

Studi Model Penyebaran *Droplet* Pernapasan dari Penderita COVID-19

Nadia^{a*}, Azrul Azwar^a, Yoga Satria Putra^b

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi Pontianak

^bProdi Geofisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi Pontianak

*Email : dean4457@student.untan.ac.id

(Diterima 22 Desember 2022; Disetujui 30 Desember 2022; Dipublikasikan 31 Desember 2022)

Abstrak

Telah dilakukan kajian terhadap penyebaran *droplet* dari penderita COVID-19. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan distribusi *droplet* dari penderita COVID-19. Distribusi *droplet* dimodelkan menggunakan model *Gaussian puff* serta diselesaikan menggunakan metode Euler dan trapesium. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi *droplet* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kecepatan awal *droplet* ketika keluar dari mulut, ukuran *droplet*, suhu udara dan kelembapan relatif. Maka dari itu, sebagai bentuk upaya untuk mencegah penularan COVID-19, perlu memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi *droplet*.

Kata Kunci : *droplet*, COVID-19, distribusi *droplet*

1. Latar Belakang

COVID-19 (*Coronavirus Disease 2019*) [1] yang juga dikenal dengan sebutan SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) [2] merupakan jenis virus yang menyerang saluran pernapasan. Virus dapat dikeluarkan melalui mulut orang yang terinfeksi ketika bernapas, berbicara, batuk atau bersin dalam bentuk tetesan yang disebut sebagai *droplet*. Salah satu protokol penting dalam pencegahan virus COVID-19 adalah dengan cara menjaga jarak fisik (*physical distancing*) sejauh 1 – 2 m. Hal ini didasarkan pada mekanisme penularan virus COVID-19 yaitu melalui percikan *droplet* pernapasan yang dapat bergerak di udara mencapai jarak sekitar 2 m bergantung pada ukuran dan kecepatan *droplet* yang keluar dari mulut penderita. Meskipun upaya-upaya edukasi untuk menyadarkan masyarakat agar menjaga jarak telah sering dilakukan, namun masih banyak masyarakat bersikap abai terhadap hal ini. Karena itu, upaya ini perlu didukung dengan basis ilmiah yang kuat sehingga semakin mudah untuk diterima oleh masyarakat.

Salah satu basis ilmiah yang dapat mendukung penjelasan tentang *physical distancing* ini adalah melalui pemodelan gerak *droplet* pernapasan dari penderita COVID-19, seperti model *computational fluid dynamics* (CFD). Akan tetapi, implementasi model CFD ini tidak terlalu mudah karena memerlukan kemampuan pemrograman dan perangkat komputasi yang baik. Sehingga untuk keperluan praktis, diperlukan sebuah model sederhana yang dapat memberikan gambaran secara umum tentang penyebaran *droplet* pernapasan ini.

Sebuah model sederhana yang dikembangkan oleh Buxton [3] yaitu dengan mengasumsikan bahwa *droplet* menyebar dalam model *Gaussian puff*. Selain itu, Buxton juga mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembapan udara lingkungan sekitar pada ukuran *droplet*, sehingga model ini

menjadi lebih realistis. Berdasarkan pemodelan yang dilakukan oleh Buxton, perlu dilakukan penelitian tentang studi sistematis terhadap model tersebut. Studi sistematis diinterpretasi menggunakan metode numerik dan metode integral numerik, yaitu metode Euler dan metode trapesium.

2. Metodologi

Data yang digunakan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Aydin [4], Zhang [5] dan Nazari [6]. Aydin menyebutkan pada penelitiannya bahwa COVID-19 memiliki diameter rata-rata 100 nm dan jari-jari 5×10^{-8} m. Menurut Zhang, rentang kecepatan *droplet* keluar dari mulut ketika bernapas, berbicara dan batuk berturut-turut yaitu 0,1 – 1 m/s; 2 – 10 m/s dan 10 – 20 m/s. Kecepatan *droplet* keluar dari mulut ketika bersin menurut Nazari adalah 10 – 30 m/s. Data tersebut dimodelkan menggunakan model *Gaussian puff*, dilanjutkan dengan menyelesaikan beberapa persamaan yang telah diinterpretasi menggunakan metode Euler dan trapesium.

2.1 Metode Euler

Metode Euler merupakan metode numerik. Metode Euler dianggap sederhana karena merupakan metode turunan dari deret Taylor yang diambil dari dua suku pertama deret Taylor [7]. Metode Euler dinyatakan sebagai berikut [8].

$$y_{i+1} = y_i + hf(t_i, y_i) \quad (1)$$

Sehingga persamaan posisi vertikal virus menurut metode Euler ditunjukkan sebagai berikut.

$$z_{d_n} = z_{d_{n-1}} - v_T \Delta t \quad (2)$$

Posisi horizontal virus ditunjukkan sebagai berikut.

$$x_{d_n} = x_{d_{n-1}} + v \Delta t \quad (3)$$

2.2 Model *Gaussian Puff*

Model *Gaussian puff* mampu memodelkan tetesan kecil yang dikeluarkan dari mulut, yaitu dengan mengasumsikan konsentrasi tetesan yang dapat digambarkan menggunakan distribusi *Gaussian* yang terus meluas [3] sebagai berikut.

$$c(x, y, z) = \frac{q}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^3} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} [(x - x_d)^2 + (y)^2 + (z - z_d)^2] \right\} \quad (4)$$

Konsentrasi embusan yang berinteraksi dengan seseorang berjarak L dari sumbernya dan pada ketinggian h di bawah sumbernya, ditunjukkan sebagai berikut.

$$c(x, y, z) = \frac{q}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^3} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} [(L - x_d)^2 + (z_d - \Delta h)^2] \right\} \quad (5)$$

Konsentrasi embusan yang terintegrasi selama waktu embusan melewati orang merupakan dosis

tetes pernapasan yang telah terpapar pada orang hingga waktu t , yang ditunjukkan sebagai berikut.

$$Dosis(L, \Delta h, t) = \int_0^t c(L, \Delta h, t') dt' \quad (6)$$

2.3 Metode Trapesium

Metode trapesium merupakan metode integral numerik. Metode integral numerik digunakan ketika bentuk persamaan integral sulit diselesaikan secara analitik. Berdasarkan teorema trapesium, persamaan (6) menjadi persamaan (7) [9].

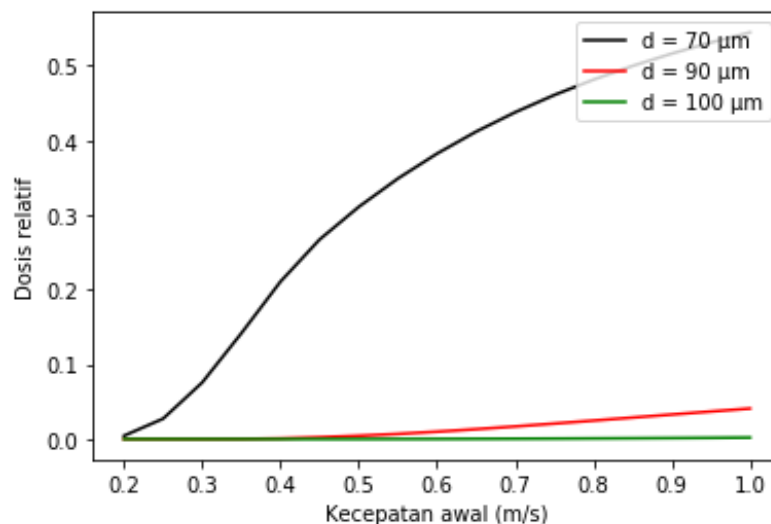
$$Dosis = \frac{\Delta x}{2} (f(x_0) + f(x_n) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i)) \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

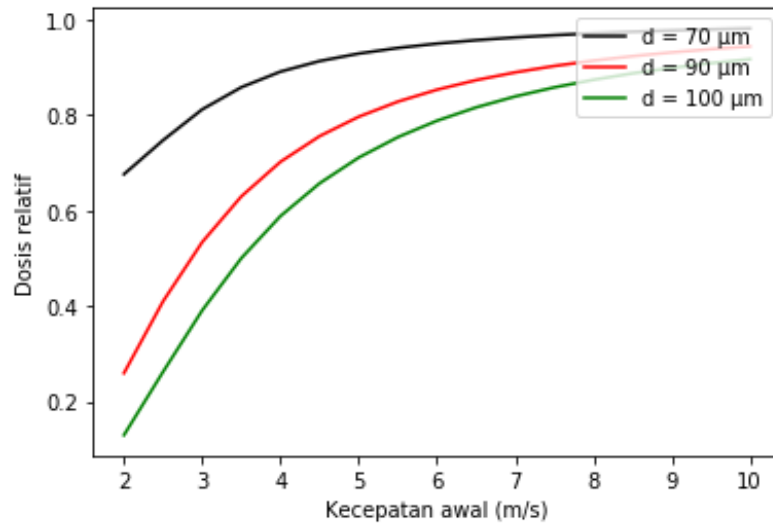
Bernapas, berbicara, batuk dan bersin mengindikasikan ukuran dari kecepatan *droplet* ketika keluar dari mulut. Selain itu, *droplet* yang keluar dari mulut juga memiliki berbagai ukuran diameter. Ukuran diameter dan kecepatan yang berbeda dapat menentukan dosis relatif dari *droplet* yang dihasilkan. *Droplet* akan meluruh hingga mencapai diameter yang kecil, yaitu inti tetesan. Pada kondisi tersebut *droplet* tidak lagi dapat meluruh.

Pada penelitian mengenai waktu penangguhan *droplet* yang dilakukan oleh Islam *et al.* [10], *droplet*

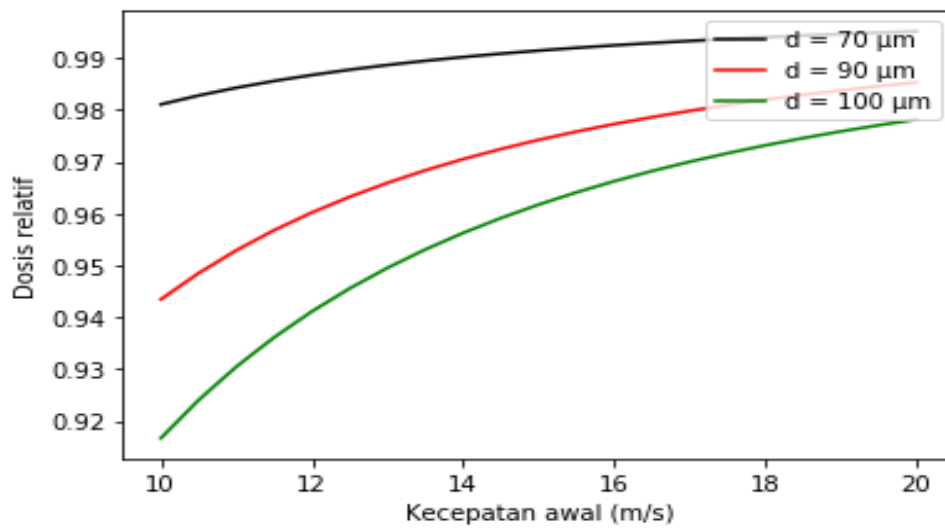
dengan jari-jari lebih dari 5μ jatuh ke tanah dalam hitungan menit atau puluhan detik, sedangkan *droplet* dengan jari-jari $\sim 1 \mu$ tersuspensi di udara selama berjam-jam. Stariolo [11] juga melakukan hal serupa, yaitu tentang suspensi COVID-19 di udara. Hasil yang diperoleh oleh Stariolo menunjukkan bahwa *droplet* dengan ukuran $\leq 10 \mu$ akan tetap tersuspensi di udara dari menit ke jam, sedangkan waktu penguapan *droplet* sekecil 10μ jauh lebih kecil dari satu detik.



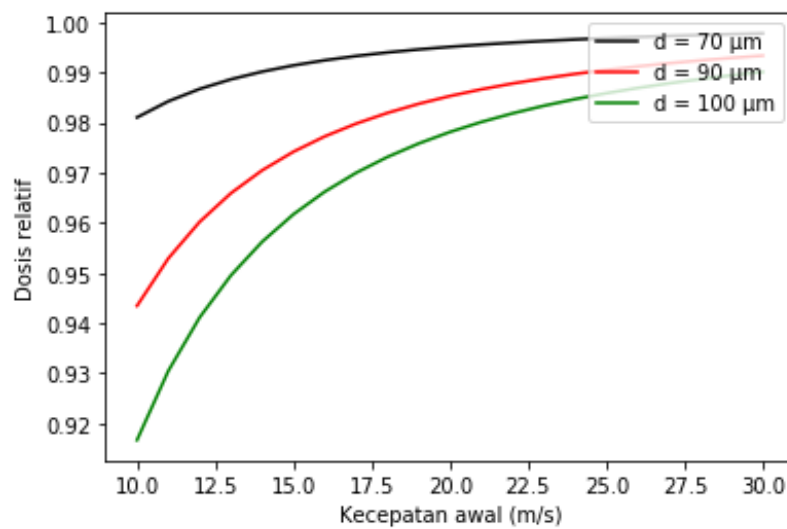
(a)



(b)



(c)

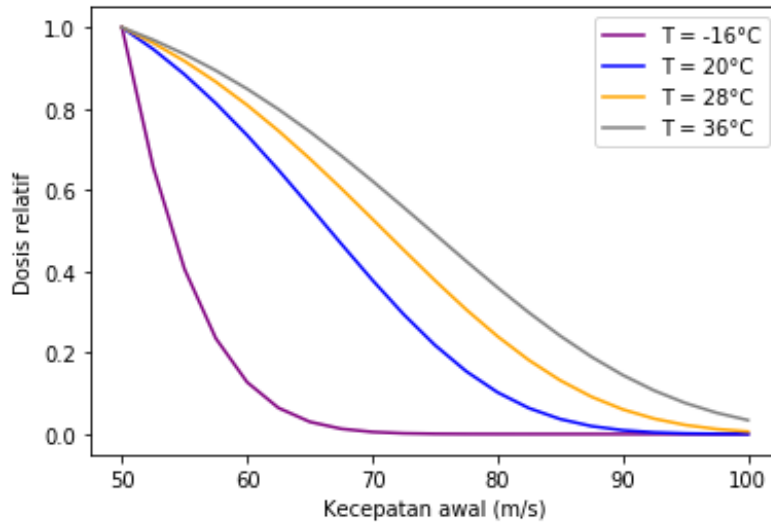


(d)

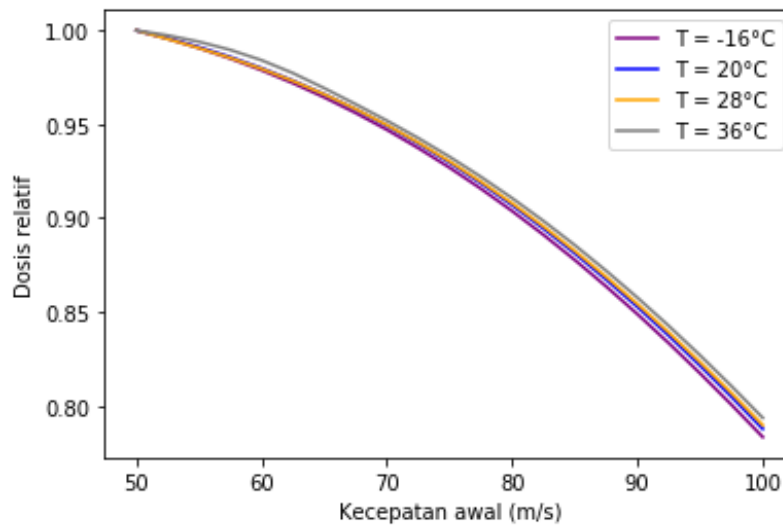
Gambar 1 Grafik pengaruh kecepatan awal *droplet* saat (a) bernapas, (b) berbicara, (c) batuk dan (d) bersin terhadap dosis relatif pada jarak 2 m untuk berbagai variasi diameter *droplet*

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada jarak 2 m, *droplet* berdiameter kecil lebih banyak ditemukan. *Droplet* berdiameter besar lebih cepat meluruh. *Droplet* berdiameter kecil yang tersuspensi di udara akan mudah membawa virus yang terkandung di dalamnya. Hal tersebut

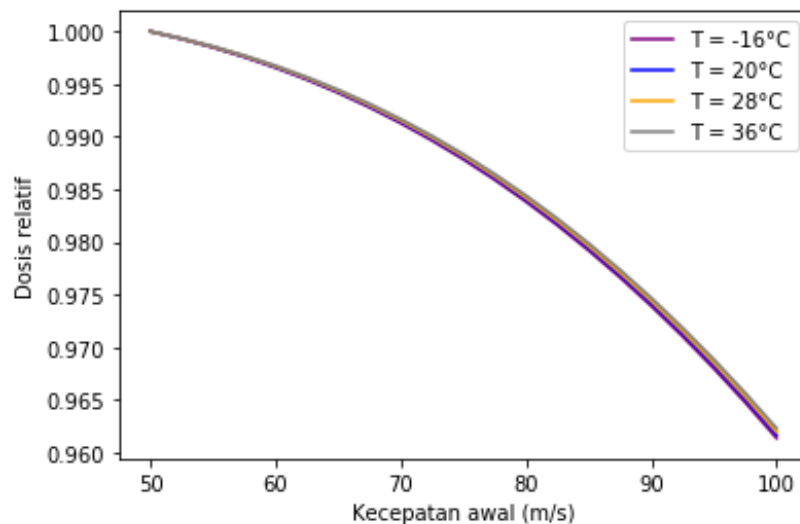
mengakibatkan orang-orang yang berada jauh dari penderita dapat dinyatakan positif terinfeksi COVID-19. *Droplet* berdiameter besar yang meluruh akan hinggap pada benda tertentu yang kemudian disentuh oleh orang lain, sehingga orang tersebut dinyatakan positif terinfeksi COVID-19.



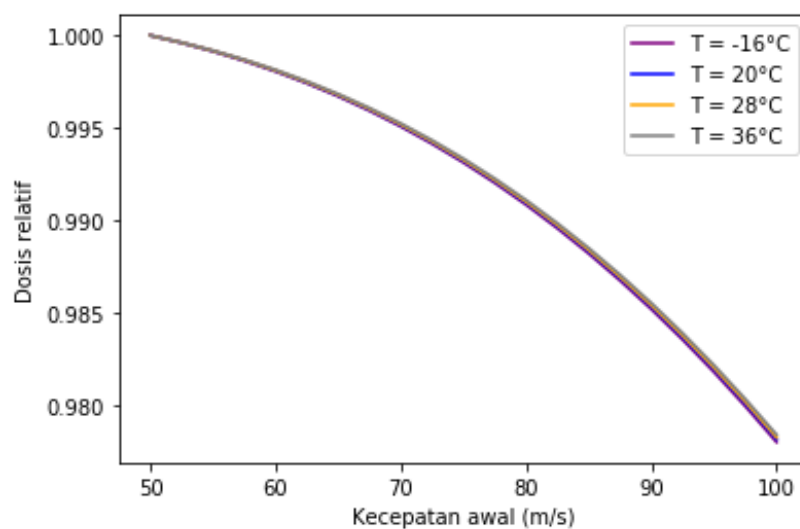
(a)



(b)



(c)



(d)

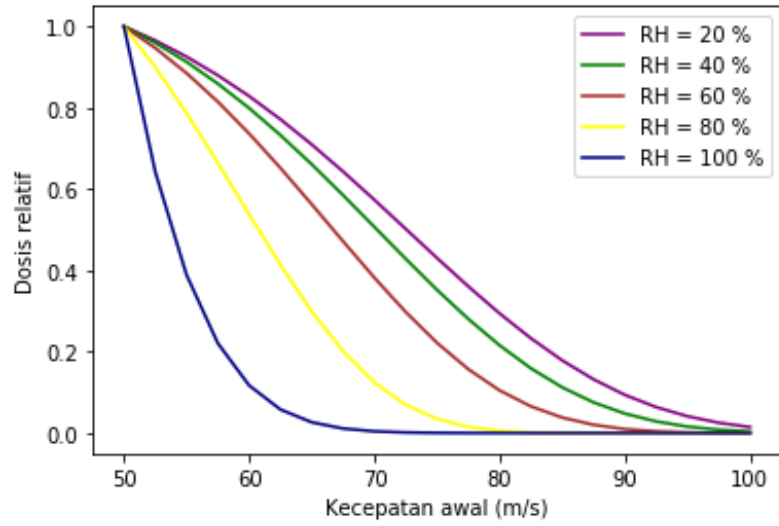
Gambar 2 Grafik pengaruh ukuran *droplet* saat (a) bernapas (0,6 m/s), (b) berbicara (6 m/s), (c) batuk (15 m/s) dan (d) bersin (20 m/s) terhadap dosis relatif pada jarak 2 m untuk berbagai variasi suhu udara

Penelitian Islam [10] menunjukkan bahwa suhu dan kelembapan relatif mempengaruhi waktu suspensi dari aerosol/*droplet* yang dihembuskan dengan berbagai derajat yang bervariasi. Sedangkan Buxton [3] menunjukkan bahwa ketika suhu meningkat, jumlah virus yang terpapar pada orang kedua meningkat. Hal serupa juga dinyatakan oleh Nazari [6], yang menyatakan bahwa *droplet* yang dihembuskan ke suhu sekitar yang lebih tinggi dan RH yang lebih rendah mengurangi ukuran aerosol.

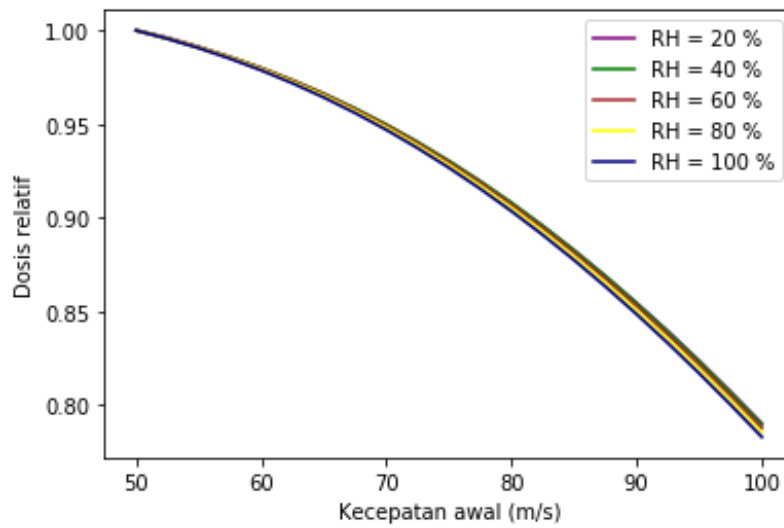
Grafik pengaruh ukuran *droplet* saat bernapas, berbicara, batuk dan bersin terhadap dosis relatif pada jarak 2 m untuk berbagai variasi suhu udara

ditunjukkan pada Gambar 2. Perbedaan signifikan dapat diamati pada *droplet* berkecepatan awal kecil. *Droplet* banyak ditemukan pada suhu udara yang lebih tinggi. Pada suhu udara yang rendah, *droplet* lebih cepat meluruh. Perbedaan yang signifikan tidak ditemukan pada kecepatan awal *droplet* yang besar.

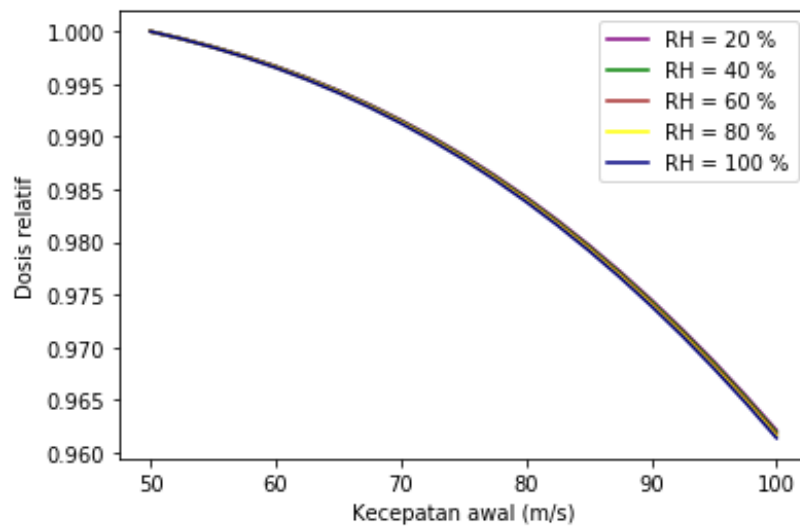
Berdasarkan hasil analisis, cara untuk menghindari dan meminimalisir penularan COVID-19 adalah dengan berada pada lingkungan yang memiliki suhu udara rendah, karena *droplet* yang ditemukan lebih sedikit.



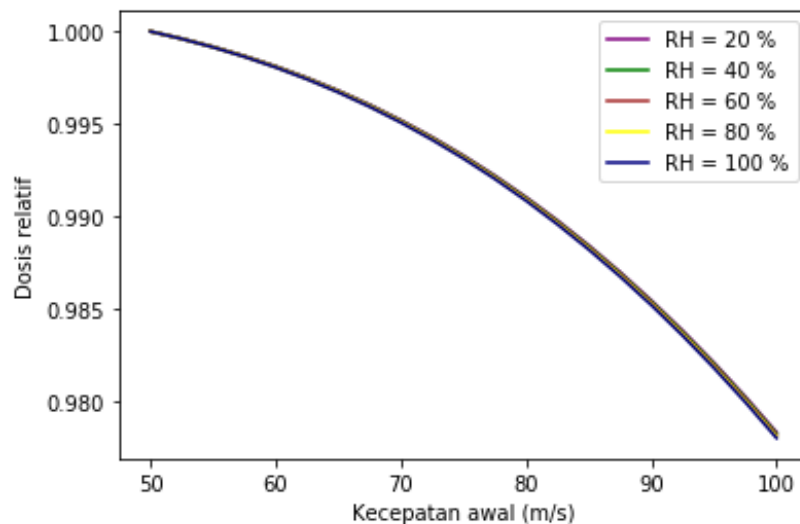
(a)



(b)



(c)



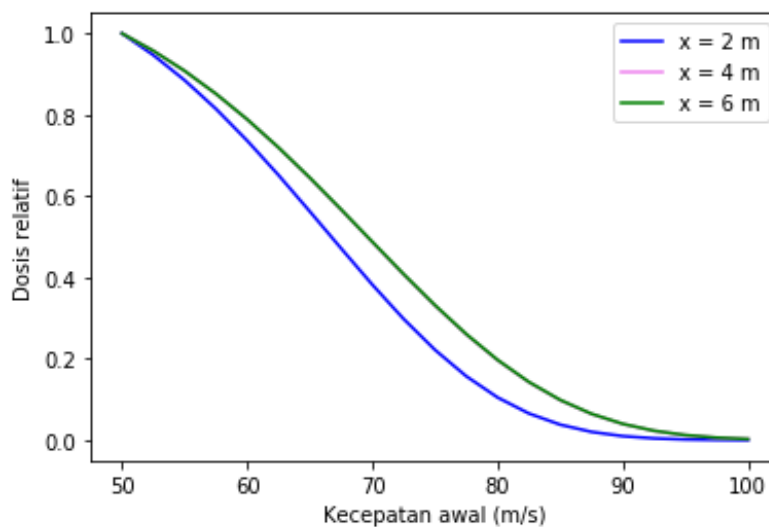
(d)

Gambar 3 Grafik pengaruh ukuran *droplet* saat (a) bernapas (0,6 m/s), (b) berbicara (6 m/s), (c) batuk (15 m/s) dan (d) bersin (20 m/s) terhadap dosis relatif pada jarak 2 m untuk berbagai variasi kelembapan relatif

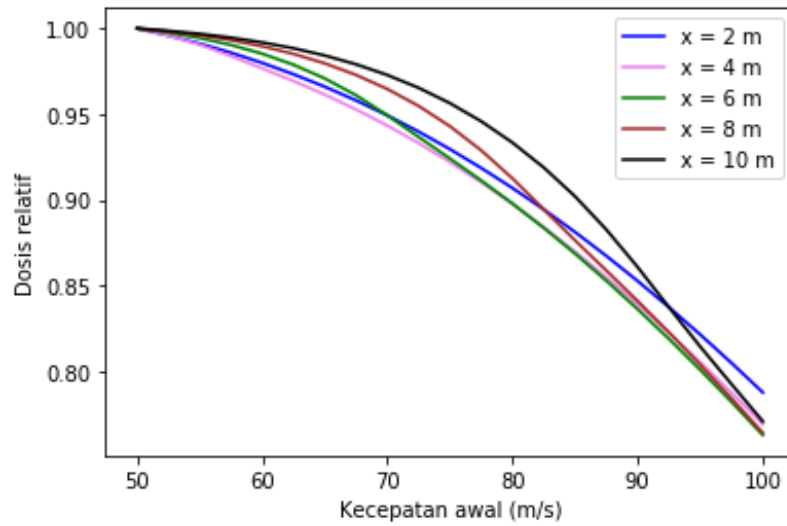
Teori yang dikemukakan oleh Islam [10] menyatakan bahwa kelembapan relatif memiliki efek berlawanan dibandingkan dengan suhu. Teori tersebut sesuai dengan hasil penelitian Nazari [6], yaitu *droplet* yang dihembuskan ke suhu sekitar yang lebih tinggi dan kelembapan relatif yang lebih rendah mengurangi ukuran aerosol. Selain itu Islam juga menyatakan suhu dan kelembapan relatif mempengaruhi waktu suspensi dari aerosol/*droplet* yang dihembuskan dengan berbagai derajat yang bervariasi.

Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Islam dan Nazari, hasil analisis memenuhi teori tersebut. Gambar 3 menunjukkan bahwa efek yang

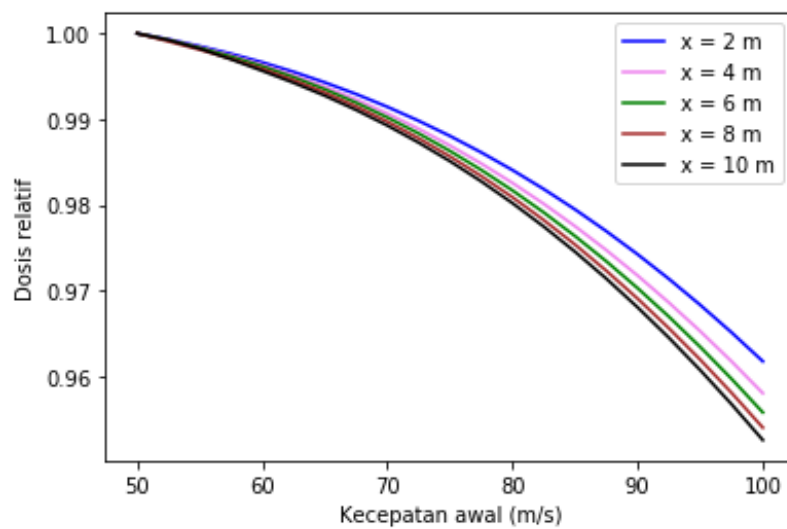
disebabkan oleh kelembapan relatif terhadap dosis relatif *droplet* memiliki efek berlawanan dibandingkan dengan suhu. Dosis relatif *droplet* lebih banyak ditemukan pada kelembapan relatif yang rendah. Hal tersebut dikarenakan *droplet* yang tersuspensi adalah *droplet* berdiameter kecil. Artinya, ukuran diameternya telah berkurang (dalam hal ini *droplet* meluruh) dari diameter awal ketika *droplet* keluar dari mulut. Diameter *droplet* yang berbeda akan menyebabkan *droplet* mempunyai waktu meluruh yang berbeda. Sehingga dapat dikatakan bahwa kelembapan relatif mempengaruhi waktu suspensi dari *droplet*.



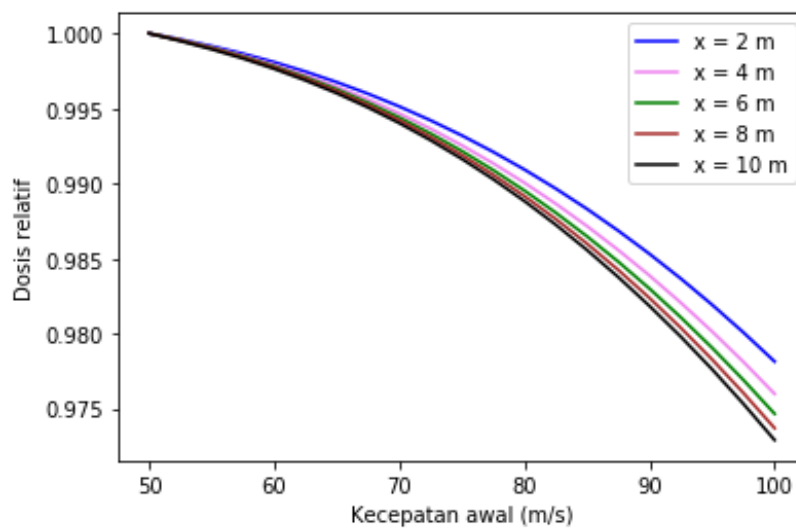
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4 Grafik pengaruh ukuran *droplet* saat (a) bernapas (0,6 m/s), (b) berbicara (6 m/s), (c) batuk (15 m/s) dan (d) bersin (20 m/s) terhadap dosis relatif untuk berbagai variasi jarak mendatar

Aydin [4] dalam teorinya menyebutkan bahwa jarak horizontal yang ditempuh SARS-CoV-2 saat terjun bebas dari 1,7 m adalah 0,88 m karena bernapas atau berbicara dan 2,94 m karena bersin atau batuk. Hasil penelitian Liu [12] menyebutkan bahwa tetesan besar (diameter awal lebih besar dari 60 μm) ditemukan pada jarak mendatar 1,5 m ketika kecepatan awalnya 10 m/s pada ketinggian 2 m dari lantai. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Bahl [13] menunjukkan bahwa dari sepuluh studi tentang jarak horizontal *droplet*, delapan menunjukkan *droplet* mencapai lebih dari 2 m. Penelitian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chea [14] dan Pendar [15]. Chea menyebutkan bahwa jarak 2 m mungkin tidak cukup untuk mencegah transmisi partikel pernapasan,

terutama di lingkungan aliran udara yang diperhitungkan atau jika pernapasan dilepaskan dengan kecepatan tinggi melalui bersin, serta Pendar menyatakan bahwa menjaga jarak sejauh 2 m mungkin tidak cukup karena hasil penelitian tergantung pada kondisi lingkungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa jarak mendatar yang ditempuh *droplet* akan jauh ketika *droplet* dikeluarkan dengan kecepatan yang besar. Selain itu, masih ditemukan *droplet* pada jarak mendatar sejauh 2 m ketika kecepatan *droplet* adalah kecepatan terkecil. Berdasarkan analisis, menjaga jarak fisik (*physical distancing*) sejauh 2 m yang telah ditetapkan sebelumnya dinilai kurang tepat sebagai upaya untuk mengatasi penyebaran COVID-19.

4. Kesimpulan

Penyebaran dari COVID-19 (kasus kecepatan angin tidak diperhitungkan) dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu diameter dan kecepatan *droplet* yang dikeluarkan oleh penderita COVID-19, serta suhu udara dan kelembapan relatif. Sehingga upaya untuk mencegah penularan COVID-19 perlu memperhatikan faktor-faktor tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Ali, A., Tambunan, M. P., & Tambunan, R. P. Kajian Meteorologi Transmisi COVID-19 di Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22, 1 – 8, 2021
- [2] Fauci, A. S., Lane, H. C., & Radfield, R. R. COVID-19 – Navigating The Uncharted. *The New England Journal of Medicine*. 2020
- [3] Buxton, Gavin A. Spreadsheet Model of COVID-19 Transmission: Evaporation and Dispersion of Respiratory Droplets. *Spreadsheets in Education*, 12(2), 2020
- [4] Aydin, M., Evrendilek, F., Savas, S. A., Aydin, I. E., & Evrendilek, D. E. Falling Dynamics of SARS-CoV-2 as a Function of Respiratory Droplet Size and Human Height. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2020
- [5] Zhang, H., Li, D., Xie, L., & Xiao, Y. *Documentary Research of Human Respiratory Droplet Characteristics*. Elsevier. 2015
- [6] Nazari, A., Jafari, Nazari, Ata; Jafari, Moharram; Razaee, Naser; Azad, Sevda Arash; Talati, Faramarz; Rahim, Rahim Nejad; Hesary, Farzad Taghizadeh; Hesary, Farhad Taghizadeh. Effects of High-speed Wind, Humidity, and Temperature on the Generation of a SARS-CoV-2 Aerosol; a Novel Point of View. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(8), 2021
- [7] Rahmatullah, S., Arman, Y., & Apriansyah. Simulasi Gerak Osilasi Model Pegas Bergandeng Menggunakan Metode Runge-Kutta. *Prisma Fisika*, 8, 180 – 184, 2020
- [8] Hurit, R. U., & Mungkasi, S. The Euler, Heun, and Fourth Order Runge-Kutta Solutions to SEIR Model for the Spread of Meningitis Disease. *Mathline (Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika)*, 6, 140-153, 2021
- [9] Herfina, N., Amrullah & Junaidi. Efektifitas Metode Trapesium dan Simpson dalam Penentuan Luas Menggunakan Pemrograman Pascal. *Mandalika (Mathematics and Educations Journal)*, 1, 2019
- [10] Islam, M. R., & Naqib, S. H. Droplet and Aerosol Suspension Times in Ambient Air and Transmission of COVID-19: Influence of Environmental Factors. *ResearchGate*. 2020
- [11] Stariolo, D. A. COVID-19 in Air Suspensions. *arXiv*. 2020
- [12] Liu, L., Wei, J., Li, Y., & Ooi, A. Evaporation and Dispersion of Respiratory Droplets from Coughing. *Indoor Air*, 2016
- [13] Bahl, P., C., Silva, C. d., Chughtai, A. A., Bourouiba, L., & MacIntyre, C. R. Airborne or Droplet Precautions for Health Workers Treating Coronavirus Disease 2019?. *The Journal of Infectious Diseases*, 225(9), 1561-1568, 2020
- [14] Chea, B., Bolt, A., Chaab, M. A., & Dincer, I. Assessment of Effectiveness of Optimum Physical Distancing Phenomena for COVID-19. *Physics of Fluids*, 33(5), 2021
- [15] Pendar, M. R., & Páscoa, J. C. Numerical Modeling of The Distribution of Virus Carrying Saliva Droplets During Sneeze and Cough. *Physics of Fluids*, 32(8), 2020