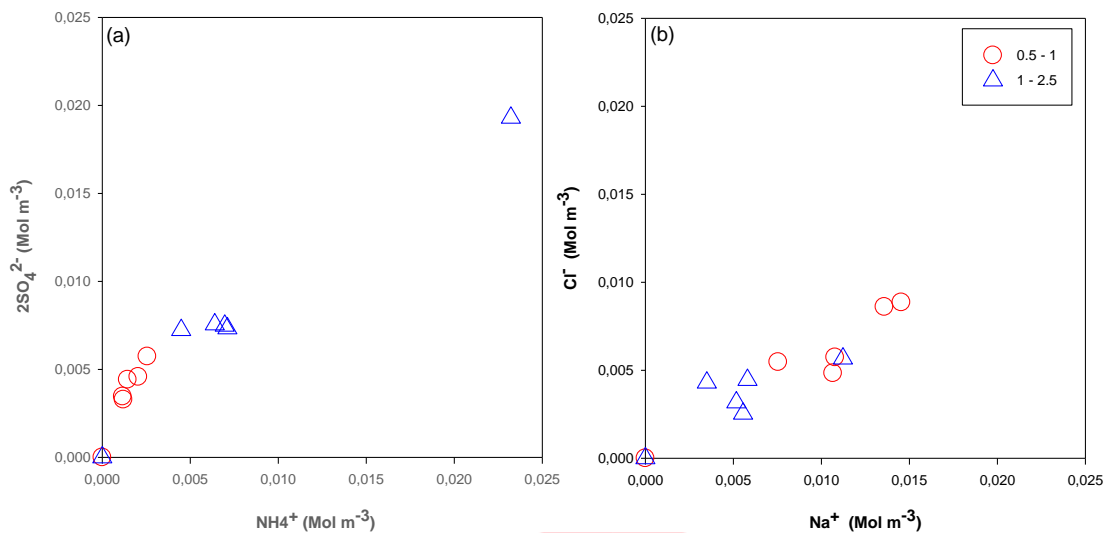


Gambar 5. Pengaruh kelembaban terhadap pembacaan pada sensor.

3.2 Pengaruh Komposisi Kimia

Selama masa pengukuran, unsur kimia dominan yang teramati dan dianalisis dari Nanosampler adalah natrium klorida (NaCl) dan amonium Sulfat (NH₄)₂SO₄. Data tersebut didapat dari 5 hari pengukuran yaitu pada tanggal 19-20, 24-25, dan 29-30 Agustus, serta 7-8 dan 10-11 September. Setiap unsur kimia memiliki indeks bias, ukuran, dan bentuk yang berbeda. Hal tersebut sangat berpengaruh terhadap pembacaan sensor karena sudut bias yang didapat akan berbeda. RH juga sangat berpengaruh pada komposisi kimia dimana massa partikel akan

bertambah ketika kelembaban menjadi lebih tinggi [20]. Ketika unsur kimia masuk kedalam sensor, hamburan cahaya yang terjadi sangat mempengaruhi pembacaan sensor dimana berdasarkan hukum *Sneillus* indeks bias dari suatu bahan mengakibatkan perbedaan sudut bias yang dihasilkan dimana sudut didalam sensor adalah 90° [21].

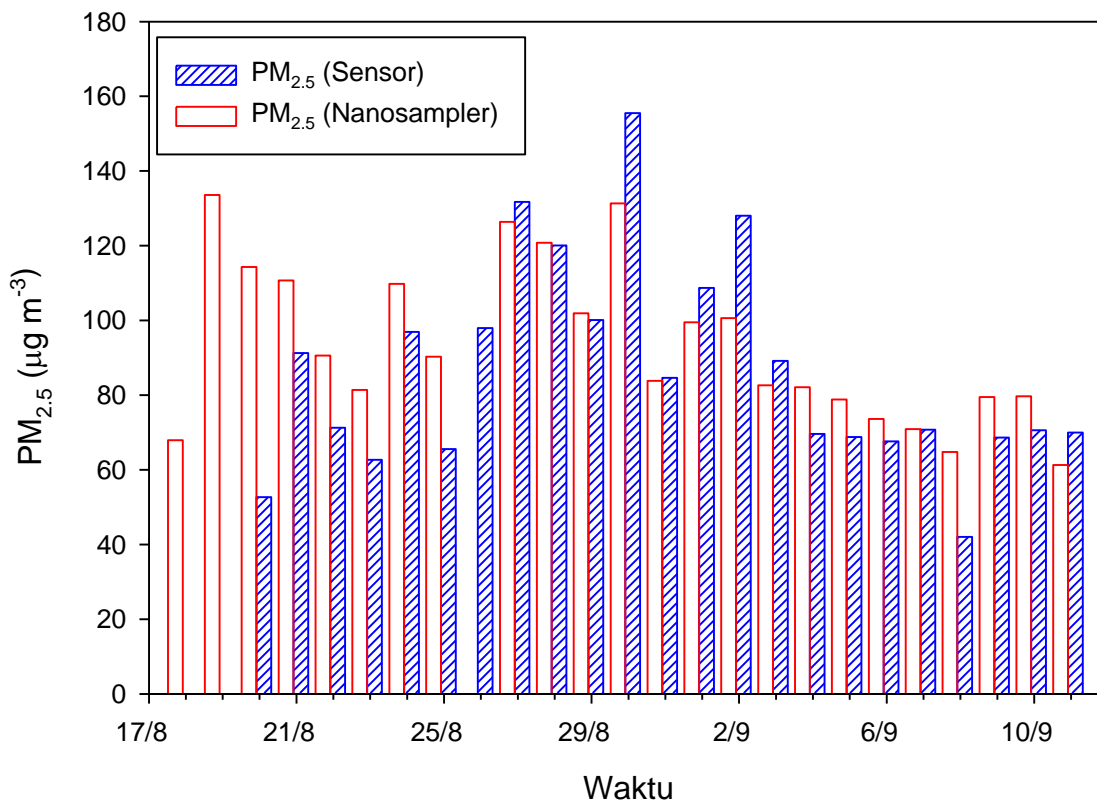


Gambar 6. Komposisi kimia dari (a) amonium sulfat $(NH_4)_2SO_4$ dan (b) natrium klorida (NaCl).

Berdasarkan data pada Gambar 6, natrium klorida dapat terbentuk dari kegiatan industri, kegiatan transportasi dan amonium sulfat terbentuk secara sekunder dan dari emisi gunung berapi [22] Dimana kedua komposisi tersebut memiliki indeks bias sebesar 1,382 dan 1,407 pada kelembaban 80% serta 1,426 dan 1,459 pada kelembaban 50% dan 40% [23]. Sudut bias sangat bergantung dari indeks bias, dimana indeks bias tiap unsur kimia berbeda-beda. Ketika laser mengenai unsur kimia maka akan muncul hamburan cahaya dimana sudut bias yang didapat sangat berpengaruh terhadap pembacaan sensor apabila sudut bias yang dihasilkan tidak mengenai fotodetektor yang berada pada sensor maka pembacaannya pun akan berkurang sehingga pembacaan sensor menjadi lebih rendah.

3.4 Pengaruh Lamanya pengukuran

Dalam masa pengukuran 25 hari sensor yang digunakan tidak pernah diganti ataupun dibersihkan, sehingga perlu dianalisis pengaruh lamanya pengukuran untuk mengetahui kinerja dari sensor. Data yang didapat pada sensor akan dibandingkan dengan data yang didapat pada Nanosampler, dengan rumus yang digunakan adalah $\Delta m = m_{Nanosampler} - m_{Sensor}$. Selama masa penelitian sensor dapat mengikuti nilai dari Nanosampler dengan rerata simpangan harian sebesar $1,1 \pm 12,1 \mu g m^{-3}$. Data pada sensor dibandingkan dengan data pada nanosampler didapatkan bahwa terjadi pembacaan yang lebih tinggi pada tanggal 27 Agustus, 28 Agustus dan 2 September hal ini dikarenakan nilai kelembaban yang tinggi selama masa pengukuran dan underestimate pada tanggal 19 Agustus, 3 September dan 4 September yang disebabkan oleh unsur kimia yang masuk tidak mengenai fotodetektor sehingga pembacaan sensor menjadi lebih rendah.



Gambar 7. Perbedaan pembacaan konsentrasi massa PM_{2.5} antara Sensor dan Nanosampler selama masa kampanye.

4. Kesimpulan

Telah dilakukan kalibrasi dari sensor SKU: SEN 0177 dimana kalibrasi itu dilakukan di laboratorium menggunakan *particle generator* (model KG-02, Rion Co. Ltd.) dengan *polystyrene latex spheres* (PSL) berukuran 0,309, 0,479, dan 1,005 µm, yang akan diteruskan ke *diffusion dryer* sebagai pengering untuk mengurangi kelembaban (RH~40%), kemudian diteruskan ke sensor, *optical particle counter* (OPC, model KC-01E, Rion Co. Ltd.). Sensor tersebut digunakan pada masa kampanye yang dimulai pada tanggal 17 Agustus hingga 11 September 2018 di Gedung Tokong Nanas (~675 mdpl; 6°58'22.4"S dan 107°37'47.1"E) yang terletak di Universitas Telkom, Bandung. Dari hasil observasi lapangan didapat bahwa sensor dipengaruhi oleh kelembaban dan unsur kimia. Pengaruh kelembaban menyebabkan partikel menjadi lebih besar karena adanya sifat higroskopis serta tidak adanya pengering didalam sensor sehingga pembacaan sensor menjadi lebih tinggi. Pengaruh lainnya yaitu unsur kimianya dimana partikel dominan yang teramati selama masa kampanye adalah natrium klorida dan amonium sulfat. Unsur kimia memiliki indeks bias yang berbeda sehingga sudut bias yang dihasilkan akan berbeda dimana sudut bias yang tidak mengenai fotodetektor menyebabkan pembacaan sensor menjadi lebih rendah. Selama 25 hari kampanye nilai dari sensor yang dibandingkan dengan Nanosampler memiliki rerata simpangan harian sebesar $1,1 \pm 12,1 \mu\text{g m}^{-3}$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Meteri Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2010, Republik Indonesia.
- [2] Francisc Popescu and Ioana Ionel (2010). Anthropogenic Air Pollution Sources, Air Quality, Ashok Kumar (Ed.), ISBN:978-953-307-131-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/airquality/anthropogenic-air-pollution-sources>
- [3] Li, J.Y. and Biswas, P. (2017). Optical characterization studies of a low-cost particle sensor. *Aerosol Air Qual. Res.* 17: 1691–1704.
- [4] Aulia, Z. and Azizah, R. (2015) karakteristik, perilaku, fungsi paru pekerja dan kadar pm_{2,5} di industri rumah tangga cecek kabupaten sidoarjo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan* Vol 8 No 1, 128-136.
- [5] Japan Automobile Manufacturers Association (2011) PM / PM_{2.5} in Ambient Air & Related Activities in Japan
- [6] Peraturan Pemerintahan Republik Indonesia No 41 Tahun 1999

- [7] WHO, regional office Europe, Health effects of Particulate Matter, 2013
- [8] Nosratabadi et al (2018). Use of TEOM monitors for continuous long-term sampling of ambient particles for analysis of constituents and biological effect. *Air Quality, Atmosphere & Health*
- [9] Sousan et al (2016). Inter-comparison of low-cost sensors for measuring the mass concentration of occupational aerosols. *Aerosol Sci. Tech.*, 50, 462-573
- [10] https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PM2.5_laser_dust_sensor_SKU:SEN0177
- [11] Juranyi, Z. et al (2015). Dual-wavelength light-scattering technique for selective detection of volcanic ash particles in the presence of water droplets. *Atmos.Meas.Tech.*, 8., 5213-5222
- [12] Andrews, S. et al (2010) Using laser diffraction data to obtain accurate particle size distributions: the role of particle composition. *Limnol. Oceanogr: Methods* 8, 507-526
- [13] Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., and Rickerby, D.: End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring, *Sci. Total Environ.*, 607, 691–705, 2017.
- [14] Trusted Longtime Seller – KC 01 series Optimal for hard disk dust measurement and management” dalam Airbone Particle Counter KC-01E. Rion Co., LTD, Tokyo, Japan.
- [15] Svenningsson et al (2006). Hygroscopic growth and critical supersaturations for mixed aerosol particle of inorganic and organic compounds of atmospheric relevance. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 1937-1952
- [16] Zieger, P. et al (2013). Effects of relative humidity on aerosol light scattering: results from different European sites. *Atmos. Chem. Phys.*, 10609-10631
- [17] Jayanarte, R., Liu, X., Thai, P., Dunbabin, M., and Morawska, L., The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog
- [18] Shao, W. et al (2017). Fine Particle Sensor Based on Multi-Angle Light Scattering and Data Fusion.
- [19] Antonio, A.D., Popoola, O.A.M., Ouyang, B., Saffell, J., and Jones, R.L., Developing Relative Humidity Correction for Low-Cost Sensors Measuring Ambient Particulate Matter.
- [20] Kao., Y., Y. et al (2017) Measurement and Evaluation of Elastic Light Scattering from a Single Levitated Irregular Particle. *Aerosol and Air Quality Research*, 1256-1266
- [21] Zamroni, A. (2013) Pengukuran Indeks Bias Zat Cair Melalui Metode Pembiasan Menggunakan Plan Paralel. *Jurnal Fisika Vol 3 No 2*
- [22] Lestari, P. and Mauliadi, Y., Y [2009] Source apportionment of particulate matter at urban mixed site in Indonesia using PMF. *Atmospheric Environment.*, 4, 1760-1770
- [23] Cotterell, M.I., Willoughby, R.E., Bzdek, B.R., Orr-Ewing, A.J. and Reid, J.P., A Complete Parameterization of the Relative Humidity and Wavelength Dependence of the Refractive Index of Hygroscopic Inorganic Aerosol Particles