

Analisis Konsentrasi PM10 dan PM2.5 pada Moda Transportasi Kereta Api, Bus, Angkutan Kota, Mobil Baru, dan Mobil Lama

Kamil Muhammad Gunaprawira¹, Sumeru², Tandi Sutandi³

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : kamil.muhammad.tptu417@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sumeru@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : Ade.Tandi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan analisis konsentrasi PM10 dan PM2.5, terhadap baku mutu dalam ruangan pada moda transportasi kereta api, bus, angkutan kota, mobil baru, serta mobil lama, menggunakan alat ukur HTI HT-9600 *Particle Counter*. Baku mutu di dalam ruangan untuk PM2.5 yaitu 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM10 yaitu 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Perbedaan kondisi, aktifitas, serta perbedaan waktu, mempengaruhi nilai konsentrasi PM10 dan PM2.5 pada moda transportasi. Hal ini dibuktikan dengan hasil ukur pada transportasi angkutan kota menjadi transportasi dengan konsentrasi PM10 dan PM2.5 tertinggi, dengan konsentrasi PM2.5 sempat mencapai 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM10 menyentuh angka 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, urutan ke-4 yaitu kereta api dengan konsentrasi PM2.5 mencapai 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM10 sebesar 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kemudian urutan ke-3 yaitu bus dengan konsentrasi PM2.5 mencapai 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM10 mencapai 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lalu mobil lama berada pada urutan ke-2 dengan konsentrasi PM2.5 sebesar 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM10 sebesar 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pada urutan ke-1 yaitu mobil baru, dengan konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang rendah di bawah batas baku mutu dalam ruangan, memiliki nilai konsentrasi PM2.5 mencapai 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serta PM10 mencapai 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kata Kunci

Partikulat, baku mutu, perbandingan, moda transportasi

1. PENDAHULUAN

Tingginya polusi udara bisa disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah transportasi yang dapat mencemari suatu ruangan, dalam hal ini ruangan di dalam transportasi itu sendiri. Transportasi menjadi penyumbang polusi terbesar mencapai 70%, sementara 10-15% berasal dari kegiatan industri, dan sisanya berasal dari sumber pembakaran lain seperti rumah tangga, kebakaran hutan, pembakaran sampah, dan lain lain[1]. Pada proses pembakaran pada transportasi menghasilkan emisi atau zat yang dibuang ke udara. Emisi ini merupakan penyebab polusi udara yang terjadi saat ini, semakin banyak emisi yang dikeluarkan maka tingkat polusi yang terjadi pada ruangan tersebut akan tinggi[2]. Ruang gerbong kereta api, bus, mobil terbilang sebagai ruang yang tertutup, akan tetapi belum tentu terbebas dari polusi udara, serta angkutan kota, seperti yang diketahui ruangnya terdapat beberapa titik yang terbuka memungkinkan polusi udara yang terdapat pada angkutan kota lebih besar. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah konsentrasi PM2.5 dan PM10 di dalam moda transportasi tersebut melebihi baku mutu atau tidak, serta mengetahui transportasi mana yang memiliki PM2.5 dan PM10 tertinggi dan terendah, dengan tetap mematuhi protokol kesehatan dimasa pandemi covid-19.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pencemaran udara dapat diartikan sebagai kehadiran satu atau lebih substansi padat, cair, atau gas dalam konsentrasi udara pada jumlah yang dapat menimbulkan pengaruh buruk pada makhluk hidup serta mengganggu kenyamanan di udara[3].

Menurut EPA, polusi partikel dikelompokkan ke dalam 2 jenis yaitu: *Total Inhalable coarse particles* yang merupakan partikel yang memiliki ukuran diameter lebih besar dari 2,5 μm dan diameter lebih kecil dari 10 μm , serta *fine particle* merupakan partikel halus yang berdiameter lebih kecil dari 2,5 μm [4]. Di bawah ini merupakan gambar contoh perbandingan ukuran PM2.5 dan PM10



Gambar 1. Ukuran PM2.5 dan PM10

1. PM_{2,5} (Fine Particle)

PM_{2,5} merupakan debu partikulat yang memiliki diameter aerodinamik 2.5µm yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling PM_{2.5}. EPA membedakan PM_{2,5} dengan *fine* dan *coarse particle*. Komposisi pembentuk PM_{2,5} terdiri dari *sulfat, nitrat, organic compounds, ammonium compounds, metal, acidic material*, dan bahan kontaminan lain yang dipercaya dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan.

2. PM₁₀ (Coarse Particle)

PM₁₀ didefinisikan sebagai debu partikulat yang memiliki diameter 10µm yang dikumpulkan dengan 50% efisiensi oleh pengumpulan sampling PM₁₀. Partikulat ini termasuk kedalam tipe polutan karena dapat masuk kedalam saluran pernapasan yang lebih dalam. Fraksi utama partikel ukuran ini banyak bersumber dari industri. Sumber kontaminan debu partikulat berasal dari luar ruangan umumnya berasal dari emisi/ gas buang kendaraan bermotor. Partikel yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya berukuran 0.01-5 mikron. Partikel dengan ukuran lebih dari 50 mikron terdeposit pada jalanan. Selain itu faktor dalam ruangan, yaitu aktifitas yang seperti; memasak, merokok, membakar sampah, dan aktivitas lainnya yang dapat mempengaruhi konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} di dalam ruangan. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa konsentrasi PM_{2.5} mengalami pengendapan lebih lambat dari partikel yang lebih besar darinya[5].

Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} yang bergerak bebas di udara dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Ukuran dari partikulat yang sangat kecil dapat menembus ke dalam organ vital manusia bahkan dapat menembus paru-paru serta mungkin dapat menembus ke aliran darah[6]. Pemerintah dalam melakukan upaya mencegah pencemaran udara, membuat peraturan melalui kementerian kesehatan yang mengatur tentang pengendalian pencemaran udara dalam ruangan yang tertuang dalam peraturan kementerian kesehatan no.1077 tahun 2011[7]. Peraturan ini mengatur terkait batas-batas zat pencemar yang masih diperbolehkan, macam-macam. Berikut tabel 1 merupakan ketentuan pemerintah terhadap baku mutu dalam ruangan.

Tabel 1. Baku mutu dalam ruangan

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	PM ₁₀ (Partikel < 10µm)	24 jam	70µg/m ³
2	PM _{2,5} (Partikel < 2.5µm)	24 jam	35µg/m ³

Dari tabel 1 tersebut dapat dikatakan bahwa batas baku mutu PM_{2.5} dan PM₁₀ ditetapkan tidak boleh melebihi 35µg/m³ untuk PM_{2.5} dan 70µg/m³ untuk PM₁₀.

3. METODOLOGI

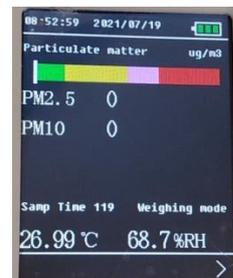
Untuk metode yang digunakan dalam pengukuran menggunakan metode pengukuran langsung. Untuk mengetahui konsentrasi polusi udara partikulat tersebut, menggunakan alat ukur HTI HT-9600 *particle counter*, dengan mengambil *sampling data* selama 2 hari dan setiap 1 jam di pagi, siang, sore, dan malam hari pada setiap moda transportasinya. Cara kerja alat ukur *particle counter* adalah sebagai berikut :

Tekan tombol merah berlogo on untuk meyalakan alat ini, lalu tampilan awal akan seperti gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. tampilan awal *particle counter*

Setelah menyalakan alat seperti pada gambar 2, lalu tekan *Run* untuk mulai mengukur partikulat, sebelum terukur alat ini memberikan jeda waktu 20 detik, dan tampilan layarnya akan seperti gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. tampilan layar setelah *Run*

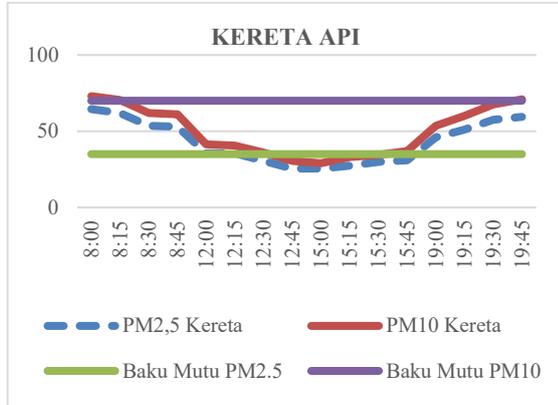
Setelah melakukan tahap pada gambar 3, tunggu sampai waktu *Samp Time* dan hasilnya akan muncul nilai PM_{2.5} dan PM₁₀ seperti pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Hasil terukur

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

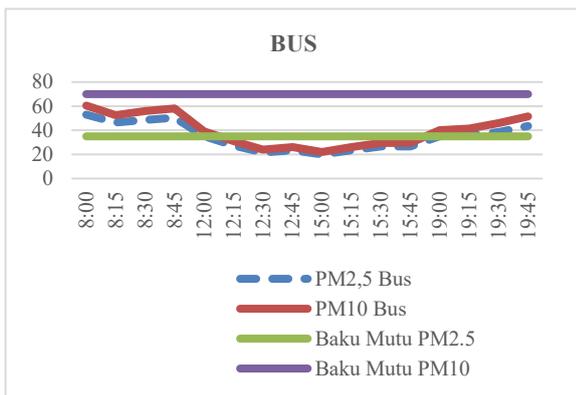
Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, selama pagi, siang, dan malam, didapatkan data konsentrasi PM2.5 dan PM10 di dalam ruang setiap moda transportasi, terhadap baku mutu yang sudah ditetapkan oleh pemerintah dengan gambar sebagai berikut:



Gambar 5. Konsentrasi partikulat pada kereta api

Dari gambar 5 tersebut, terlihat nilai konsentrasi tertinggi PM2.5 menyentuh hingga $65\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 $74\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari melebihi baku mutu dalam ruangan. Hal ini dapat disebabkan karena kondisi pintu antar gerbong kereta tidak tertutup rapat, penumpang yang padat, serta aktifitas penumpang yang bermacam-macam.

Selanjutnya untuk konsentrasi partikulat pada transportasi bus dapat dilihat pada gambar 6 berikut, disertai dengan baku mutu PM2.5 dan PM10 dalam ruangan:

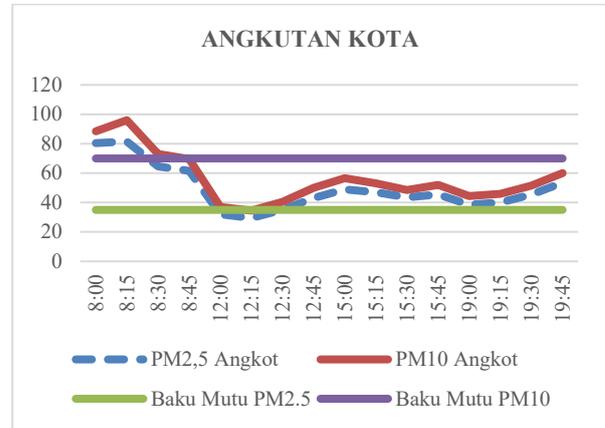


Gambar 6. Konsentrasi partikulat pada bus

Dari gambar 6 tersebut, transportasi bus dengan nilai PM2.5 menyentuh hingga $58\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 sebesar $66\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 tinggi pada pagi dan malam hari pada bus melebihi baku mutu dalam ruangan, sedangkan PM10 cenderung aman karena besar konsentrasinya masih di bawah baku mutu. Hal tersebut dapat disebabkan oleh penumpang

yang padat serta aktifitas penumpang yang bermacam-macam.

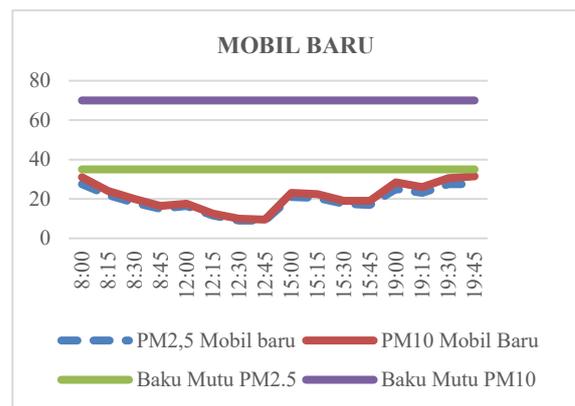
Pada transportasi angkutan kota, hasil pengukuran menunjukkan bahwa, angkutan kota merupakan transportasi dengan tingkat PM2.5 dan PM10 tertinggi di dalam ruangnya ditunjukkan pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Konsentrasi partikulat pada angkot

Pada gambar 7, diketahui konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada angkutan kota cenderung tinggi, dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga $85\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 $98\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada angkutan kota melebihi baku mutu dalam ruangan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kondisi angkutan kota yang memiliki banyak ventilasi serta pintu terbuka menjadikan polusi mudah masuk kedalamnya, serta penumpang yang lumayan padat.

Selanjutnya, pengukuran dilakukan pada moda transportasi mobil keluaran baru dengan hasil pengukuran seperti gambar 8 berikut:

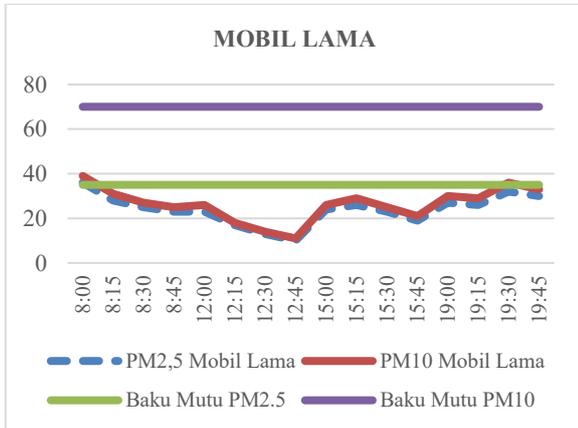


Gambar 8. Konsentrasi partikulat mobil baru

Dari gambar 8 di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil baru cukup baik. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari cenderung sedikit lebih besar, akan tetapi masih di bawah baku mutu, dan pada siang hari turun. Dengan konsentrasi tertinggi PM2.5 $29\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta

PM10 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil baru baik, karena masih di bawah baku mutu dalam ruangan. Hal ini disebabkan kondisi mobil tertutup rapat, serta pengkondisian udara pada mobil cukup baik.

Pada transportasi mobil lama dengan metode pengukuran yang sama, didapat data seperti pada gambar 9 berikut:

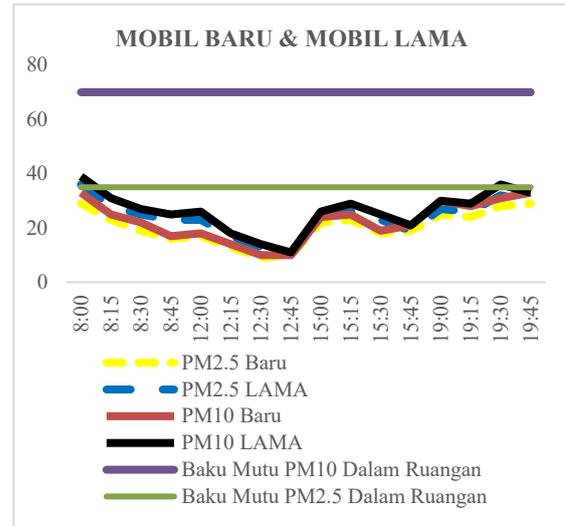


Gambar 9. Konsentrasi partikulat mobil lama

Dari gambar 9 tersebut, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil lama sempat melebihi baku mutu dalam ruangan, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 sempat menyentuh 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil lama bisa dikatakan masih aman. Hal ini disebabkan data awal terdapat beberapa polusi yang masuk saat pintu dibuka untuk masuk kedalam mobil. Setelah itu, konsentrasi PM2.5 dan PM10 turun dan di bawah baku mutu, namun pada malam hari kembali ada kenaikan sedikit melebihi baku mutu.

4.1 Perbandingan

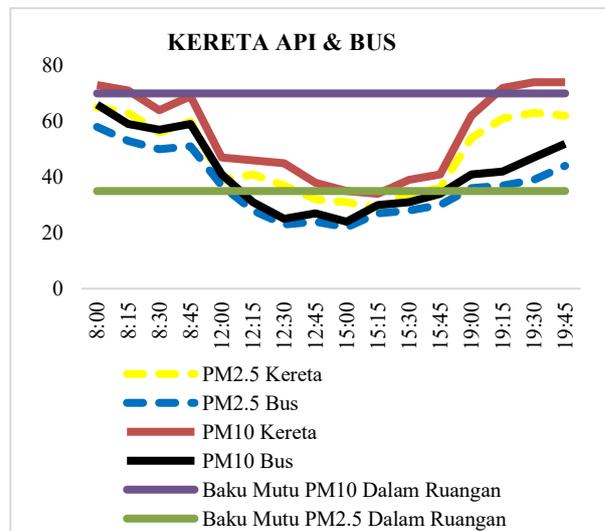
Setelah mendapat hasil pengukuran setiap moda transportasi, maka dibuatlah perbandingan antar moda transportasi untuk mengetahui transportasi mana yang memiliki konsentrasi PM2.5 dan PM10 tertinggi dan terendah sebagai berikut:



Gambar 10. Perbandingan mobil baru dan mobil lama

Dari gambar 10 di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil pribadi keluaran baru sedikit lebih baik. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari cenderung sedikit lebih besar, akan tetapi masih di bawah baku mutu, dan pada siang hari turun. Dengan konsentrasi tertinggi PM2.5 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil baru baik, karena masih di bawah baku mutu dalam ruangan, sementara konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada mobil lama sempat melebihi baku mutu dalam ruangan, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 sempat menyentuh 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil lama bisa dikatakan masih aman.

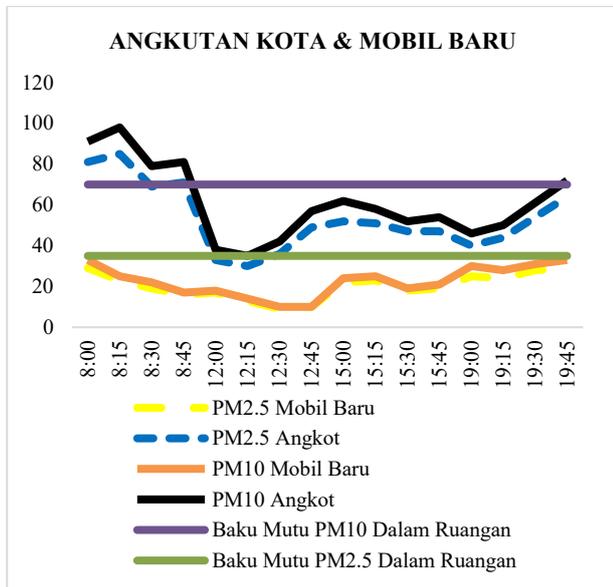
Selanjutnya, pada gambar 11 merupakan perbandingan konsentrasi partikulat yang dilakukan terhadap kereta api dengan bus



Gambar 11. Perbandingan kereta api dan bus

Dari gambar 11, terlihat bahwa pada kereta api konsentrasi PM2.5 dan PM10 cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari melebihi baku mutu dalam ruangan. Saat konsentrasi PM2.5 dan PM10 cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 sebesar 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 tinggi pada pagi dan malam hari pada Bus melebihi baku mutu dalam ruangan, sedangkan PM10 cenderung aman karena besar konsentrasinya masih di bawah baku mutu. Dengan begitu, bus sedikit lebih baik dari kereta api.

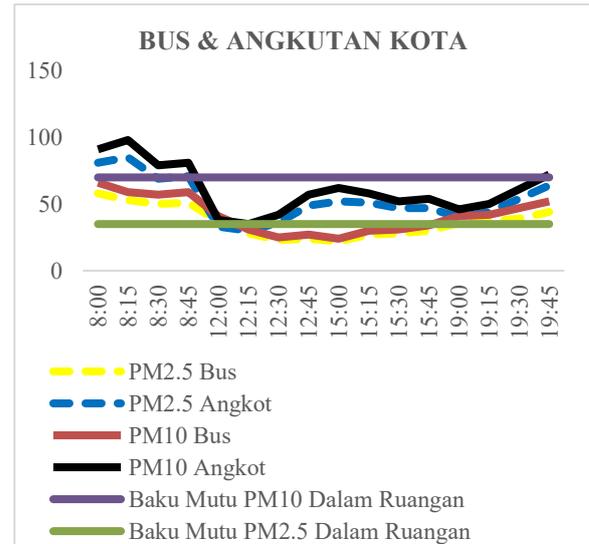
Pada perbandingan selanjutnya, untuk mengetahui transportasi mana yang lebih baik antara angkutan kota dan mobil baru, dapat dilihat pada gambar 11 berikut:



Gambar 12. Perbandingan angkot dan mobil baru

Dari gambar 12 di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada angkutan kota cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari pada angkutan kota melebihi baku mutu dalam ruangan. Sementara itu konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil baru lebih baik. Konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari cenderung sedikit lebih besar, akan tetapi masih di bawah baku mutu, dan pada siang hari turun. Dengan konsentrasi tertinggi PM2.5 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi mobil baru baik, karena masih di bawah baku mutu dalam ruangan.

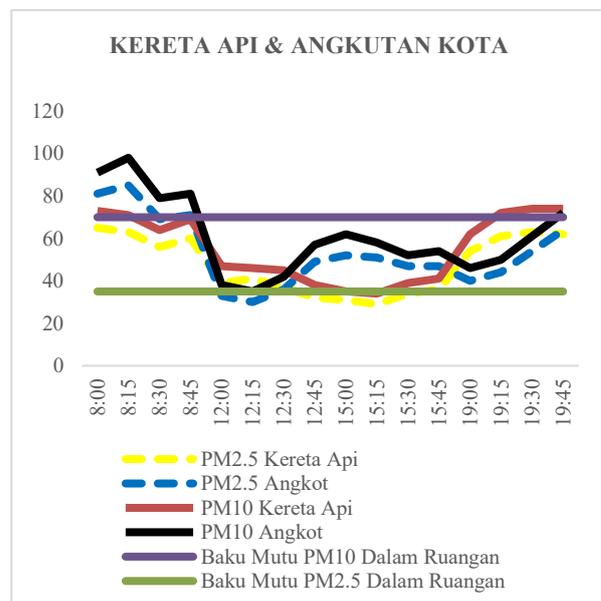
Setelah dibandingkan dengan mobil baru, hasil pengukuran angkutan kota dibandingkan dengan bus seperti gambar 13 di bawah ini:



Gambar 13. Perbandingan bus dan angkot

Dari gambar 13 di atas, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada transportasi bus, konsentrasi PM2.5 dan PM10 cenderung tinggi, dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 sebesar 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 tinggi pada pagi dan malam hari pada bus melebihi baku mutu dalam ruangan, sedangkan PM10 cenderung aman karena besar konsentrasinya masih di bawah baku mutu. Lalu pada angkutan kota konsentrasi PM2.5 dan PM10 cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari pada angkutan kota melebihi baku mutu dalam ruangan. Dalam perbandingan ini, bus sedikit unggul dari angkutan kota.

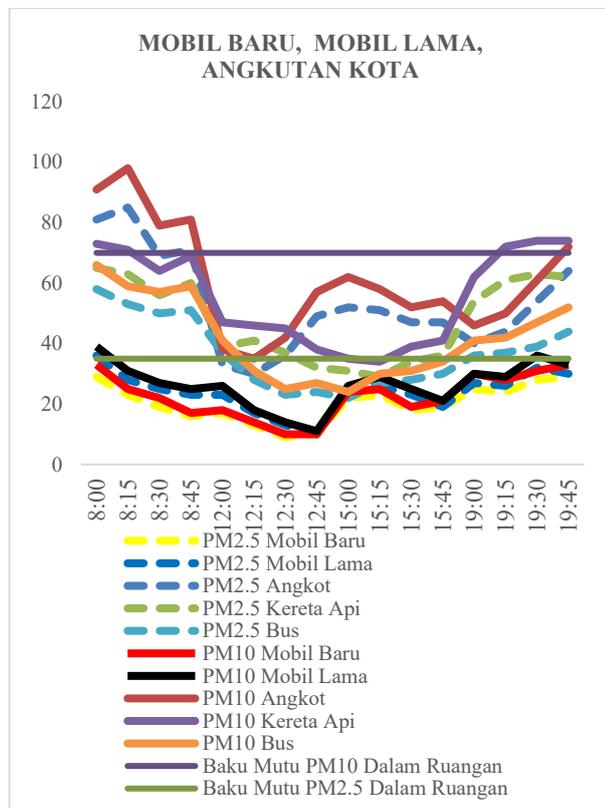
Pada perbandingan antara dua moda transportasi yang terakhir, merupakan transportasi kereta api dan angkutan kota seperti pada gambar 14 berikut:



Gambar 14. Perbandingan kereta api dan angkot

Pada gambar 14 tersebut, konsentrasi PM2.5 dan PM10 kereta api cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari melebihi baku mutu dalam ruangan, lalu pada angkutan kota konsentrasi PM2.5 dan PM10 cenderung tinggi, dan pada siang hari turun. Dengan nilai tertinggi PM2.5 menyentuh hingga 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, serta PM10 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dapat dikatakan bahwa konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada pagi dan malam hari pada angkutan kota melebihi baku mutu dalam ruangan. Di sini kedua transportasi tersebut sama sama melebihi baku mutu.

Setelah membandingkan antara dua moda transportasi, selanjutnya merupakan perbandingan PM2.5 dan PM10 seluruh moda transportasi yang terukur, terhadap baku mutu dalam ruangan, dengan hasil seperti gambar 15 di bawah ini:



Gambar 15. Perbandingan keseluruhan transportasi

Dari gambar 15 tersebut, dapat diketahui bahwa mobil baru dan mobil lama dikatakan cukup baik dengan konsentrasi PM2.5 dan PM10 nya. Sementara itu bus dapat diketahui belum cukup baik mengingat ada konsentrasi partikulat yang melebihi baku mutu. Dan yang terakhir ada kereta api dan angkutan kota dengan konsentrasi partikulat yang tidak baik melebihi baku mutu yang sudah ditetapkan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi tertinggi PM2.5 dan PM10 pada moda transportasi terdapat pada angkutan kota, dimana hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi kendaraan memiliki banyak jendela dan pintu yang terbuka, serta penumpang dan aktifitas di dalamnya mempengaruhi tingginya partikulat tersebut.
2. Konsentrasi terendah PM2.5 dan PM10 dalam hal ini yang paling baik adalah mobil baru. Dari data yang telah didapat, konsentrasi partikulat pada transportasi ini di bawah batas baku mutu.
3. Moda transportasi mobil baru menjadi yang paling baik terhadap partikulat dan baku mutunya, setelah itu ada mobil lama masih bisa dikatakan cukup baik, lalu transportasi bus, kereta api, dan yang terakhir angkutan kota dengan konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang kurang baik melebihi baku mutu.
4. Beberapa faktor seperti kondisi kendaraan dengan ventilasi dan pintu terbuka, transportasi dengan sistem *Air conditioning*, jumlah penumpang, aktifitas di dalam transportasi, serta waktu, sangat mempengaruhi tinggi rendahnya konsentrasi PM2.5 dan PM10 setiap transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Bandung, 2020. *Transportasi Jadi Sumber Pencemaran Udara di Bandung*.
- [2] Buanawati, T. T., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). *Estimasi Emisi Pencemar Udara Konvensional (SOx, NOx, CO, dan PM) Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode International Vehicle Emission (IVE) Di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang*. 6(3), 1–12.
- [3] Cooper, C.D. & Alley, F. . (2002). *Air Pollution Control: A Design Approach*.
- [4] Environmental Protection Agency. (2016). *Particulate Matter (PM) Basics*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.
- [5] Monn, C., Fuchs, A., Kogelschatz, D., & Wanner, H.-U. (1995). *Comparison of indoor and outdoor concentrations of PM-10 and PM-2.5*. *Journal of Aerosol Science*, 26, S515–S516.
- [6] Agency, E. P. (2018). *Particulate Matter (PM) Pollution*.
- [7] Permenkes No.1077 tahun 2011. (2011). *Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah*.9.