

RANCANG BANGUN *PORTABLE WEATHER STATION* DALAM Mendukung Pengamatan Mikropartikel di Cekungan Udara Bandung Raya

DESIGN OF PORTABLE WEATHER STATION TO SUPPORT MICROPARTICLE OBSERVATION IN THE GREATER BANDUNG AIR BASIN

Robbi Adam Aldino Barus¹, Indra Chandra², Indra Wahyudin Fathona

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹robbiadam@student.telkomuniversity.ac.id ²indrachandra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pembangunan portable weather station pada pengamatan mikropartikel di cekungan udara Bandung Raya penting dilakukan untuk mengukur kondisi meteorologi dan mengidentifikasi potensi sumber polusi udara. Perangkat yang digunakan terdiri dari sensor temperatur dan kelembaban relatif (DHT22), sensor tekanan udara (BMP180), sensor intensitas cahaya (BH1750), sensor kecepatan angin (hall sensor), dan sensor arah angin (HMC5883L). Alat ukur konsentrasi massa partikulat yang digunakan adalah Nanosampler dan sensor PM2.5. Pengukuran dilakukan selama 25 hari (17 Agustus – 11 September, 2018), di atap gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung (~675 mdpl; 6°58'22.4"S dan 107°37'47.1"E). Hasil pengukuran meteorologi menunjukkan bahwa temperatur berada pada kisaran 25°C-30°C di siang hari dan relatif lebih dingin di malam hari (18°C-20°C). Massa udara lebih kering di siang hari (35%-60%) dibandingkan di malam hari (>80%). Tekanan udara yang terukur sebesar 930 hPa. Arah angin berasal dari Tenggara menuju ke arah Barat Laut. Hasil analisis OC-EC diketahui bahwa sebagian besar polusi udara teridentifikasi dari jalan raya, industri dan tempat pembakaran sampah terbuka. Hal ini terkait dengan kandungan OC primer dan char-EC yang lebih besar dari kandungan OC sekunder dan soot-EC. Sebagian besar komposisi kimia yang teridentifikasi adalah garam laut (NaCl), dan ammonium sulfat ((NH₄)₂SO₄). Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi pengukuran terpapar polusi jarak jauh.

Kata kunci : Bandung, *Portable Weather Station*, polusi udara, meteorologi, ion

Abstract

Development of portable weather station for monitoring microparticles in Greater Bandung air basin is very important to measure meteorological conditions and to identify potential sources of polluted air. We used temperature and relative humidity sensors (DHT22), air pressure sensors (BMP180), light intensity sensors (BH1750), wind speed sensors (hall sensors), and wind direction sensors (HMC5883L). Particulate matters mass concentration were measured by Nanosampler and PM_{2.5} sensor. Field observation was carried out for 25 days (August 17 - September 11, 2018), on the roof of the Tokong Nanas building (~ 675 masl), Telkom University, Bandung (~ 675 masl; 6 ° 58'22.4 "S and 107 ° 37'47.1" E). Result of meteorological parameter show that temperatures in the range of 25°C - 30°C during the day and cooler in the night (18 °C -20 °C). Dry air mass were observed during day time (35% -60%) and it was different than night (>80%). The air pressure is stable at 930 hPa. Most of the air mass were coming from the Southwest to the Northwest, with averaged wind speed around 1 – 2 Km. This study found that most of local air pollution sources came from highways, industrial area, and residential-waste burning. It was identified by higher mass concentration of primary OC and Char-EC than secondary OC and Soot-EC. Meanwhile, the source of long-range transport of pollution air is sea-salt (NaCl) and ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄).

Keywords : Bandung, sensor, air pollution, meteorology, ion

1. Pendahuluan

Polusi udara merupakan masuknya senyawa atau unsur kimia (gas/partikulat) dengan konsentrasi yang melebihi batas ambang ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan gangguan pada aktivitas dan kesehatan makhluk hidup serta tanaman [1]. Sumber utama polusi udara dapat diakibatkan karena kejadian alam (natural) dan/atau aktivitas manusia (*anthropogenic*). Contoh aktivitas manusia yang menyebabkan polusi udara diantaranya kendaraan bermotor, pembakaran sampah, kegiatan industri, dan sistem pemanas yang ada di perumahan [2]. Zat-zat polusi udara yang dihasilkan oleh aktivitas manusia adalah sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO₂) dan ozon (O₃). Sulfur dioksida dan nitrit monoksida (NO) adalah polutan primer. Sementara itu, polusi yang dipancarkan dari kejadian alam sering terjadi pada lokasi yang tidak

ada atau sedikit populasi penduduknya, misalnya meletusnya gunung berapi. Zat-zat polusi udara yang umumnya dihasilkan dari kejadian alam adalah sulfur (S), nitrit oksida (NO_x), dan karbon dioksida (CO₂) [3].

Meteorologi dapat membantu untuk menentukan sumber polusi, memprediksi kejadian polusi udara seperti inversi temperatur atau periode dimana konsentrasi polusi melebihi batas ambang. Faktor-faktor penting untuk diukur karena dapat membantu untuk memahami reaksi kimia yang terjadi di atmosfer: kecepatan angin dan arah angin, temperatur, kelembaban udara, curah hujan, radiasi matahari. Pengukuran data angin dapat membantu menentukan arah dan asal emisi. Temperatur dan sinar matahari memiliki peran penting dalam pembentukan reaksi kimia yang terjadi di atmosfer untuk membentuk polutan. Kelembaban udara juga memiliki peran yang sama seperti temperatur, jika udara lembab partikel yang ada di udara ketebalan atau konsentrasinya meningkat dan dapat berikatan dengan zat lainnya. Curah hujan dapat membersihkan polusi di atmosfer dan melarutkan polutan gas. Tetap jika hujan melarutkan polutan gas, seperti SO₂ dapat membentuk hujan asam [4].

Pada penelitian ini upaya yang dilakukan agar dapat mengidentifikasi sumber polutan adalah dengan membangun *portable weather station*, yang bertujuan untuk mengamati keadaan meteorologi agar dapat mengidentifikasi sumber pencemaran udara berdasar kondisi meteorologi, juga sekaligus merancang dan menerapkan sistem pengukuran cuaca yang hemat biaya dan juga bisa menampilkan data parameter yang diinginkan.

2. Rancangan Penelitian

2.1 Portable Weather Station

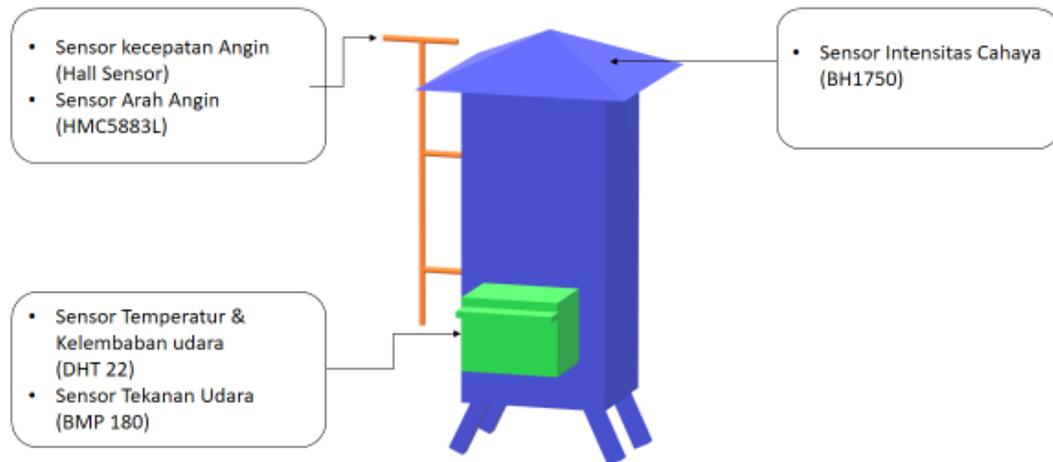
Tujuan dari penelitian ini adalah membangun *portable weather station* dengan parameter ukur seperti temperatur, kelembaban udara, tekanan udara, intensitas cahaya, arah dan kecepatan angin. Pembangunan alat ini menggunakan mikrokontroler dan lima buah sensor. Spesifikasi alat dapat dilihat pada **Tabel 1**. Kelima buah sensor dipasang pada sebuah *shelter* (**Gambar 1**), dimana sensor temperatur, kelembaban udara, tekanan udara di pasang pada sebuah kotak, sensor intensitas cahaya dipasang di atap *shelter*, dan sensor kecepatan angin dan arah angin dipasang di tiang yang dipasang di samping *shelter*. Sensor dihubungkan pada sebuah mikrokontroler dan *datalogger* untuk mengukur dan merekam data secara *real-time*. Pengambilan data dan pengecekan alat dilakukan setiap harinya agar alat dipastikan tetap berjalan dan data tetap terekam.

Tabel 1. Alat yang digunakan pada masa pengukuran

Parameter	Sensor	Jangkauan	Tipikal Data Pengukuran
Temperatur	DHT 22	0-50°C / ± 2°C	19 - 32°C
Kelembaban relatif	DHT 22	0 - 100% / ± 5%	20 – 100%
Kecepatan angin	Hall Sensor	~	1 – 27.8 KMH
Arah angin	HMC5883L	360 ⁰	N, NE, E, SE, S, SW, W, NW
Intensitas cahaya	BH1750	0 – 65535 Lux	0– 65535 Lux
Tekanan	BMP 180	300 – 1100hPa	± 1000 hPa

2.2 Nanosampler dan sensor PM_{2.5}

Nanosampler adalah alat yang digunakan untuk menyaring komposisi *particulate matter* (PM) di udara dengan variasi ukuran <0.1, 0.1-0.5-1, 1-2.5, 2.5-10, dan >10 µm. Data yang didapatkan oleh pengukuran yang dilakukan selama masa kampanye menggunakan data dari Nanosampler yang telah di analisis. Didapatkan kandungan ion Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, dan NH₄⁺ menggunakan *Ion Chromatograph*. Dan juga dari hasil analisis Nanosampler didapatkan juga data OC – EC, OC primer dan sekunder, Char – Soot EC, dan Ion.

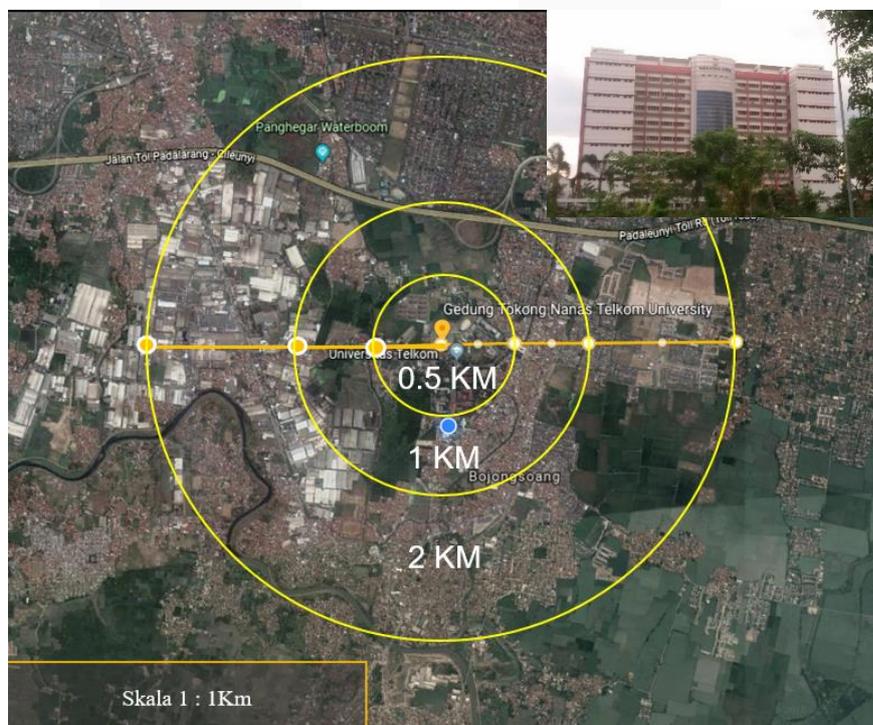


Gambar 1. Shelter dan penempatan sensor-sensor yang digunakan.

Sensor $PM_{2.5}$ adalah sensor berbasis optik yang mengukur particulate matter berukuran $<2.5 \mu m$ secara *real-time* [5]. Sensor ini bekerja menggunakan laser dengan panjang gelombang $\sim 630-680 \text{ nm}$. Partikel masuk melalui inlet dan keluar melalui kipas. Laser tersebut memancarkan cahaya melewati lubang pada tubuh sensor kemudian laser tersebut mengenai partikel dan terjadilah distribusi spasial cahaya. Kedua alat ini dipasang pada shelter yang dipasang pada lokasi pengukuran dan digunakan oleh peneliti lain untuk mengetahui komposisi PM di udara.

2.3 Lokasi pengukuran dan masa kampanye

Penelitian dilakukan di gedung Tokong Nanas ($\sim 675 \text{ mdpl}$; $6^{\circ}58'22.4''S$ dan $107^{\circ}37'47.1''E$) yang terletak di Universitas Telkom, Bandung, Indonesia. Pada **Gambar 2**. Terdapat lingkaran yang merupakan radius jarak dari lokasi pengukuran. Pada radius 0.5 KM terdapat beberapa tempat pembakaran sampah terbuka dan jalan raya yang dekat dari lokasi pengukuran. Pada radius 1 sampai 2 KM terdapat jalan raya besar, industri kakao atau cokelat dan industri ceres yang ada di bagian Barat lokasi pengukuran. Pengukuran dilakukan selama 25 hari (17 agustus - 11 september 2018). Pengambilan data dan pengecekan alat dilakukan setiap hari pada jam 8 pagi sampai jam 10 pagi.

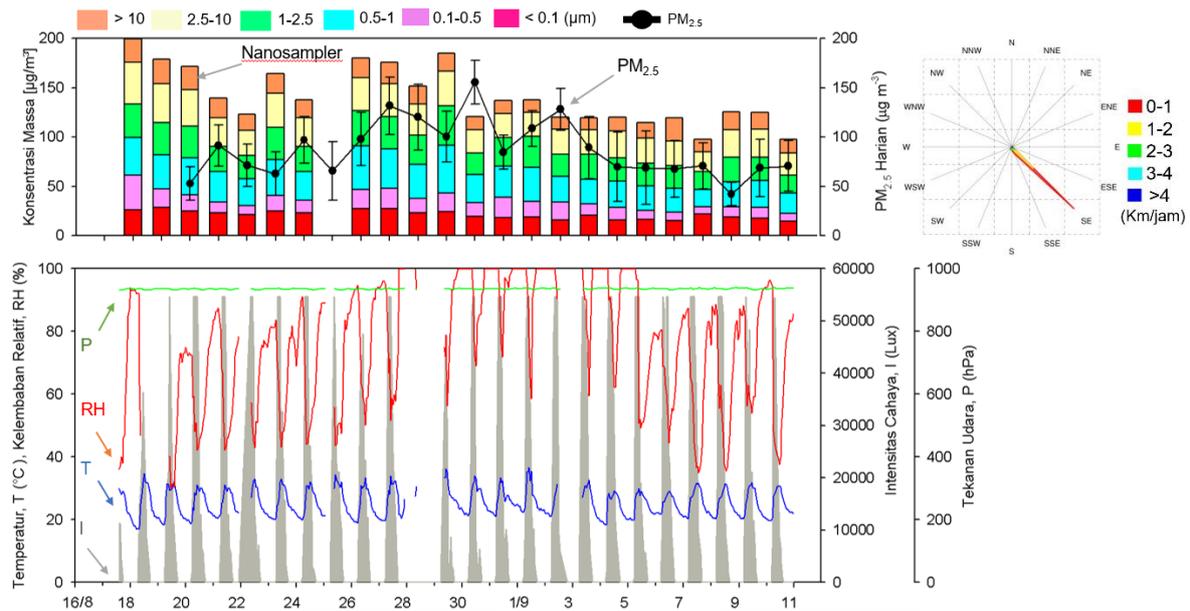


Gambar 2 Lokasi pengukuran di Gedung Tokong Nanas, Universitas Telkom, Bandung.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil dari pengukuran meteorologi menunjukkan bahwa temperatur berada pada kisaran 25°C - 30°C di siang hari, dan di malam hari temperatur berkisar 18°C sampai 20°C. Kelembaban relatif terukur mulai dari 35 % - 60 % pada siang hari, dan 80 % sampai 100% pada malam hari, kemudian tekanan udara yang terukur selama masa kampanye berkisar 930 hPa. Dari hasil pengukuran arah mata angin didapat bahwa angin datang berasal dari arah Tenggara menuju kearah Barat Laut. Rata-rata kecepatan angin selama masa pengukuran adalah 1 – 2 KM/jam dan kecepatan angin paling tinggi adalah 6 KM/jam.

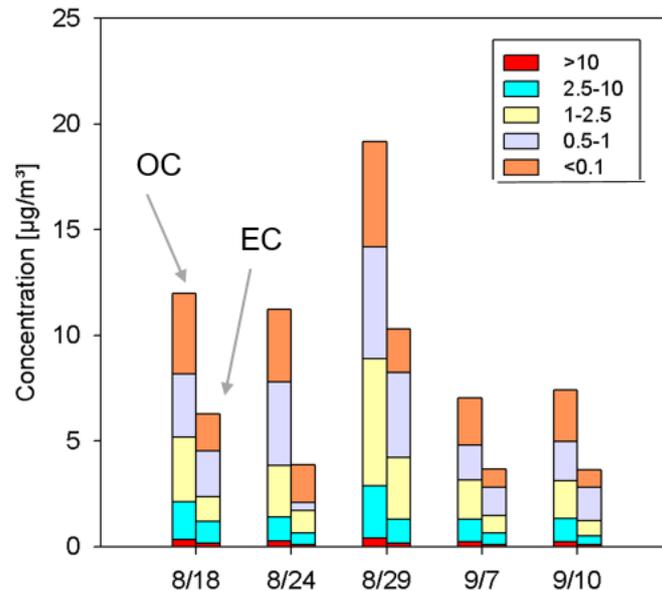
Pada Nanosampler terukur konsentrasi *total suspended particles* (TSP) yaitu ukuran konsentrasi *particulate matter* (PM) di udara dengan ukuran $PM_{2.5}$ - PM_{10} , PM_1 - $PM_{2.5}$ μm , dan $PM_{0.5}$ - PM_1 μm . Konsentrasi PM terbesar yang terukur pada Nanosampler adalah 200 $\mu g/m^3$ dan konsentrasi yang terkecil adalah 100 $\mu g/m^3$. Hasil PM dari sensor $PM_{2.5}$ memiliki kecenderungan data yang hampir sama dengan $PM_{2.5}$ milik Nanosampler.



Gambar 2. Data hasil pengukuran pada 17 Agustus-19 September, 2019, di atap Gedung Tokong Nanas (~675 mdpl; 6°58'22.4"S dan 107°37'47.1"E), Universitas Telkom, Bandung, Indonesia; arah mata angin

3.1 Sumber Emisi OC-EC

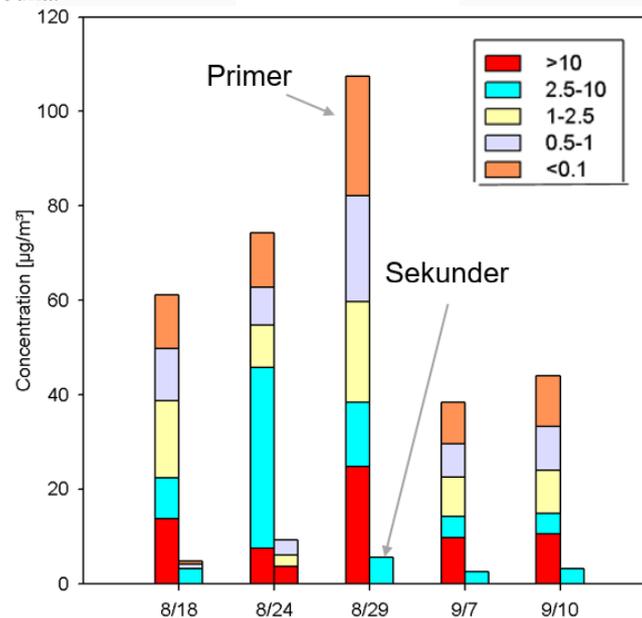
Dilakukan analisis sampel pada Nanosampler pada tanggal 8, 24, 29 Agustus, 7, dan 9 September dengan masing-masing ukuran <0.1, 0.1-0.5-1, 1-2.5, 2.5-10, dan >10 μm untuk mengetahui kandungan OC-ECnya. OC (*organic carbon*) adalah hasil dari organik karbon yang berasal dari aktivitas jalan raya, pembakaran industri dan degradasi bahan yang mengandung karbon. EC (*elemental carbon*) atau dikenal juga sebagai *black carbon* adalah hasil dari emisi pembakaran bahan bakar fosil. Hasil pengukuran pada **Gambar 3.** menunjukkan sumber OC lebih banyak di banding sumber EC, hal ini dikarenakan lokasi pengukuran yang dekat oleh jalan raya, tempat pembakaran sampah dan industri.



Gambar 3. Konsentrasi massa *Organic Carbon* (OC) dan *Elemental Carbon* (EC).

3.2 OC Primer & Sekunder

Analisis OC dilakukan untuk mengetahui sumber polutan berdasarkan proses terbentuknya senyawa tersebut. Terdapat dua jenis OC yaitu OC primer dan OC sekunder. OC primer adalah polutan yang berasal dari sumber emisi langsung seperti, dan OC sekunder merupakan OC primer yang bereaksi dengan matahari yang mengalami oksidasi dengan oksigen atau pun bereaksi dengan unsur lainnya di akibat transportasi jarak jauh dalam atmosfer. Pada grafik **Gambar 4**, OC primer memiliki konsentrasi lebih banyak karena lokasi pengukuran dekat yang dengan jalan raya yang terdapat emisi kendaraan bermotor, asap debu dan beberapa tempat pembakaran sampah terbuka.

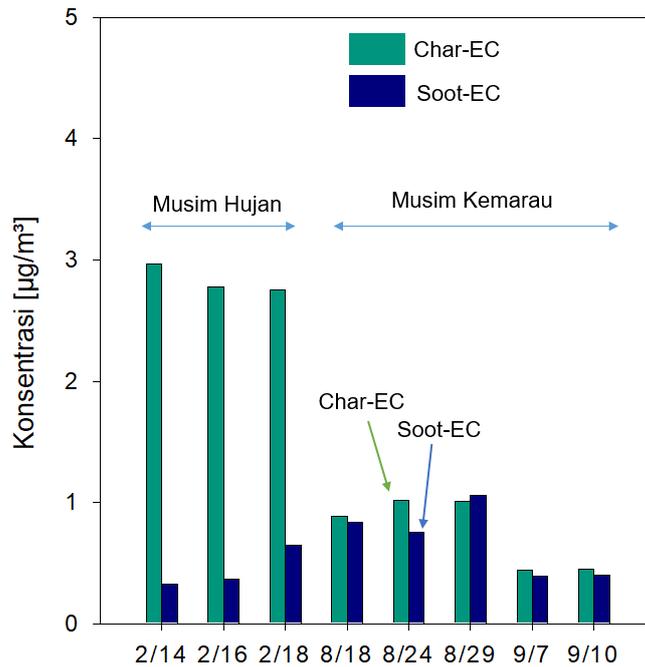


Gambar 4. Konsentrasi massa OC Primer dan Sekunder.

3.3 Char-EC & Soot-EC

Analisis EC di lakukan untuk mengetahui sumber polutan berdasar terbentuknya senyawa dalam EC, terdapat dua jenis sumber karbon dalam EC, yaitu char-EC dan soot-EC. Char-EC merupakan polusi lokal berasal yang berasal dari hasil pembakaran tidak sempurna dari sumber emisi langsung, seperti pembakaran tidak sempurna pada kendaraan bermotor atau industri, pembakaran tidak sempurna fraksi minyak bumi atau bensin. Soot-EC merupakan partikel submikron (<1 µm) yang terbentuk dari kondensasi radikal dari konversi gas ke partikel [6]. Sebagai pembandingan, kami menambahkan data pengukuran pada bulan Februari (14-16, 16-18, 18-20 Februari 2018) Pada musim hujan konsentrasi soot-EC lebih rendah dari konsentrasi char-EC, sedangkan saat

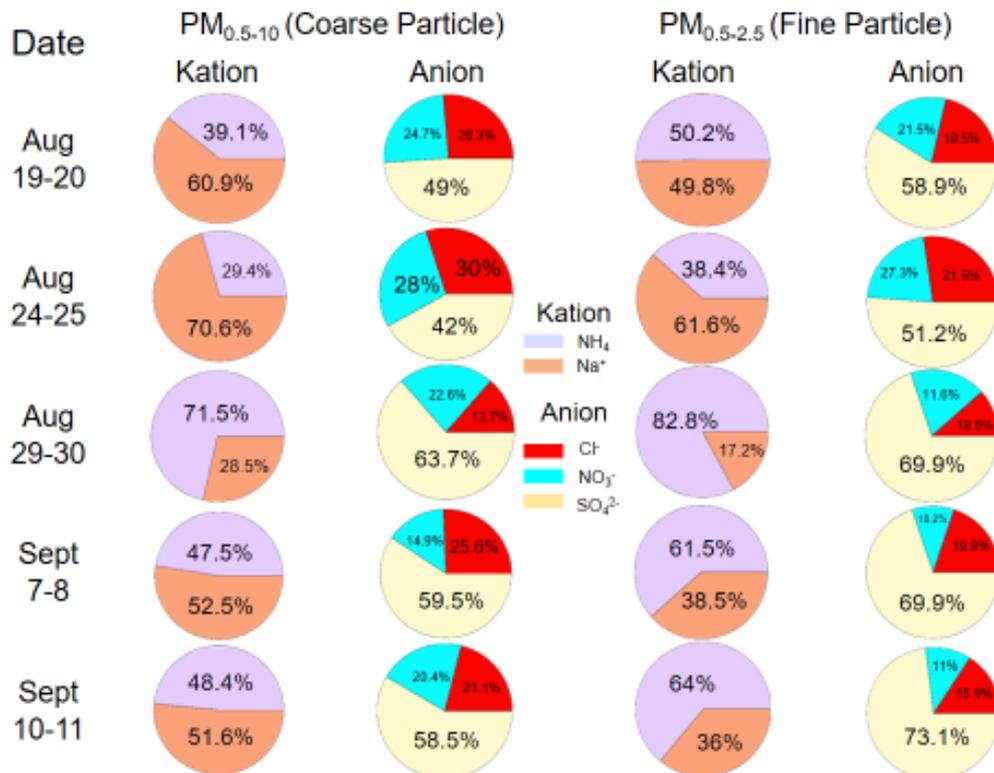
musim kemarau nilai konsentrasi soot-EC hampir sama dengan konsentrasi char-EC. Hal ini dikarenakan pada saat musim hujan soot-EC yang terbentuk di atmosfer tercuci oleh hujan dan char-EC mengalami kenaikan konsentrasi akibat massa udara yang lembab.



Gambar 5. Konsentrasi massa char dan soot EC.

3.4 Kandungan Ion

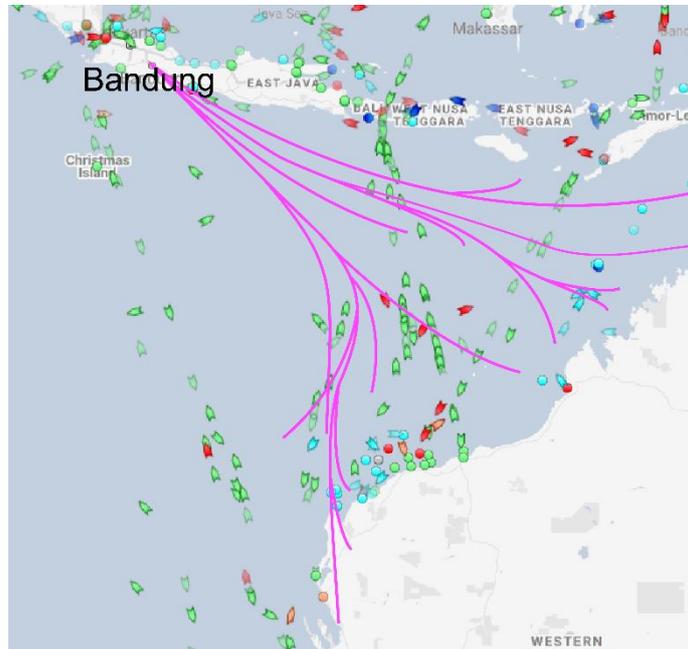
Analisis ion yang dilakukan dengan cara menjumlahkan konsentrasi senyawa dari PM_{2.5}- PM₁₀, PM₁ - PM_{2.5} μm , dan PM_{0.5} - PM₁ μm , didapatkan ion NH_4^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} dan NO_3^- . Pada Gambar 6 ditampilkan hasil analisis kandungan ion, yang dibagikan menjadi dua ukuran yaitu fine particle (0.5 – 2.5 μm) dan coarse particle (0.5 – 10 μm).



Gambar 6. Kandungan ion terukur pada sampel

Pada ion berukuran *fine particle*, anion didominasi oleh SO_4^{2-} , dan kation didominasi oleh NH_4^+ kecuali pada tanggal 24 – 25 Agustus. Kemudian dilihat pada ion berukuran *coarse particle* jumlah anion SO_4^{2-} berkurang dibandingkan dengan SO_4^{2-} pada *fine particle* karena adanya peningkatan jumlah anion Cl^- dan NO_3^- . Begitu juga pada kation berukuran *coarse particle* yang sebelumnya didominasi oleh NH_4^+ , menjadi didominasi oleh Na^+ . Hal ini disebabkan karena mayoritas ion Na^+ , Cl^- , dan NO_3^- sebagian besar berukuran *coarse particle*.

Untuk mengerahui jalur penyebaran dari ion tersebut penulis menggunakan model *Back-Trajectory* milik NOAA dan jalur transportasi kapal laut milik *Marine Traffic*. *Back-Trajectory* adalah jalur partikel udara yang bergerak melalui ruang dan waktu pada masa lalu. Hasil *Back-Trajectory* pada selama masa pengukuran ada pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Hasil *Back-Trajectory* pada tanggal 17 Agustus – 11 September 2018 dan lalu lintas transportasi laut

Jalur partikel selama masa pengukuran berasal dari lautan, pesisir pantai, antropogenik dari benua Australia, dan jalur kapal laut. Ion NH_4^+ merupakan hasil emisi dari aktivitas agrikultur yang menggunakan pupuk berbasis nitrogen dan peternakan hewan [7]. NaCl merupakan aerosol dari garam laut. SO_4^{2-} selain berasal dari emisi industri juga merupakan hasil emisi dari kapal laut [8]. NO_3^- berasal dari dua sumber yaitu reaksi fotokemikal dari NO dan NO_2 yang diemisikan dari aktivitas manusia di perkotaan dan nitrifikasi dari NH_4^+ menjadi NO_3^- pada aktifitas agrikultur [9].

4. Kesimpulan

Telah dilakukan pengukuran lapangan pada periode 17 Agustus – 11 September, dengan membangun *portable weather station* menggunakan sensor DHT22, BMP180, BH1750 (sensor intensitas cahaya), sensor hall (sensor kecepatan angin), HMC5883L (sensor angin), serta Nanosampler, dan sensor $\text{PM}_{2.5}$ (sensor ukur massa partikulate berukuran $2.5 \mu\text{m}$). Arah penyebaran angin selama masa pengukuran berasal dari arah Tenggara menuju ke arah Barat, dengan kecepatan angin rata-rata 1-2 Km/jam dan kecepatan tertinggi yang terukur sebesar 6 Km/jam. Hasil uji laboratorium dari Nanosampler dengan menggunakan 5 buah sampel pada tanggal 18, 24, 29 Agustus, 7, dan 9 September didapatkan kandungan OC (*Organic Carbon*) - EC (*Elemental Carbon*) dan kandungan ion. Sumber partikulat dibagi dua berdasar sumbernya, OC primer dan Char-EC berasal dari sumber lokal, kemudian sumber jarak jauh dilihat pada OC sekunder dan soot-EC. Berdasarkan hasil analisis OC-EC selama masa pengukuran teridentifikasi sumber emisi sebagian besar berasal dari jalan raya, tempat pembakaran sampah terbuka, asap industri, dan debu dari jalanan yang berasal dari sekitar lokasi pengukuran. Hasil dari analisis ion didapatkan kandungan adalah ion NH_4^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} dan NO_3^- . Dengan menggunakan model jalur partikel back-trajectory diketahui kandungan ion yang akibat transportasi jarak jauh berasal dari lautan, pesisir pantai, antropogenik dari benua Australia, dan jalur lalu lintas kapal laut.

5. Daftar Pustaka

- [1]. Agustiah Tri Tugawati, "Review of Air Pollution and its Health Impact in Indonesia", 1993.
- [2]. Carmichael, "Air Pollution Meteorology, Meteorological Aspect", 2008.
- [3]. E. Wendell Hewson, "Meteorological Factors Affecting Causes and Controls of Air Pollution, Journal of the Air Pollution Control Association", 5:4, 235-241, DOI:10.1080/00966665.1956.104677, 1956.
- [4]. Steeneveld, G. J., Holtslag, and A. A. M., "Meteorological Aspects Of Air Quality", 2009.
- [5]. https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PM2.5_laser_dust_sensor_SKU:SEN0177
- [6]. H. Kim, Q. Zhang, and J. Heo, "Influence of intense secondary aerosol formation and long-range transport on aerosol chemistry and properties in the Seoul Metropolitan Area during spring time: Results from KORUS-AQ," Atmos. Chem. Phys., vol. 18, no. 10, pp. 7149–7168, 2018.
- [7]. L. Gong, R. Lewicki, R. J. Griffin, F. K. Tittel, C. R. Lonsdale, R. G. Stevens, J. R. Pierce, Q. G. J. Malloy, S. A. Travis, L. M. Bobmanuel, B. L. Lefer, and J. H. Flynn, "Role of atmospheric ammonia in particulate matter formation in Houston during summertime," Atmos. Environ., vol. 77, pp. 893–900, 2013.
- [8]. P. Kågeson, Economic instruments for reducing emissions from sea transport, vol. 11. 1999.
- [9]. T. Shimohara, O. Oishi, A. Utsunomiya, H. Mukai, S. Hatakeyama, J. Eun-Suk, I. Uno, and K. Murano, "Characterization of atmospheric air pollutants at two sites in northern Kyushu, Japan - Chemical form, and chemical reaction," Atmos. Environ., vol. 35, no. 4, pp. 667–681, 2001.