

LAPORAN TUGAS BESAR SWARM INTELLIGENCE

MENYELIDIKI PENGARUH POPULASI YANG DI VAKSINASI TERHADAP

PREDIKSI COVID-19 MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM



Disusun Oleh :

KELOMPOK 1 RB

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. Nauval Heika Ghani | 120410085 |
| 2. Afwa Fuadi Nugraha | 121450019 |
| 3. Angelica Noviana | 121450064 |
| 4. Kirana Ratu Malhanny | 121450082 |
| 5. Audrey Ribka Desmonda M | 121450103 |
| 6. Anita Rahma Pramoda Cahyani | 121450154 |

PROGRAM STUDI SAINS DATA

FAKULTAS SAINS

INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

2024

LAPORAN TUGAS BESAR SWARM INTELLIGENCE

MENYELIDIKI PENGARUH POPULASI YANG DI VAKSINASI TERHADAP PREDIKSI COVID-19 MENGGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

**Nauval Heika Ghani¹⁾, Afwa Fuadi Nugraha²⁾, Angelica Noviana³⁾, Kirana Ratu
Malhanny⁴⁾, Audrey Ribka Desmonda M⁵⁾, Anita Rahma Pramoda Cahyani⁶⁾.**

Program Studi Sains Data, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera

*Email : nauval.120410085@student.itera.ac.id¹⁾, afwa.121450019@student.itera.ac.id²⁾,
angelica.121450064@student.itera.ac.id³⁾, kirana.121450082@student.itera.ac.id⁴⁾,
audrey.121450103@student.itera.ac.id⁵⁾, anita.121450154@student.itera.ac.id⁶⁾*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi COVID-19 yang akurat dengan mengintegrasikan data vaksinasi secara dinamis menggunakan Firefly Algorithm (FA). FA, yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang dalam mencari pasangan, digunakan untuk mengoptimalkan parameter model prediksi yang memperhitungkan pengaruh populasi yang divaksinasi. Data kasus COVID-19 dan data vaksinasi dari 51 negara bagian Amerika Serikat diproses dan dimodelkan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan (ANN) yang dikombinasikan dengan FA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi FA mencapai akurasi total sebesar 93,7%. Temuan ini mengkuantifikasi dampak tingkat populasi yang divaksinasi terhadap prediksi kasus COVID-19 dan memberikan wawasan untuk meningkatkan cakupan vaksinasi dan strategi pengendalian pandemi yang lebih efektif.

Kata kunci: COVID-19, Firefly Algorithm (FA), Vaksinasi, Prediksi, Jaringan Saraf Tiruan (ANN), Optimasi Parameter.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pandemi COVID-19 telah memberikan tantangan besar bagi sistem kesehatan dan ekonomi global sejak awal kemunculannya pada akhir 2019. Penyebaran virus SARS-CoV-2 yang cepat dan tingkat keparahan yang beragam telah menyebabkan lebih dari 680 juta kasus terkonfirmasi dan lebih dari 6,8 juta kematian di seluruh dunia hingga Mei 2024 [1]. Untuk memerangi pandemi ini, berbagai upaya telah dilakukan, termasuk pembatasan sosial, pelacakan kontak, dan pengembangan vaksin.

Vaksinasi dianggap sebagai salah satu strategi kunci dalam mengendalikan penyebaran virus dan mencapai kekebalan kelompok (herd immunity) [2]. Sejak awal 2021, berbagai jenis vaksin COVID-19 telah dikembangkan dan disetujui untuk digunakan secara luas, seperti vaksin

mRNA, vaksin vektor virus, serta vaksin inaktivasi virus [3]. Meskipun ketersediaan vaksin merupakan langkah penting, keberhasilan program vaksinasi juga bergantung pada tingkat partisipasi masyarakat dan strategi distribusi yang efektif [4].

Pemodelan matematika dan simulasi komputer telah memainkan peran penting dalam memahami dinamika penyebaran COVID-19 dan mengevaluasi strategi intervensi. Namun, sebagian besar model yang ada saat ini tidak memasukkan faktor vaksinasi secara eksplisit atau hanya mempertimbangkan tingkat vaksinasi yang konstan. Dalam penelitian ini, kami berupaya untuk mengembangkan model prediksi yang lebih akurat dengan mengintegrasikan data vaksinasi secara dinamis menggunakan metode optimasi Firefly Algorithm (FA).

FA adalah metode optimasi berbasis metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang dalam mencari pasangan [5]. Algoritma ini telah terbukti efektif dalam menyelesaikan berbagai masalah optimasi kompleks, termasuk dalam bidang kesehatan dan epidemiologi. Dengan menggunakan FA, kami berharap dapat mengoptimalkan parameter model prediksi COVID-19 yang memperhitungkan pengaruh populasi yang divaksinasi, sehingga memberikan wawasan baru dan membantu pengambilan keputusan yang lebih baik dalam upaya pengendalian pandemi.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dijelaskan maka didapatkanlah rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mengembangkan model prediksi COVID-19 yang akurat dengan mengintegrasikan data vaksinasi secara dinamis?
2. Bagaimana mengoptimalkan parameter model prediksi COVID-19 yang memperhitungkan pengaruh populasi yang divaksinasi menggunakan Firefly Algorithm (FA)?
3. Bagaimana menyelidiki dan mengkuantifikasi dampak tingkat populasi yang divaksinasi terhadap prediksi kasus COVID-19?
4. Bagaimana memanfaatkan hasil penelitian untuk memberikan rekomendasi yang tepat dalam meningkatkan cakupan vaksinasi dan strategi pengendalian pandemi yang lebih efektif?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang terdapat pada rumusan masalah, tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model prediksi COVID-19 yang mengintegrasikan data vaksinasi secara dinamis untuk meningkatkan akurasi prediksi.
2. Mengoptimalkan parameter model prediksi COVID-19 yang memperhitungkan pengaruh populasi yang divaksinasi menggunakan metode optimasi Firefly Algorithm (FA).
3. Menyelidiki dan mengkuantifikasi dampak tingkat populasi yang divaksinasi terhadap prediksi kasus COVID-19, termasuk peningkatan atau penurunan kasus yang diharapkan.
4. Menganalisis hubungan antara tingkat populasi yang divaksinasi dan efektivitas pengendalian pandemi COVID-19.

2. LANDASAN TEORI

2.1 COVID-19

Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh virus SARS-CoV-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2), yang merupakan anggota keluarga virus corona (Coronaviridae) [6]. Virus ini pertama kali diidentifikasi di Wuhan, Cina, pada akhir tahun 2019 dan dengan cepat menyebar ke seluruh dunia, menyebabkan pandemi global yang berlangsung hingga saat ini.

SARS-CoV-2 merupakan virus RNA untai tunggal positif yang memiliki struktur seperti mahkota (corona) di permukaannya [7]. Virus ini memiliki kemiripan genetik dengan virus SARS-CoV (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus) yang menyebabkan wabah SARS pada tahun 2002-2003, namun memiliki perbedaan dalam beberapa aspek seperti struktur protein dan pola penularan [8].

COVID-19 dapat ditularkan melalui droplet (percikan) yang dihasilkan saat batuk, bersin, atau berbicara dari individu yang terinfeksi [9]. Virus ini juga dapat menular melalui kontak langsung dengan permukaan atau benda yang terkontaminasi, dan kemudian menyentuh mulut, hidung, atau mata. Penularan juga dapat terjadi melalui aerosol (partikel yang lebih kecil dan lebih ringan) dalam lingkungan yang padat dan memiliki ventilasi yang buruk [10].

Gejala COVID-19 dapat bervariasi, mulai dari gejala ringan hingga parah. Gejala umum yang sering dilaporkan meliputi demam, batuk kering, kelelahan, kehilangan indera penciuman dan perasa, serta kesulitan bernapas pada kasus yang lebih parah [11]. Individu dengan kondisi medis yang sudah ada sebelumnya, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, dan penyakit paru-paru kronis, berisiko lebih tinggi mengalami komplikasi yang lebih serius [12].

Pandemi COVID-19 telah memberikan dampak yang sangat besar dalam berbagai aspek kehidupan manusia di seluruh dunia. Selain krisis kesehatan masyarakat yang signifikan, pandemi ini juga berdampak pada perekonomian global, sistem pendidikan, kehidupan sosial, dan aspek-aspek lainnya [13]. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengendalikan pandemi, seperti pembatasan sosial, pelacakan kontak, pengembangan dan distribusi vaksin, serta peningkatan kapasitas pelayanan kesehatan.

2.2 *Firefly Algorithm*

Firefly Algorithm (FA) adalah metode optimasi berbasis metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku kunang-kunang (fireflies) dalam mencari pasangan. FA dikembangkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2008 dan telah banyak diaplikasikan dalam berbagai masalah optimasi di berbagai bidang, seperti teknik, industri, dan komputasi.

Prinsip Dasar FA

Firefly Algorithm didasarkan pada dua prinsip utama yang mengatur perilaku kunang-kunang dalam alam, yaitu:

1. Bioluminescence: Kunang-kunang akan tertarik dan bergerak menuju kunang-kunang lain yang lebih terang. Kecerahan kunang-kunang dalam algoritma ini mewakili nilai fungsi objektif yang ingin dioptimalkan.
2. Ketertarikan: Ketertarikan kunang-kunang terhadap kunang-kunang lain yang lebih terang akan berkurang seiring dengan bertambahnya jarak di antara mereka. Setiap kunang-kunang akan bergerak secara acak jika tidak ada kunang-kunang lain yang lebih terang di sekitarnya.

Formulasi Matematika

Dalam FA, populasi kunang-kunang direpresentasikan sebagai sekumpulan solusi potensial dalam ruang pencarian. Setiap kunang-kunang memiliki posisi dan kecerahan

tertentu yang dihitung berdasarkan fungsi objektif yang dievaluasi. Pergerakan kunang-kunang ke arah kunang-kunang lain yang lebih terang ditentukan oleh dua komponen utama:

1. Komponen Daya Tarik (*Attractiveness*): Daya tarik kunang-kunang dihitung berdasarkan jarak antara dua kunang-kunang. Semakin dekat jaraknya, semakin besar daya tariknya.
2. Komponen Pergerakan Acak (*Random Movement*): Komponen ini digunakan untuk memastikan eksplorasi ruang pencarian secara menyeluruh dan menghindari terjebak pada optimum lokal.

Formulasi matematika dari FA melibatkan persamaan untuk memperbarui posisi kunang-kunang berdasarkan daya tarik dan pergerakan acak. Persamaan ini diturunkan dari hukum Newton tentang gaya tarik-menarik dan konsep gerak Brown (*random walk*).

Kelebihan FA

FA memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya menjadi metode optimasi yang populer dan banyak diaplikasikan, antara lain:

1. Kemampuan Eksplorasi dan Eksploitasi: FA mampu menjelajahi ruang pencarian secara luas (eksplorasi) dan mengeksplorasi daerah yang menjanjikan secara efisien.
2. Konvergensi Cepat: FA cenderung memiliki kecepatan konvergensi yang lebih cepat dibandingkan beberapa metode optimasi lain.
3. Sederhana dan Mudah Diimplementasikan: FA memiliki konsep yang sederhana dan relatif mudah untuk diimplementasikan dalam berbagai masalah optimasi.
4. Fleksibilitas: FA dapat dimodifikasi atau dikombinasikan dengan metode lain untuk meningkatkan kinerja dalam masalah tertentu.

3. METODE

3.1 Pemrosesan Data

Dalam penelitian ini, kami menggunakan dua dataset yang dapat diakses secara bebas, yaitu data kasus COVID-19 yang dipisahkan berdasarkan negara bagian (dengan koordinat geografis) yang diunggah oleh Center for Systems Science and Engineering

(Johns Hopkins University, [GitHub](#)) dan data vaksinasi untuk setiap negara bagian yang disiapkan oleh Our World in Data ([Halaman Github](#)). Pada awalnya, dataset kota-kota digabungkan untuk setiap negara bagian secara harian. Gambar 1. menggambarkan data COVID-19 yang telah diproses untuk masing-masing negara bagian. Variabilitas dalam cakupan data merusak kemampuan pemetaan dari Jaringan ANN. Selain itu, untuk mencapai konvergensi yang tepat, menghitung kinerja bersih serta menghindari konsentrasi data yang tinggi di beberapa node, data harus distandarisasi antara 0 dan 1 [14,15]; oleh karena itu, dengan menggunakan Persamaan (1) kami menormalkan semua data dalam spektrum antara nol dan satu dengan mengurangkannya dari nilai minimum dan membagi :

$$Z = \frac{Z - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \quad \text{Persamaan (1)}$$

Sebanyak 75% dari dataset dipilih secara acak untuk proses pelatihan. Sisanya 25% digunakan untuk fase pengujian juga. Gambar 1 merangkum prosedur pemrosesan data yang digunakan dalam studi ini.

3.2 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Network/ANN) meniru kerangka saraf otak manusia. ANN terdiri dari banyak neuron yang terhubung satu sama lain dengan susunan tertentu. ANN mampu mengenali pola non-linear dan memetakan data input ke data output. Setiap ANN memiliki tiga lapisan independen, yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi, dan lapisan output [16]. Sesuai dengan itu, data di lapisan input dikirim ke lapisan tersembunyi. Di lapisan tersembunyi, neuron-neuron pemrosesan memproses sinyal-sinyal yang masuk dari lapisan sebelumnya. Oleh karena itu, dalam pemodelan ANN, penentuan jumlah optimal neuron tersembunyi sangatlah penting. Terakhir, lapisan output menyajikan hasil akhir dari jaringan.

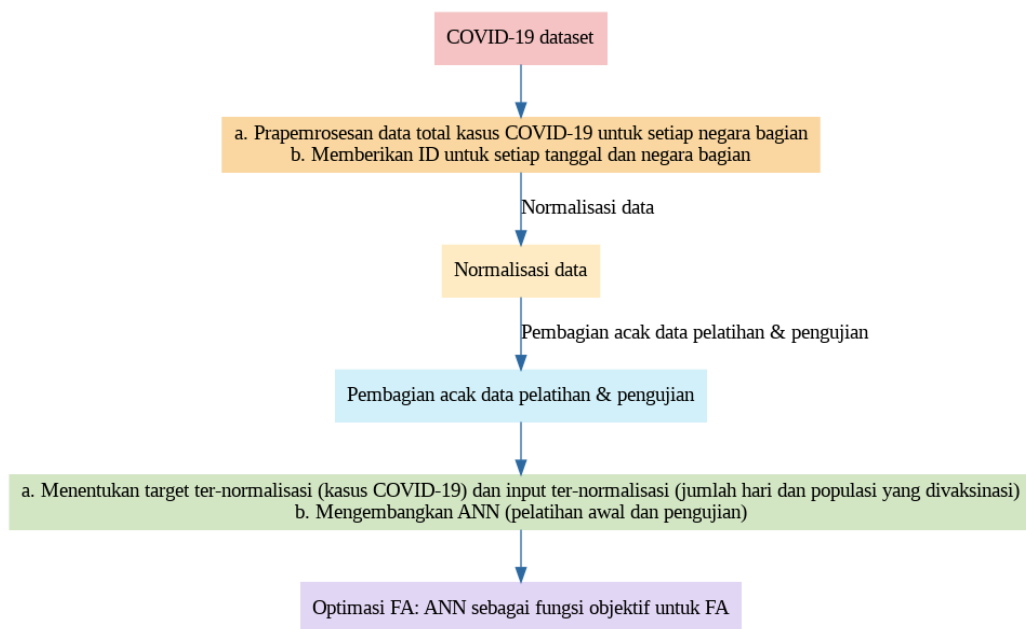
Secara umum, ANN harus dilatih dengan algoritma backpropagation yang sesuai. Dalam proses pembelajaran, pertama-tama, input yang diperoleh diproses di lapisan tersembunyi. Kedua, bobot output dari input yang diproses akan dihasilkan untuk setiap unit pemrosesan. Ketiga, output yang dihasilkan akan dicocokkan dengan output target

dan bias akan dihitung di lapisan output. Akhirnya, bias akan kembali ke lapisan tersembunyi sebagai umpan balik, membantu ANN untuk mengoptimalkan bobot yang dihasilkan.

Untuk pelatihan, algoritma Levenberg–Marquardt (LM) banyak diterapkan. Algoritma LM adalah algoritma pembelajaran backpropagation tercepat yang telah menunjukkan fleksibilitas tinggi dalam menyelesaikan berbagai masalah [17]. Faktanya, dalam algoritma LM, perhitungan matriks Hessian dihambat. Oleh karena itu, LM adalah algoritma backpropagation tercepat. Secara keseluruhan, output dari setiap neuron adalah jumlah berbobot dari input ditambah dengan nilai bias:

$$y_j = f \left(\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i + B_j \right) \quad \text{Persamaan (2)}$$

Dalam Persamaan (2), y adalah output dari neuron ke- j , B dan W adalah bias dan bobot masing - masing, X_i mewakili sinyal masuk dari neuron ke- i , dan akhirnya f adalah fungsi transfer sigmoid yaitu, $\frac{1}{1 + \exp(-y)}$. Dalam penelitian ini, kami menggunakan algoritma LM untuk melatih ANN. Juga, satu lapisan tersembunyi dipilih. Telah terbukti bahwa satu lapisan tersembunyi.



Gambar 1. Model Flowchart yang digunakan dalam penelitian ini.

3.3 Algoritma Firefly

Algoritma Firefly (FA) adalah algoritma metaheuristik yang berhasil diterapkan dalam berbagai bidang [18]. FA didasarkan pada kecerdasan gerombolan yang terinspirasi dari pola cahaya berkedip dari kunang-kunang tropis [19]. Kunang-kunang memancarkan banyak cahaya dengan beberapa pola idiosinkratis yang membantu mereka dalam mencari makanan, pasangan, serta dalam komunikasi sosial mereka. Secara teoritis, dalam pembentukan model matematika, tiga asumsi harus diterapkan [20,21]. Pertama, semua kunang-kunang bersifat uniseks. Aturan ini mengindikasikan bahwa daya tarik serangga tidak boleh dipengaruhi oleh jenis kelamin. Kedua, daya tarik sesuai dengan cahaya berkedip sedemikian rupa sehingga dengan meningkatnya jarak, cahaya berkedip dan daya tarik harus berkurang. Berdasarkan aturan ini, kunang-kunang yang lebih terang akan menarik kunang-kunang yang kurang terang, dan jika tidak ada kunang-kunang yang lebih terang, mereka akan bergerak secara acak. Ketiga, untuk memaksimalkan daya tarik, kecerahan dicapai dengan fungsi tujuan berdasarkan fisika optik. Secara keseluruhan, dalam FA, daya tarik kunang-kunang (β) adalah variabel yang bergantung pada koefisien serapan cahaya (γ) dan jarak kunang-kunang yang kurang terang dari kunang-kunang yang lebih terang atau sumber cahaya (r) :

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad \text{Persamaan (3)}$$

Dalam Persamaan (3), β_0 adalah daya tarik di mana jarak sama dengan nol. Setelah membuat kunang-kunang awal dan posisi mereka, perhitungan r sangat penting (lihat Persamaan (4)). Dalam hal ini, jarak Kartesian secara luas digunakan. Secara numerik :

$$r_{ij} = \sqrt{\sum_{n=1}^N (X_{in} - X_{jn})^2} \quad \text{Persamaan (4)}$$

Dimana X_{in} dan X_{jn} adalah vektor lokasi kunang - kunang i (kunang - kunang yang kurang terang) dan j (kunang - kunang yang lebih terang) pada dimensi ke - n , masing - masing. Oleh karena itu, dengan mendefinisikan r_{ij} , mobilitas i untuk j dapat diperoleh sebagai berikut :

$$X_{t+1}^i = X_t^i + \beta(r)(X_t^j - X_t^i) + \alpha \epsilon_i \quad \text{Persamaan (5)}$$

Dalam persamaan (5), α menyatakan koefisien acak ($\alpha \in [0, 1]$) dan ϵ dan t mewakili vektor variabel stokastik (diberikan oleh fungsi Gaussian) dan nomor iterasi, masing-masing. Berdasarkan Persamaan (5), kunang-kunang i dapat melakukan penjelajahan zona pencarian secara luas karena parameter randomisasi dimasukkan. Dikatakan bahwa $\beta_0 = 1$, $\alpha \in [0, 1]$, dan $\gamma = 1$ untuk sebagian besar kasus [20].

Secara ringkas, untuk pemodelan FA tahap awal adalah definisi fungsi tujuan dan pembentukan kunang-kunang awal. Kemudian, menciptakan koefisien awal diinginkan. Setelah penciptaan awal, daya tarik setiap koefisien dan tingkat kesalahannya dihitung. Pada tahap berikutnya, kembali koefisien baru akan diciptakan dan tingkat kesalahan akan dibandingkan dengan tingkat awalnya. Jika tingkat kesalahan lebih rendah dari sebelumnya (yaitu, solusi yang lebih baik), koefisien baru akan digantikan. Proses rekursif ini berlangsung sampai iterasi maksimum. Dengan demikian, koefisien diklasifikasikan berdasarkan indikator kesalahan standar dan jawaban optimal akan diutamakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Menentukan total kasus Covid 19 untuk setiap negara beserta codenya**

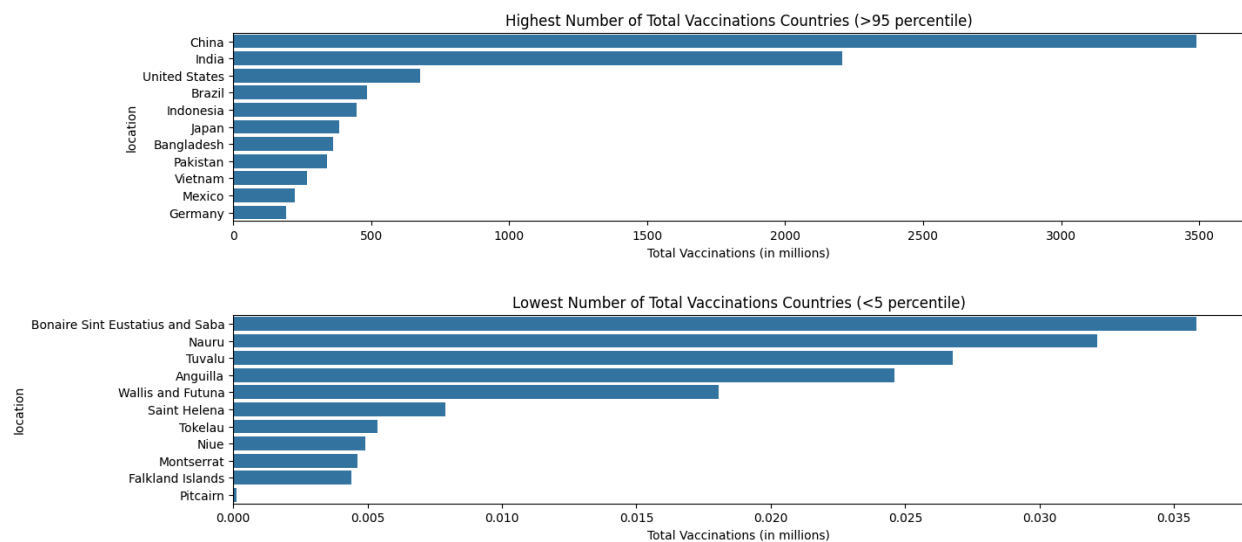
Kasus covid 19 dijelaskan pada 51 negara bagian yang berbeda. Kasus covid 19 disini menggambarkan bahwa populasi yang divaksinasi adalah penjelas utama dari COVID 19.

Location	Date	Total Vaccination
China	2023-02-09	3.491077e+09
India	2024-05-15	2.206867e+09
United States	2023-05-09	6.767288e+08
Brazil	2023-03-22	4.864364e+08
Indonesia	2023-11-23	4.481999e+08

...
Monsterrat	2022-12-16	4.619000e+03
Falkland Islands	2021-04-14	4.407000e+03
itcaim	2022-08-29	1.170000e+02

- **Visualisasi data Covid 19 pada setiap negara bagian**

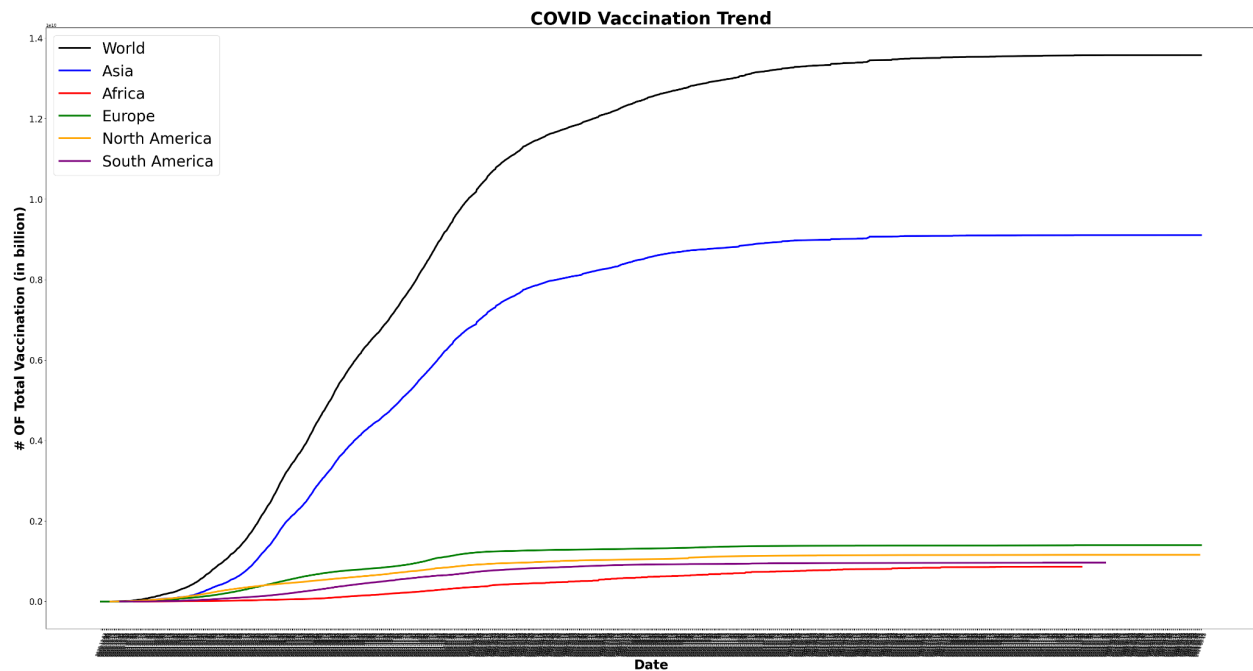
Penerima vaksinasi terbanyak terdapat di negar China disusul oleh negara India, Amerika, Brazil, dan Indonesia. Sedangkan untuk penerima vaksinasi terdikit terdapat di negara Eustatius disusul oleh negara Monsterrat, Falkland Inslands, Itcaim. Berikut dijelaskan angka penerima vaksinasi terbanyak dan terdikit setiap negara pada gambar dibawah :



Gambar 2. Angka Penerima Vaksinasi Terbanyak dan Terdikit pada 51 Negara

- **Trend grafik daerah benua penerima vaksinasi Covid 19**

Angka penerima vaksinasi covid 19 yang telah didapat di 51 negara akan diteliti dan dibuat dalam 1 benua. Seperti benua asia yang meliputi indonesia, china, korea dan lain lain, benua eropa yang berisikan jerman, prancis dan lain-lainnya. Dan masih banyak benua lainnya yang akan dibandingkan dalam bentuk grafik



Gambar 3. Grafik Perbandingan Vaksin Covid 19

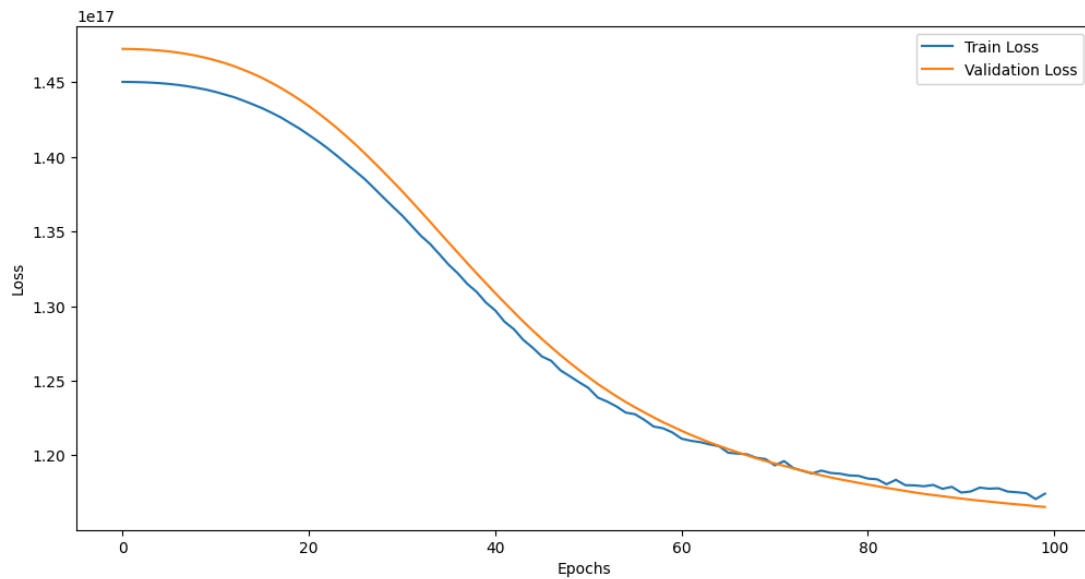
Garis hitam merupakan nilai tertinggi artinya yaitu vaksin yang diterima dunia cenderung memiliki garis yang lebih tinggi dan disusul oleh garis biru yang berarti benua asia. dan untuk garis lainnya tidak memiliki jarak nilai yang cukup jauh.

- Memprediksi nilai loss dan nilai train

Untuk dapat mendapatkan nilai prediksi maka diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

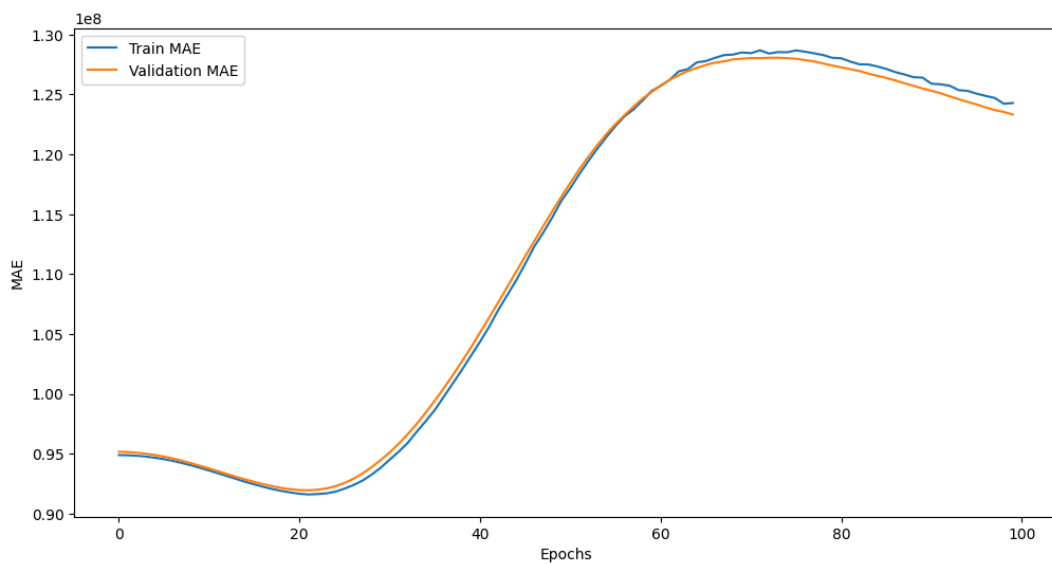
1. Memilih variabel dan target, menormalisasi dan menguji data
2. Membuat model
3. Mencari nilai terbaik dari model
4. Evaluasi model -> Membuat plot pengujian

5. Membuat Prediksi



Gambar 4. Grafik *Train & Validation Loss*

Nilai *train loss* dan *validation loss* memiliki grafik nilai turun yang sama, perbedaannya adalah pada di awal epochs *validation loss* memiliki nilai lebih besar ketimbang *train loss*, sedangkan di akhir epochs nilai *validation loss* memiliki nilai lebih kecil dari *train loss*.

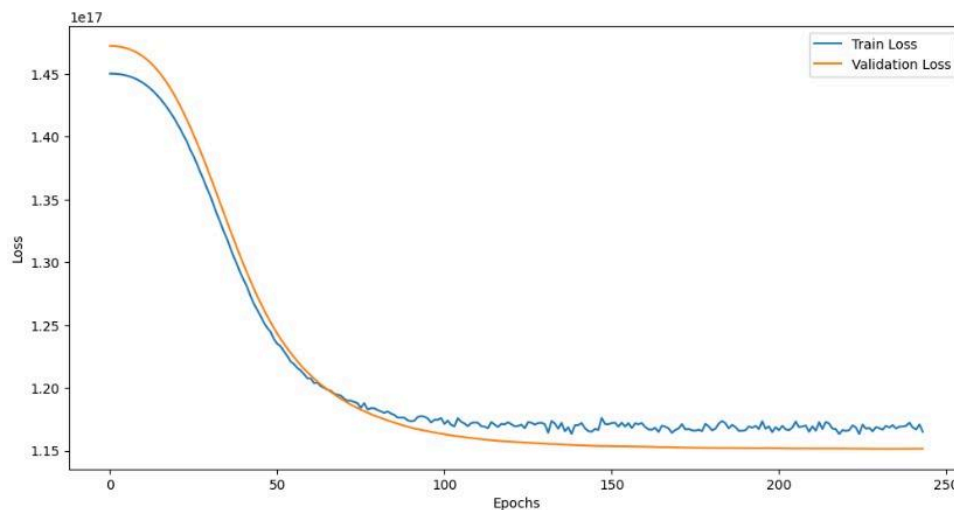


Gambar 5. Grafik *Train MAE & Validation MAE*

Nilai Mean Absolute Error (MAE) diatas memiliki gaya grafik nilai yang berbeda ketimbang nilai loss. Nilai MAE disini cenderung naik signifikan dan mengalami penurunan yang sangat kecil hingga akhir epochs.

- ANN-FA

Setelah melakukan pemodelan jaringan saraf tiruan, berikutnya adalah melakukan penerapan jaringan saraf tiruan/ANN kepada salah satu algoritma, berhubung algoritma yang diteliti adalah algoritma kunang-kunang maka penerapan ANN ke algoritma kunang-kunang akan dijelaskan pada grafik di bawah.



Gambar 6. Penerapan ANN-FA hingga 250 epoch

Pada penerapan ANN-FA diatas dan dengan mempertimbangkan kriteria RMSE, pola dicapai dengan menggunakan 50 kunang-kunang Dalam kasus Firefly Algorithm, seseorang dapat mempertimbangkan 10 kunang-kunang untuk mencapai kinerja serupa dengan waktu komputasi lebih sedikit (atau menggunakan 40 kunang-kunang dengan kinerja serupa dengan pola terbaik dengan waktu lebih sedikit).

5. KESIMPULAN

Dengan meningkatnya populasi yang divaksinasi di seluruh dunia, diperlukan pemodelan pandemi COVID-19 dengan mempertimbangkan tingkat vaksinasi. Dalam penelitian ini, kami mengimplementasikan *conventional neural network* yang digabungkan dengan algoritma

metaheuristik yang kuat yaitu *Firefly Algorithm (FA)*. Kami memproses berbagai kumpulan data mengenai kasus terkonfirmasi COVID-19 dan populasi yang divaksinasi di 51 negara bagian di AS. Secara umum, temuan ini menunjukkan bahwa upaya vaksinasi adalah penjelasan yang kuat mengenai pandemi ini.

Pada skala keseluruhan, optimasi FA dalam penelitian ini mencapai akurasi total sebesar 93,7%. Perlu diperhatikan bahwa hasil yang diperoleh harus ditafsirkan dengan mempertimbangkan beberapa keterbatasan. Pertama, harus digarisbawahi bahwa ANN adalah model kotak hitam. Dalam model kami, mekanisme yang menunjukkan bagaimana populasi yang divaksinasi berhubungan dengan penularan tidak dapat diinterpretasikan. Oleh karena itu, ANN tersebut tidak kompeten untuk memberikan dasar biologis apa pun untuk hasilnya. Kedua, suntikan vaksin terbukti mencegah COVID-19 yang parah. Oleh karena itu, individu yang terinfeksi dengan gejala ringan mungkin tidak melakukan tes diagnostik sehingga tidak dicatat sebagai kasus terinfeksi. Oleh karena itu, jumlah kasus terinfeksi sebenarnya mungkin lebih tinggi dari catatan resmi. Ketiga, kemanjuran vaksin COVID-19 bervariasi. Hal ini dapat mempengaruhi generalisasi hasil penelitian karena jenis vaksin di seluruh dunia tidak sama. Dan yang terakhir, faktor-faktor penentu lainnya, termasuk tingkat tindakan pencegahan, kekebalan kelompok, dan lockdown, semuanya mempunyai dampak signifikan terhadap kasus-kasus terinfeksi yang dilaporkan. Oleh karena itu, tren penurunan data mungkin disebabkan oleh faktor-faktor penentu tersebut, bukan karena peningkatan jumlah vaksin yang disuntikkan. Namun, mendefinisikan data vaksin sebagai masukan penjas dalam memprediksi pandemi mempunyai beberapa keistimewaan. Pertama, dapat digunakan secara langsung dalam pengambilan kebijakan karena vaksinasi massal merupakan cara yang paling efektif untuk melawan COVID-19. Kedua, seperti disebutkan sebelumnya, terdapat bukti yang menunjukkan penurunan tingkat keparahan COVID-19 akibat vaksinasi. Namun, dampak vaksinasi besar-besaran terhadap kasus penularan harus dijelaskan secara spesifik. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memungkinkan kita untuk menyimpulkan bahwa masifnya pandemi adalah faktor utama terjadinya pandemi COVID-19.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization. (2024). COVID-19 Weekly Epidemiological Update. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>
- [2] Sandmann, F. G., Davies, N. G., Vassall, A., Edmunds, W. J., & Jit, M. (2022). The potential health and economic value of SARS-CoV-2 vaccination alongside physical distancing in the UK: A transmission model-based future scenario analysis and economic evaluation. *The Lancet Infectious Diseases*, 22(7), 962-974. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00079-7)
- [3] Wouters, O. J., Shadlen, K. C., Salcher-Konrad, M., Pollard, A. J., Larson, H. J., Teerawattananon, Y., & Jit, M. (2021). Challenges in ensuring global access to COVID-19 vaccines: Production, affordability, allocation, and deployment. *The Lancet*, 397(10278), 1023-1034. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00306-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00306-8)
- [4] Moore, S., Hill, E. M., Dyson, L., Tildesley, M. J., & Keeling, M. J. (2021). Modelling optimal vaccination strategy for SARS-CoV-2 in the UK. *PLoS Computational Biology*, 17(5), e1008849. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008849>
- [5] Yang, X. S. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press.
- [6] Hu, B., Guo, H., Zhou, P., & Shi, Z. L. (2021). Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nature Reviews Microbiology*, 19(3), 141-154. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>
- [7] Astuti, I., & Ysrafil. (2020). Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2): An overview of viral structure and host response. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 407-412. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.020>
- [8] Petrosillo, N., Viceconte, G., Ergonul, O., Ippolito, G., & Petersen, E. (2020). COVID-19, SARS and MERS: Are they closely related?. *Clinical Microbiology and Infection*, 26(6), 729-734. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.03.026>

- [9] Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B., & Manatunge, J. (2020). Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. *Environmental Research*, 188, 109819. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819>
- [10] Tang, S., Mao, Y., Jones, R. M., Tan, Q., Ji, J. S., Li, N., ... & Shi, X. (2021). Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment International*, 144, 106039. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106039>
- [11] Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., ... & Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223), 497-506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- [12] Zheng, Z., Peng, F., Xu, B., Zhao, J., Liu, H., Peng, J., ... & Tang, W. (2020). Risk factors of critical & mortal COVID-19 cases: A systematic literature review and meta-analysis. *Journal of Infection*, 81(2), e16-e25. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.04.021>
- [13] Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., ... & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018>
- [14] L. Yin, et al., Ecosystem services assessment and sensitivity analysis based on ANN model and spatial data: a case study in Miaodao Archipelago, *Ecol. Indic.* 135 (2022), 108511. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108511>
- [15] W. Zheng, et al., Simulation of phytoplankton biomass in Quanzhou Bay using a back propagation network model and sensitivity analysis for environmental variables, *Chin. J. Oceanol.* <https://link.springer.com/article/10.1007/s00343-012-1216-6>
- [16] O.I. Abiodun, A. Jantan, A.E. Omolara, Kemi Victoria Dada, Nachaat AbdElatif Mohamed, Humaira Arshad, State-of-the-art in artificial neural network applications: a survey, *Heliyon* 4 (11) (2018), e00938. [http://refhub.elsevier.com/S2405-8440\(23\)00879-4/sref57](http://refhub.elsevier.com/S2405-8440(23)00879-4/sref57)
- [17] A.H. Elsheikh, et al., Modeling of solar energy systems using artificial neural network: a comprehensive review, *Sol. Energy* 180 (2019) 622–639. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.037>

- [18] V. Kumar, D. Kumar, A systematic review on firefly algorithm: past, present, and future, Arch. Comput. Methods Eng. 28 (4) (2021) 3269–3291. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09498-y>
- [19] X.-S. Yang, J.P. Papa, Bio-inspired Computation and its Applications in Image Processing: an Overview. Bio-Inspired Computation and Applications in Image Processing, 2016, pp. 1–24 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804536-7.00001-6>
- [20] X.-S. Yang, Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation, arXiv preprint arXiv:1003.1409 (2010). [http://refhub.elsevier.com/S2405-8440\(23\)00879-4/sref63](http://refhub.elsevier.com/S2405-8440(23)00879-4/sref63)
- [21] X.S. Yang, X.S. He, Firefly algorithm: recent advances and applications, International Journal of Swarm Intelligence 1 (1) (2013) 36–50. [http://refhub.elsevier.com/S2405-8440\(23\)00879-4/sref64](http://refhub.elsevier.com/S2405-8440(23)00879-4/sref64)

LAMPIRAN

Jurnal Rujukan : <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13672>

Dataset : <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

Code:

<https://colab.research.google.com/drive/1bK2o988mts820hgVQZYx99IM-E-vV3-u?usp=sharing>