



Analisis Model Gerak Brown pada Penyebaran Covid-19 di Indonesia

Andre L. A Marpaung^{1*}, Pardomuan Sitompul²
Jurusan Matematika, Universitas Negeri Medan

Corresponding Author: Andre L. A Marpaung agtk55@gmail.com

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Gerak Brown, Covid-19, Probabilitas Infeksi, Pembatasan Aktivitas

Received : 09 October
Revised : 19 October
Accepted: 26 October

©2022 Marpaung, Sitompul: This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kasus Covid-19 di Indonesia telah mempengaruhi banyak aspek di segala bidang, sehingga diperlukan kebijakan untuk mengatasi masalah tersebut. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh pembatasan aktivitas terhadap penurunan kasus infeksi. Pada penelitian ini dilakukan enam simulasi, satu simulasi dengan skenario tanpa pembatasan aktivitas dan lima simulasi dengan pembatasan pada lima kondisi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanpa pembatasan dapat menyebabkan penyebaran penyakit yang cepat dan sejumlah besar infeksi dalam satu periode. Pembatasan setelah mencapai kasus infeksi tertentu akan menurunkan laju infeksi selama periode pembatasan aktivitas.

PENDAHULUAN

Bagian Sejalan dengan perkembangan dan perubahan ekonomi, pemanfaatan teknologi Dewasa ini dunia sedang menghadapi pandemi *Covid-19* yang menyebar di banyak negara, termasuk Indonesia. Penyakit *Corona Virus Disease 2019* atau disingkat *Covid-19* adalah penyakit yang disebabkan oleh Virus SARS CoV-2 (*Severe acute respiratory syndrome corona virus 2*) atau secara umum dikenal dengan virus corona merupakan virus kelompok RNA. *Covid-19* adalah penyakit menular yang menyerang sistem pernapasan dimana setelah pasien terinfeksi *Covid-19* memiliki perubahan pada paru-paru dan pasien mengalami penurunan jumlah sel limfosit dan trombosit disertai hipoksemia (Amalia 2020).

Data dari WHO mencatat bahwa penyakit *Covid-19* pertama kali ditemukan di kota Wuhan, Provinsi Hubei, Tiongkok pada 31 Desember 2019 dan oleh WHO ditetapkan sebagai pandemi pada 11 Maret 2020 (WHO 2020). Di Indonesia sendiri Kementerian Kesehatan Indonesia mencatat total kasus *Covid-19* yang terjadi sudah mencapai angka 6.012.818 kasus dan angka kematian akibat *Covid-19* 155.089 pada tanggal 31 Maret 2022. Dua tahun setelah kasus pertama *Covid-19* ditemukan pada 2 Maret 2022, kasus *Covid-19* masih terus bertambah setiap harinya.

Penyebaran penyakit *Covid-19* didorong oleh mobilitas manusia yang semakin mudah baik dalam skala regional dan internasional. Hal ini yang membuat pandemi *Covid-19* berbeda dengan pandemi yang pernah terjadi sebelumnya. Pesatnya penularan penyebaran penyakit *Covid-19* juga dikarenakan terjadinya mutasi-mutasi virus corona yang selalu bermutasi untuk dapat mencapai *optimal form* yang dapat menginfeksi manusia lebih mudah dan bertahan lebih lama dalam tubuh manusia sehingga dapat menularkan virus tersebut ke manusia lainnya (Callaway 2021)

Hal ini yang mendorong banyak peneliti untuk mengkaji topik penyebaran penyakit *Covid-19*. Salah satu cara untuk menjelaskan solusi masalah di dunia nyata adalah dengan memodelkan atau mengungkapkan masalah nyata dalam bahasa Matematika. Secara umum model matematika dapat dibagi menjadi dua, yaitu model deterministik dan model stokastik. Model deterministik adalah model yang tidak memiliki variabel random didalamnya. Sebaliknya, model stokastik adalah model yang memiliki satu atau beberapa variabel random didalamnya. Model epidemik stokastik dapat merepresentasikan model penyebaran dibandingkan dengan model epidemik deterministik karena dapat menjelaskan faktor ketidakpastian yang menjadi ciri khas model epidemik, dimana dalam model stokastik pengaruh acak dipertimbangkan.

Merujuk pada penelitian *Particle modeling of spreading of coronavirus disease*, oleh Deleon dan Pederiva (2021), salah satu cara untuk menampilkan dinamika penularan penyakit dalam populasi adalah model gerak Brown. Dalam penelitian ini suatu gerak individu dalam suatu area dimodelkan sebagai gerak partikel yang bergerak secara acak dengan peluang untuk terinfeksi tergantung dari jarak individu sehat dan individu sakit.

Pada penelitian yang berbeda, Kuzdeuov, dkk.(2021) juga mensimulasikan setiap individu sebagai satu partikel yang unik terhadap partikel lainnya dalam

hal posisi, kecepatan dan keadaan epidemi (Kuzdeuov A 2021). Terdapat pula penelitian Karabay, dkk (2021) yang mensimulasikan epidemi basis partikel dengan pengaruh vaksinasi dalam menganalisis keefektifan vaksin dalam menurunkan angka kematian akibat penyakit *Covid-19* (Karabay dkk. 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana kebijakan pembatasan aktivitas dapat melandaikan kurva infeksi, penelitian ini juga bertujuan untuk dapat menjelaskan kebijakan yang seperti apa yang paling efektif dalam menurunkan puncak infeksi *Covid-19* suatu area.

TINJAUAN PUSTAKA

Model Sistem Gerak Brown

Model pergerakan manusia dalam suatu area dapat dimodelkan sebagai gerak acak Brown dimana setiap individu dimodelkan sebagai sebuah partikel yang memiliki perpindahan masing-masing. Dalam memodelkan gerak ini dalam program perlu ditentukan beberapa parameter, yang akan dijelaskan sebagai berikut

Posisi Awal dan Jumlah Partikel

Posisi awal partikel dimodelkan sebagai (x, y) dimana x dan y dalam interval 0 hingga 1. Posisi random di-loop sebanyak jumlah partikel yaitu 1000 partikel.

Pergerakan Setiap Partikel terhadap Periode Simulasi

Setiap pergerakan individu dimodelkan sebagai gerak Brown yang bergerak secara acak, dimana untuk $P(x, y)$

$$x = x + dx$$

$$y = y + dy \dots\dots\dots(1)$$

untuk dx dan dy adalah besarnya perpindahan dari partikel (r) yang berbeda untuk setiap partikel per satuan waktu.

Periode Simulasi

Simulasi akan dilakukan pada interval waktu 0 sampai 200 hari, dimana setiap periode satu hari dilakukan pergerakan 10 iterasi. Maka pergerakan akan dilakukan dalam loop sebesar 2000 untuk periode 200 hari.

Perlakuan terhadap sistem dalam memodelkan PPKM

Dalam kasus adanya pembatasan kegiatan dimodelkan sebagai partikel yang diam. Partikel yang diam adalah partikel yang melakukan pembatasan kegiatan, sementara partikel lainnya tetap bergerak secara bebas. Dalam simulasi populasi yang melakukan pppkm dimodelkan sebagai

$$x = x + dx$$

$$y = y + dy \dots\dots\dots(2)$$

dimana dx dan dy bernilai 0.

Batasan Gerak

Dalam simulasi dilakukannya simulasi dengan area 1 km dimodelkan sebagai persegi dengan sisi 1 satuan panjang dimana populasi tertutup tidak ada yang keluar dari batas 1x1. Sehingga jika perpindahan menghasilkan posisi x

atau y yang lebih besar dari 1 ataupun lebih kecil dari 0 akan dimodelkan untuk memantul, yang secara matematis dirumuskan sebagai

$$\begin{aligned} x &= x - 2\text{int}(x)(|x| - \max(0, \text{int}(x))); \\ y &= y - 2\text{int}(y)(|y| - \max(0, \text{int}(y))); \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

dengan x' dan y' merupakan posisi setelah terjadi perpindahan yang menghasilkan x atau y yang lebih besar 1 atau lebih kecil 0.

Model Epidemi

Proses selanjutnya yang harus dibangun setelah adanya gerak Brown adalah proses epidemi. Dimana dalam proses ini akan dibangun proses terjadinya infeksi dan kesembuhan setelah terjadinya infeksi. Dalam membangun proses infeksi dibutuhkan beberapa komponen, diantaranya

Jarak Terjadinya Infeksi

Proses terjadinya infeksi terjadi setelah adanya kontak yang terjadi antara individu yang sehat dan sakit. Interaksi antara dua populasi ini dapat terjadi dalam jarak tertentu. Seperti yang dijelaskan pada tinjauan pustaka jarak terjadinya infeksi adalah 2,4 meter. Maka dalam skala simulasi, 2.4 meter dijadikan menjadi 0.0024.

Jarak Antar Partikel

Jarak merupakan hal yang sangat vital dalam simulasi yang dilakukan, sebab peluang terjadinya infeksi dari individu yang terinfeksi dan yang sehat tergantung dari jarak dari kedua individu tersebut. Jarak dari dua titik dapat dihitung dengan

$$dist = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \dots\dots\dots(4)$$

Durasi Infeksi

Dalam durasi individu menjadi populasi yang terinfeksi, setelah adanya infeksi dibutuhkan waktu inkubasi virus sebanyak dua minggu. Kemudian setelah inkubasi terjadi proses penyembuhan dari pasien beragam, namun umumnya seseorang sembuh pada waktu dua minggu. Dengan demikian individu terinfeksi akan menjadi sembuh setelah 28 hari.

Peluang Infeksi

Probabilitas infeksi adalah fungsi mutlak dari jarak antara dua individu dan jarak terjadinya infeksi. Probabilitas infeksi yang digunakan adalah probabilitas infeksi dari jurnal Particle modeling of the spreading of coronavirus disease (COVID-19) oleh De-Leon, yang mana dalam hal ini diasumsikan setiap kontak yang terjadi dengan orang yang terinfeksi dapat dijadikan sebagai fungsi Gauss untuk terjadinya infeksi. Fungsi Gauss melibatkan jarak, kondisi orang yang terinfeksi dan interaksi sosial.

$$\begin{aligned} P_i &= \text{int} \left(\sum_{j=1}^{n_{sakit}} P_{ij} + \xi \right) \\ &= \text{int} \left(\sum_{j=1}^{n_{sakit}} \exp \left(-\frac{(dist)^2}{2(JarakInfeksi)^2} \right) + \xi \right) \end{aligned} \dots\dots\dots(5)$$

dimana ξ adalah bilangan acak antara 0 hingga 1.

Batasan Infeksi

Dalam simulasi yang dilakukan, setiap yang individu yang sembuh dan meninggal dimodelkan tidak dapat kembali terinfeksi. Sehingga pergerakan dari individu yang sudah sembuh/meninggal sudah tidak memiliki pengaruh ke sistem baik bergerak maupun diam.

METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penelitian kepustakaan kepustakaan (*library research*) dan kemudian melakukan penelitian implementasi perangkat lunak. Riset kepustakaan atau biasa disebut studi pustaka adalah rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian. Penelitian kepustakaan atau studi literatur yaitu pencarian dengan cara penelaahan terhadap beberapa literatur yang berhubungan dengan topik pembahasan, informasi untuk penelitian ini berasal dari buku referensi, jurnal, serta definisi dan teorema yang berkenaan dengan topik pembahasan. Kemudian, implementasi merupakan tahap membangun rancangan sistem yang telah dibuat. Pada tahapan ini merealisasikan apa yang terdapat pada tahapan sebelumnya, sehingga menjadi sebuah sistem yang sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Pelaksanaan implementasi dilakukan dengan perangkat lunak Matlab.

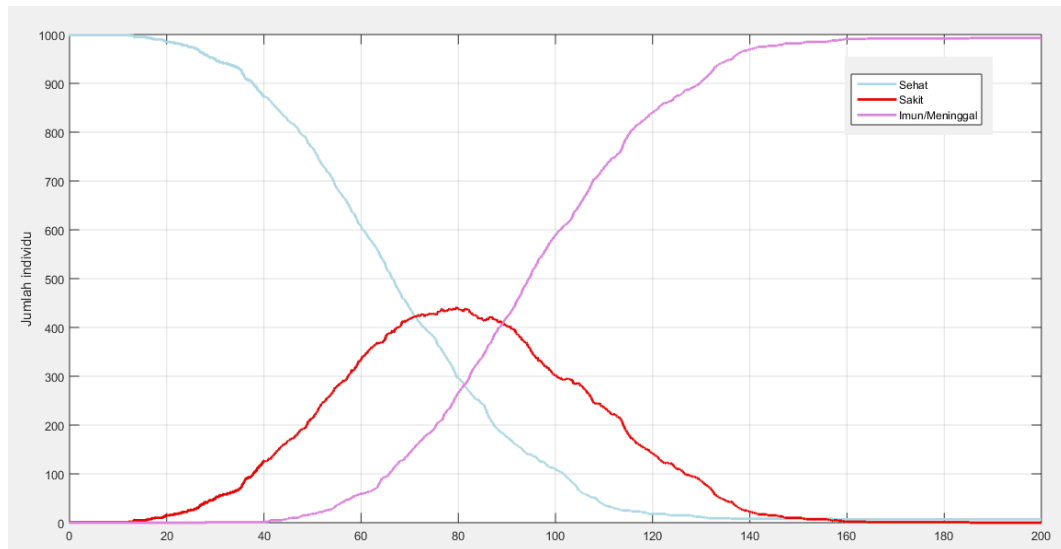
HASIL PENELITIAN

Hasil Simulasi

Model gerak Brown dan proses epidemi dari sistem sudah dimodelkan dalam program simulasi. Dalam setiap skenario seluruh parameter sesuai sebagaimana dijelaskan pada model gerak Brown dan model epidemi. Hasil simulasi yang diperoleh akan ditunjukkan pada gambar-gambar berikut dimana setiap skenario akan ditampilkan beberapa plot simulasi untuk beberapa iterasi, dan grafik keadaan sistem dengan perlakuan-perlakuan yang ditentukan.

Skenario 1 : Tanpa ada PPKM

Dalam skenario pertama tidak ada dilakukan perlakuan khusus untuk sistem. Partikel bebas bergerak selama sistem berjalan dimana setiap iterasi terdapat pergerakan untuk setiap partikel. Pada simulasi Untuk hasil yang lebih detail dapat dilihat pada gambar, setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut

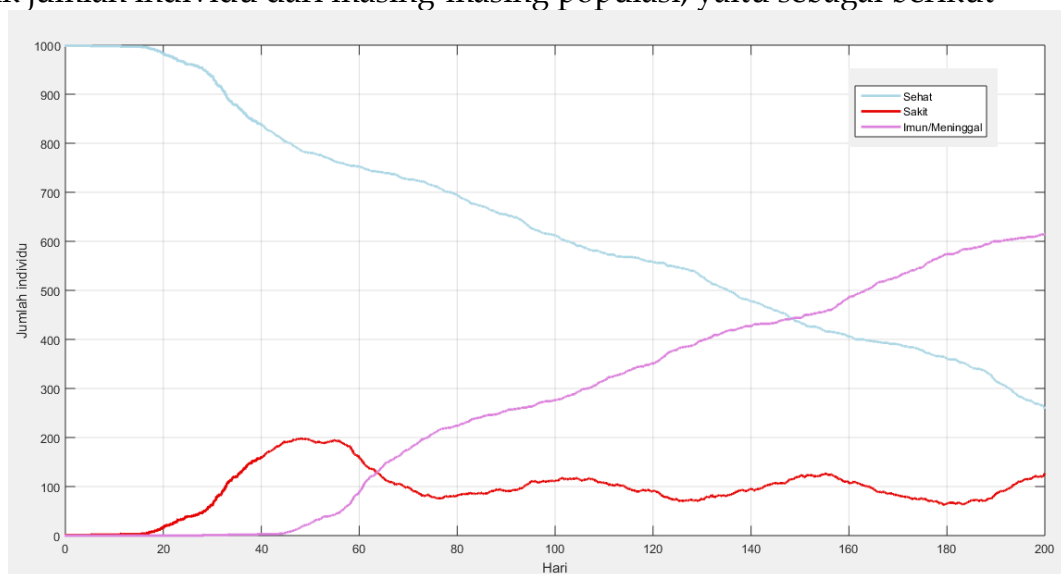


Gambar 1. Grafik Skenario 1

Dalam simulasi ini dapat dilihat bahwa puncak dari kasus infeksi terjadi pada hari ke 80, dengan jumlah kasus berada antara interval 400 hingga 500 kasus. Hal ini menunjukkan tidak adanya penanganan terhadap pandemi akan menyebabkan cepatnya penularan antar individu. Di hari ke 160 populasi sembuh/meninggal(ungu) sudah mencapai kurang lebih 1000 kasus. Pada skenario ini populasi sehat terus menurun hingga menuju 0.

Skenario 2 : PPKM setelah 10 persen populasi terinfeksi

Dalam skenario kedua ada dilakukan perlakuan khusus untuk sistem. Partikel bebas bergerak hingga jumlah kasus mencapai 10 persen dari keseluruhan sistem. Dalam simulasi ini 10 persen dari sistem adalah 100 individu. Jika dalam simulasi terdapat 100 infeksi maka 100 partikel yang sakit akan menjadi diam, akan tetapi partikel lainnya tetap bergerak sehingga memungkinkan terjadinya infeksi terhadap individu sehat. Apabila terdapat jumlah infeksi 10 persen berulang maka dilakukan kembali pembatasan kepada 100 partikel yang terinfeksi. Setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut

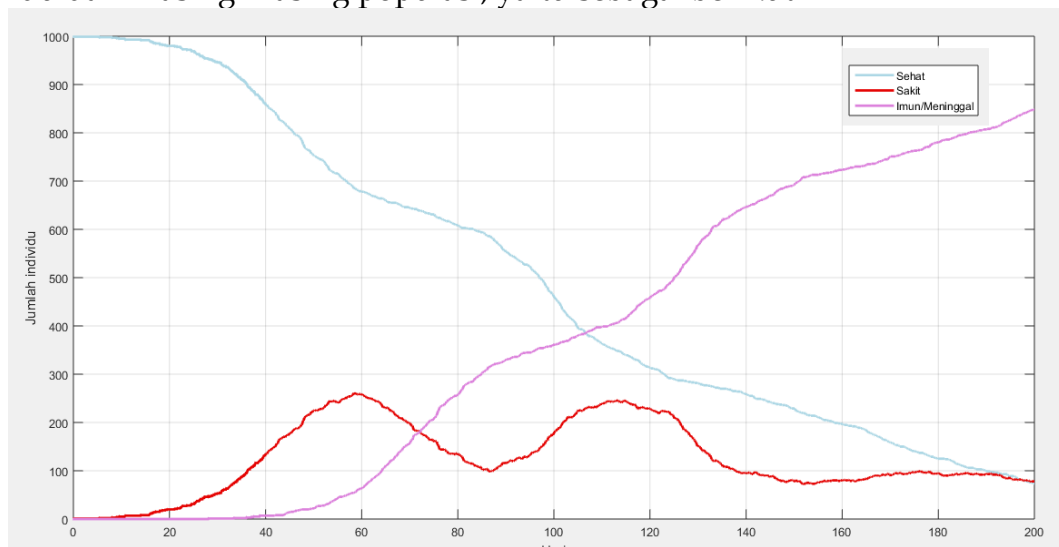


Gambar 2. Grafik Skenario 2

Dalam skenario ini grafik menunjukkan bahwa puncak dari kasus infeksi berada pada 200 kasus, pada hari ke-50. Meskipun pada saat menyentuh 100 kasus pertama dilakukan pembatasan kegiatan, tetap saja kasus menunjukkan tren naik hingga mencapai puncak kasus dikarenakan walaupun 100 orang terinfeksi diam pada sistem, partikel lainnya dapat bergerak bebas sehingga dapat terjadi infeksi juga. Hingga simulasi berakhir dihari ke-200 terjadi pembatasan kegiatan sebanyak 5 kali. Akan tetapi, kenaikan dari kasus lebih sedikit dan mencegah terjadinya puncak kasus seperti puncak kasus pertama.

Skenario 3 : PPKM setelah 20 persen populasi terinfeksi

Dalam skenario ketiga ada dilakukan perlakuan khusus untuk sistem. Partikel bebas bergerak hingga jumlah kasus mencapai 20 persen dari keseluruhan sistem. Dalam simulasi ini 20 persen dari sistem adalah 200 individu. Jika dalam simulasi terdapat 200 infeksi maka 200 partikel yang sakit akan menjadi diam, akan tetapi partikel lainnya tetap bergerak sehingga memungkinkan terjadinya infeksi terhadap individu sehat. Apabila terdapat jumlah infeksi 20 persen berulang maka pembatasan kepada 200 partikel kembali dilakukan. Setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut



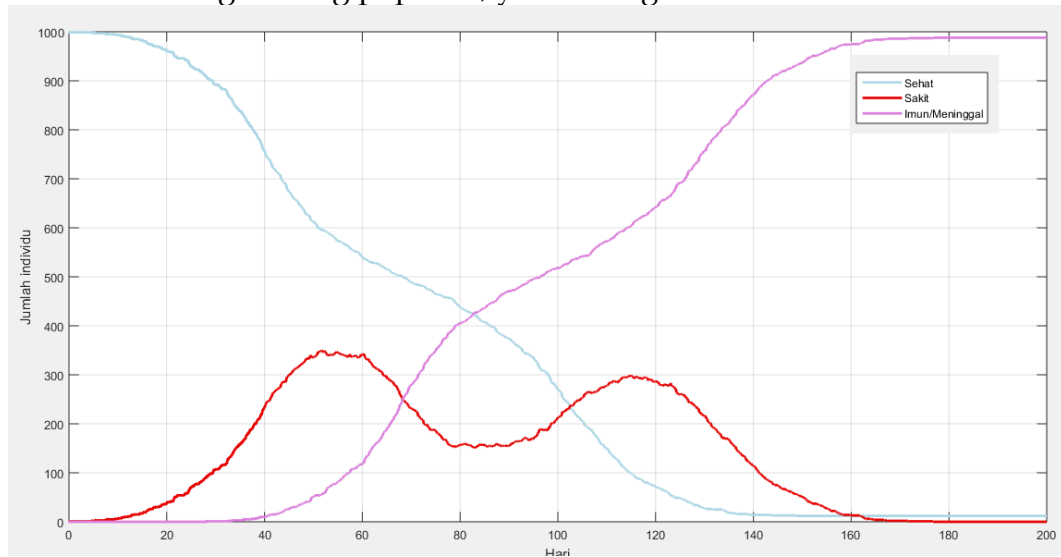
Gambar 3. Grafik Skenario 3

Dalam skenario ini grafik menunjukkan bahwa puncak dari kasus infeksi hampir menyentuh 300 kasus, pada hari ke-60. Kemudian pada interval 100 hingga 120 hari terjadi puncak kasus kedua yang hampir identik dengan puncak kasus pertama. Walaupun puncak kasus tidak setinggi skenario pertama namun adanya dua kali lonjakan kasus bukan hal yang baik. Setelah terjadinya puncak kedua total kasus konstan diangka 100 kasus hingga akhir simulasi.

Skenario 4 : PPKM setelah 30 persen populasi terinfeksi

Dalam skenario keempat ada dilakukan perlakuan khusus untuk sistem. Partikel bebas bergerak hingga jumlah kasus mencapai 30 persen dari keseluruhan sistem. Dalam simulasi ini 30 persen dari sistem adalah 300

individu. Jika dalam simulasi terdapat 300 infeksi maka 300 partikel yang sakit akan menjadi diam, akan tetapi partikel lainnya tetap bergerak sehingga memungkinkan terjadinya infeksi terhadap individu sehat. Apabila terdapat jumlah infeksi 30 persen berulang maka pembatasan kepada 300 partikel kembali dilakukan. Setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut

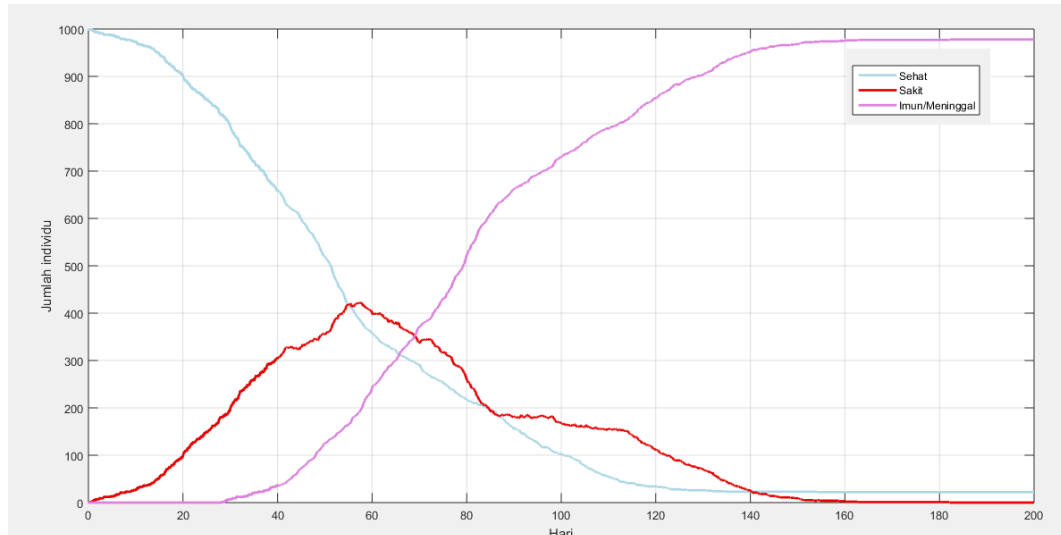


Gambar 4. Grafik Skenario 4

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa pada 50 hari pertama jumlah kasus terus naik dilakukan PPKM hingga mencapai lebih dari 300 kasus. Meskipun mencapai puncak kasus pada waktu tersebut pada hari ke 60 jumlah kasus mulai turun. Meskipun untuk kedua kalinya terjadi tren naik hingga menyentuh angka 300 kasus sehingga dalam skenario ini hanya terjadi PPKM satu kali. Hal ini menyebabkan banyaknya orang yang sudah terinfeksi populasi sembuh/meninggal naik hingga mendekati 1000 pada akhir simulasi.

Skenario 5 : PPKM setelah 40 persen populasi terinfeksi

Dalam skenario ini partikel bebas bergerak hingga jumlah kasus mencapai 40 persen dari keseluruhan sistem. Dalam simulasi ini 40 persen dari sistem adalah 400 individu. Jika dalam simulasi terdapat 400 infeksi maka 400 partikel yang sakit akan menjadi diam, akan tetapi partikel lainnya tetap bergerak sehingga memungkinkan terjadinya infeksi terhadap individu sehat. Setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut

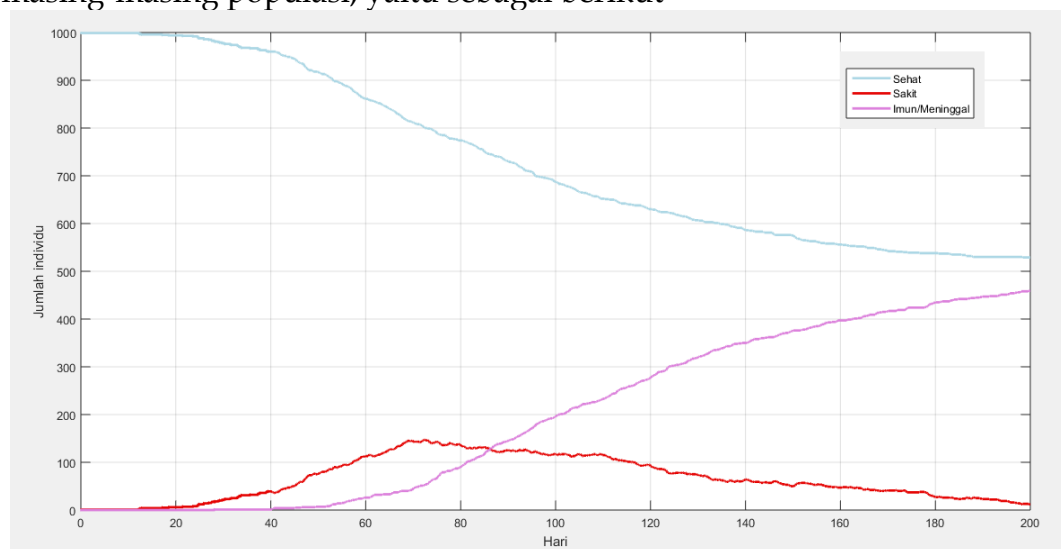


Gambar 5. Grafik Skenario 5

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pada interval hari ke 50 hingga 60 terjadi puncak kasus dengan 400 kasus. Setelah puncak kasus, PPKM sedikit menurunkan jumlah kasus dibanding dengan skenario pertama. Namun lonjakan pada 60 hari pertama akan sulit ditangani. Pada hari ke 150 jumlah individu yang sakit sudah mencapai 0.

Skenario 6 : PPKM pada Awal Infeksi Untuk 50 Persen Populasi

Dalam skenario ini akan dilakukan perlakuan dimana setengah dari populasi tidak akan bergerak, sementara setengah lainnya dapat bergerak bebas. Skenario ini akan menunjukkan penanganan sebelum terjadinya lompatan kasus. Setelah dilakukannya simulasi dapat ditampilkan grafik jumlah individu dari masing-masing populasi, yaitu sebagai berikut



Gambar 6. Grafik Skenario 6

Pada grafik diatas dapat diperhatikan bahwa pada hari ke 70 mencapai puncak kasus dengan total kasus dibawah 200 kasus. Setelah puncak kasus, jumlah kasus terus menrurun hingga mendekati 0 kasus pada akhir simulasi. Dapat dikatakan bahwa skenario ini adalah skenario paling baik dalam menjaga kasus untuk tidak melonjak tajam. Dalam kehidupan nyata, hal ini yang

tentunya diharapkan agar tidak adanya pucak kasus yang tinggi sehingga penanganan terhadap kasus yang terinfeksi lebih baik baik dari segi tenaga medis, fasilitas kesehatan dan lainnya.

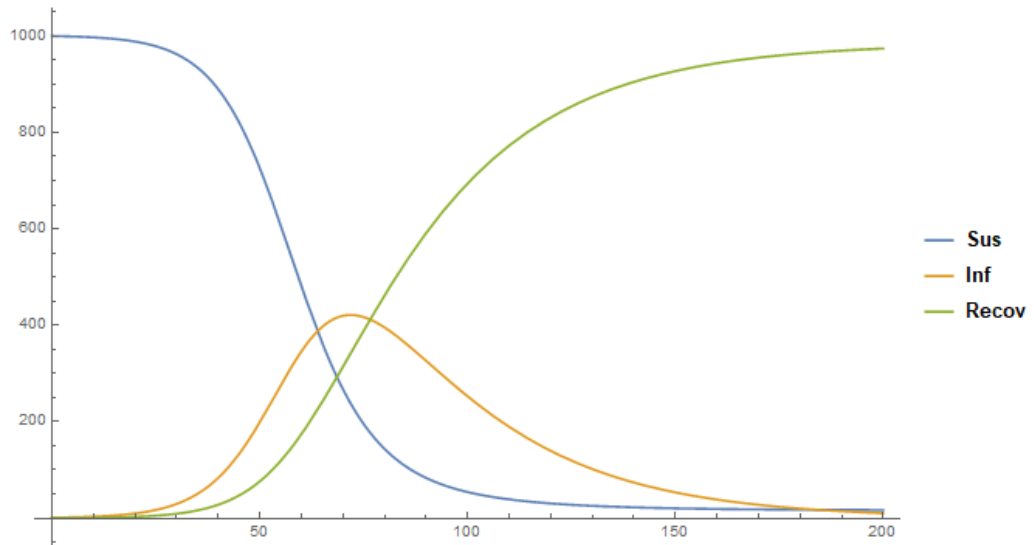
PEMBAHASAN

Bagian Hasil simulasi dapat dibandingkan dengan pemodelan sejenis. Salah satu model yang sering digunakan dalam memodelkan penyebaran penyakit adalah model SIR. Model SIR membagi sistem menjadi tiga populasi yaitu Susceptible, Infected dan Recover/Remove. Secara sederhana model SIR dapat dirumuskan sebagai,

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\alpha SI \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha SI - \beta I \\ \frac{dR}{dt} &= \beta I \end{aligned} \dots\dots\dots(6)$$

dengan α adalah laju infeksi dan β adalah laju kesembuhan.

Dengan model tersebut dapat dibangun simulasi serupa dengan nilai α adalah 0.00015 dan β bernilai 0.0357. Maka akan dihasilkan,



Gambar 7. Grafik Model SIR

Dalam simulasi yang dibangun jarak infeksi berbanding lurus dengan peluang infeksi dimana semakin besar nilai jarak infeksi dapat peluang infeksi juga akan semakin besar. Sehingga dalam perbandingan model ini dapat dikatakan bahwa jarak infeksi merupakan representasi dari nilai laju infeksi Begitu pula untuk laju kesembuhan pada model SIR dapat diwakilkan dengan durasi infeksi. Sehingga mengubah jarak infeksi dan durasi infeksi akan berpengaruh kepada kelandaian dari kurva infeksi.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Hasil penelitian menunjukkan, Model gerak Brown dengan posisi P dan perpindahan r sebagai gerak untuk menyimulasikan penyebaran Covid-19

dengan peluang infeksi merupakan fungsi mutlak dari jarak antara dua individu dan jarak terjadinya infeksi dapat dimodelkan dengan

$$P_i = \text{int} \left(\sum_{j=1}^{n_{\text{sakit}}} \exp \left(-\frac{(\text{jarak})^2}{2(0.0024)^2} \right) + \xi \right)$$

dimana ξ adalah bilangan acak interval 0 hingga 1. Dengan populasi sakit akan menjadi sembuh/meninggal pada hari ke 28. Hasil simulasi juga menunjukkan kebijakan aktivitas masyarakat yang paling baik digunakan dalam mengurangi jumlah infeksi dalam suatu periode adalah dengan melakukan pembatasan aktivitas sedini mungkin. Semakin cepat pembatasan kegiatan dilakukan maka jumlah kasus akan lebih terkendali. Terlihat dari hasil simulasi, bahwa skenario 6 yaitu dengan melakukan pembatasan kegiatan pada awal terjadinya infeksi untuk 50 persen sistem adalah skenario yang paling efektif mengurangi laju infeksi sehingga puncak kasus infeksi lebih dapat terkendalikan dan lonjakan kasus lebih stabil dibandingkan dengan skenario lainnya.

PENELITIAN LANJUTAN

Banyak parameter yang dapat diubah dari penelitian ini membuat penelitian ini dapat dikembangkan untuk berbagai kasus epidemi lainnya sehingga disarankan untuk pembaca melanjutkan penelitian ini dengan mengkaji pengaruh mengubah besarnya besar perpindahan setiap iterasi. Penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan mengubah parameter jarak terjadinya infeksi yang menyebabkan perbedaan peluang infeksi yang dapat mewakili menggunakan masker. Penelitian selanjutnya juga dapat meneliti jarak minimum yang harus dijaga untuk dapat meminimalkan jumlah infeksi yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan masukan serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alijoyo, Antonius, B. W. d. I. J., (2019): Monte Carlo Simulation, Center for Risk Management and Sustainability.
- Amalia, Lia, I. F. H., (2020): Analisis Gejala Klinis dan Peningkatan Kekebalan Tubuh Untuk Mencegah Penyakit Covid-19, ARTIKEL, 2(2), 71-76.
- Cahyono, E., (2013): Pemodelan Matematika, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Callaway, E., (2021): Fast-Spreading Covid Variant Can Elude Immune Responses, Nature, 589(7843), 500-502.
- Davenport, W. B., (1970): Probability and Random Processes, McGraw-Hill, United States America.
- Dbuok, Talib, D. D., (2020): On coughing and airborne droplet transmission to humans, Physics of Fluids, 32(5), 053310.
- De-Leon, Hilla, d. P. F., (2020): Particle modeling of the spreading of coronavirus disease (COVID-19), Physics of Fluids, 32(8), 087113.

- Hidayani, W. R., (2020): Faktor Faktor Risiko Yang Berhubungan Dengan COVID 19: Literature Review, *Jurnal Untuk Masyarakat Sehat*, 4(2), 120- 134.
- Karabay, A., Kuzdeuov, A., Ospanova, S., Lewis, M., dan Varol, H. A., (2021): A Vaccination Simulator for COVID-19: Effective and Sterilizing Immunization Cases, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1-1.
- Kuzdeuov A, A. Karabay, D. B. B. I. H. A. V., (2021): A Particle-Based COVID-19 Simulator With Contact Tracing and Testing, *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 2, 111-117.
- Lima, L. S., (2021): Fractional Brownian motion analysis for epidemic spreading of diseases, *Research Article*, .
- Liu G, L. M., (2003): *Smoothed Particle Hydrodynamics- a meshfree particle method*, World Scientific Publishing, Singapura.
- Marconi, Umberto M. B., A. P. L. R. A. V., (2008): Fluctuation-Dissipation:Response Theory in Statistical Physics, *Physics repost*, 461(4-6), 111-195.
- Papoulis, A., (1985): *Probabilitas, Variabel Random, dan Proses Stokastik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Srinivasan, S.K. dan Mehata, K. M., (1981): *Probability and Random Processes*, Second Edition, McGraw-Hill, India.
- WHO (2020): *Coronavirus*, Retrieved from World Health Organization.
- Widarsono, T., (2005): *Tutorial Praktis Belajar Matlab*, Erlangga, Jakarta