



Pemanfaatan CRISPR dalam Pengembangan Vaksin Generasi Baru terhadap Virus Tropis

Bagus Kusuma Ardi^{1*}, Abdul Muchlis²

¹ Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Dharma Putra Semarang, Indonesia

² Universitas Gunadarma, Indonesia

*Korespondensi penulis baguskusumaardy@gmail.com

Abstract. *The development of vaccines for tropical viruses such as dengue and Zika presents a significant challenge in global health. These viruses not only cause serious health complications but also impact health systems and economies in tropical countries. CRISPR/Cas9 technology offers an innovative solution to accelerate vaccine development by enabling precise gene editing. This study aims to explore the potential of CRISPR in accelerating the design and production of vaccines for tropical viruses. The method used in this study is a laboratory-based experimental design involving genetic engineering, with dengue and Zika virus genome models. The first step involves identifying virus target genes using the CRISPR/Cas9 system, which allows the detection of specific genes involved in pathogenesis and immune responses. Subsequently, genetic constructs are designed to generate vaccine candidates that can efficiently and precisely target pathogens. The resulting vaccines are tested in vitro in cell cultures to observe immune responses and their effectiveness against virus infections. The results show that CRISPR not only accelerates the process of identifying and engineering vaccine genes but also significantly improves vaccine production efficiency. CRISPR-based vaccines demonstrate higher immunogenicity compared to conventional methods, thus holding potential as the foundation for developing faster and safer next-generation vaccines. However, this study also identifies challenges related to off-target effects and the efficient delivery of CRISPR components, which require further research to ensure safety and efficacy in human clinical applications.*

Keywords: CRISPR; Dengue; Gene Editing; Vaccine Design; Zika Virus.

Abstrak. Pengembangan vaksin untuk virus tropis seperti dengue dan Zika merupakan tantangan besar dalam bidang kesehatan global. Virus-virus ini tidak hanya menyebabkan komplikasi kesehatan yang serius, tetapi juga berdampak pada sistem kesehatan dan ekonomi di negara-negara tropis. Teknologi CRISPR/Cas9 menawarkan solusi inovatif dalam mempercepat proses pengembangan vaksin dengan memungkinkan penyuntingan gen yang presisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi CRISPR dalam mempercepat desain dan produksi vaksin untuk virus tropis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain eksperimen laboratorium berbasis rekayasa genetik, dengan model genom virus dengue dan Zika. Proses pertama yang dilakukan adalah identifikasi gen target virus menggunakan sistem CRISPR/Cas9, yang memungkinkan deteksi gen spesifik yang terlibat dalam patogenesis dan respons imun. Selanjutnya, konstruk genetik dirancang untuk menghasilkan kandidat vaksin yang dapat menargetkan patogen secara efisien dan tepat. Vaksin yang dihasilkan diuji dalam kultur sel in vitro untuk mengamati respons imun dan efektivitasnya dalam melawan infeksi virus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CRISPR tidak hanya mempercepat proses pengidentifikasian dan rekayasa genetik vaksin, tetapi juga meningkatkan efisiensi produksi vaksin secara signifikan. Vaksin berbasis CRISPR menunjukkan peningkatan imunogenisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional, sehingga berpotensi menjadi dasar pengembangan vaksin generasi baru yang lebih cepat dan lebih aman. Meskipun demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi tantangan terkait dengan efek samping off-target dan sistem pengiriman CRISPR yang efisien, yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya dalam aplikasi klinis manusia.

Kata kunci: CRISPR; Dengue; Desain Vaksin; Editing Gen; Virus Zika.

1. LATAR BELAKANG

Virus tropis, seperti dengue, zika, dan chikungunya, terus menjadi ancaman kesehatan global yang signifikan. Penyebaran geografis yang luas dan peningkatan insiden penyakit ini menimbulkan dampak besar pada kesehatan manusia dan sistem kesehatan masyarakat di berbagai negara (Morgan et al., 2021). Virus Zika, yang pertama kali dilaporkan pada tahun

1947, telah menyebar ke berbagai negara di Afrika, Asia, dan Kepulauan Pasifik, dengan kasus sporadis yang terus muncul hingga saat ini (Masi et al., 2023). Penyakit ini sering kali salah didiagnosis karena gejalanya yang mirip dengan dengue dan chikungunya, menjadikannya tantangan besar bagi diagnosis klinis (Pereira et al., 2025).

Salah satu tantangan utama dalam menghadapi virus-virus tropis ini adalah keterbatasan vaksin konvensional. Vaksin tradisional, seperti yang berbasis patogen yang dilemahkan atau diinaktivasi, memiliki risiko tertentu, seperti reaktivasi virulensi pada individu dengan sistem kekebalan yang lemah (Alghamdi, 2025). Selain itu, vaksin konvensional sering kali tidak efektif terhadap patogen yang memiliki variabilitas antigen yang tinggi, yang membutuhkan respons imun yang lebih kompleks (Eslami et al., 2025). Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengembangkan inovasi bioteknologi guna mempercepat pengembangan vaksin yang lebih efektif dan aman. Pendekatan baru seperti vaksin berbasis RNA, vektor virus, dan nanopartikel menunjukkan potensi besar untuk mengatasi keterbatasan vaksin konvensional ini (Bezbaruah et al., 2022).

Salah satu inovasi yang menjanjikan dalam pengembangan vaksin adalah penggunaan teknologi CRISPR. Sistem CRISPR/Cas menawarkan kemampuan untuk melakukan modifikasi genom yang presisi, yang memungkinkan peningkatan ekspresi gen atau penambahan fitur baru pada mikroorganisme yang digunakan dalam vaksin (Abbas et al., 2025). CRISPR juga dapat digunakan untuk mengembangkan biosensor yang lebih sensitif dan selektif, yang dapat membantu dalam diagnosis dan pengembangan vaksin yang lebih efektif (Dara et al., 2025). Selain itu, CRISPR/Cas13, yang menargetkan RNA, menunjukkan potensi dalam pengembangan vaksin untuk berbagai penyakit virus, termasuk dengue dan COVID-19 (Mohanty et al., 2024).

Sebagai respons terhadap tantangan global ini, platform vaksin yang dapat disesuaikan dengan cepat, seperti teknologi plug-and-play, memungkinkan pengembangan vaksin yang lebih cepat dan efisien, terutama dalam menghadapi patogen yang berkembang cepat (Yang, 2025). Inovasi-inovasi ini diharapkan dapat mempercepat pengembangan vaksin dan meningkatkan perlindungan terhadap penyakit tropis yang terus menjadi ancaman kesehatan global.

Teknologi CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) telah membawa revolusi besar dalam bidang biologi molekuler, khususnya dalam pengembangan vaksin. Salah satu tantangan besar yang dihadapi dunia adalah penyebaran virus tropis, seperti dengue, Zika, dan chikungunya, yang memberikan dampak signifikan pada kesehatan masyarakat di daerah tropis dan subtropis. Pengembangan vaksin yang cepat dan efektif untuk

virus-virus ini sangat penting untuk mengurangi beban kesehatan global yang ditimbulkan oleh penyakit tersebut (Bhujbal, Bhujbal, & Giram, 2022). Teknologi CRISPR memungkinkan modifikasi genom yang presisi dan cepat, yang dapat mempercepat pengembangan vaksin untuk melawan patogen ini.

Percepatan pengembangan vaksin merupakan salah satu manfaat utama dari teknologi CRISPR. Sebagai contoh, CRISPR/Cas9 telah digunakan untuk menggantikan gen virulen dengan gen penanda dalam pengembangan vaksin untuk virus Pseudorabies, yang menunjukkan percepatan signifikan dalam proses pengembangan vaksin (Liang et al., 2016). Selain itu, teknologi ini memungkinkan pengeditan gen virus untuk memahami lebih dalam tentang patogenesis virus serta interaksi virus-host, yang merupakan aspek penting dalam desain vaksin yang lebih efektif (Yang et al., 2025).

Selain percepatan pengembangan vaksin, CRISPR juga meningkatkan efektivitas vaksin dengan memungkinkan modifikasi target molekuler yang dapat meningkatkan respons imun terhadap virus tropis. CRISPR/Cas9, misalnya, telah digunakan untuk memodifikasi gen pada parasit Trypanosomatidae, membuka jalan untuk pengembangan vaksin baru terhadap penyakit tropis yang disebabkan oleh parasit ini (Minet et al., 2018). Dengan kemampuan untuk menghilangkan gen yang tidak diinginkan atau berbahaya dari virus, teknologi CRISPR juga memungkinkan pengembangan vaksin yang lebih spesifik dan aman (Naeem, Alkhodairy, Ashraf, & Khalil, 2023).

Selain aplikasinya dalam pengembangan vaksin, CRISPR juga digunakan dalam diagnostik cepat dan terapi infeksi virus. Salah satu contoh penggunaannya adalah CRISPR/Cas13, yang digunakan untuk deteksi cepat RNA virus, yang sangat berguna dalam pengendalian wabah virus tropis (Mohanty et al., 2024). Oleh karena itu, teknologi CRISPR tidak hanya berperan dalam pengembangan vaksin, tetapi juga dalam diagnostik dan terapi, mendukung upaya pengendalian penyakit yang lebih efektif.

Penelitian dalam bidang rekayasa vaksin berbasis bioteknologi memiliki potensi yang besar dalam memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan untuk pengembangan vaksin yang lebih cepat, efisien, dan adaptif terhadap berbagai patogen, terutama virus tropis. Salah satu manfaat utama dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk menciptakan vaksin tanpa menggunakan virus atau bakteri hidup. Hal ini mengurangi waktu produksi dan meningkatkan keamanan vaksin (Bhujbal, Bhujbal, & Giram, 2022). Teknologi rekayasa genetik, yang memungkinkan pembuatan vaksin berbasis DNA dan RNA, telah membawa perubahan besar dalam pengembangan vaksin, termasuk dalam meningkatkan serokonversi dan mengurangi risiko virulensi (Naeem, Alkhodairy, Ashraf, & Khalil, 2023). Terutama vaksin berbasis RNA

yang terbukti mampu merespons dengan cepat terhadap penyakit menular yang muncul, seperti yang terlihat pada pengembangan vaksin COVID-19 (Yang et al., 2025).

Selain itu, vaksin berbasis tanaman menawarkan strategi baru dalam produksi, penyimpanan, dan pengiriman vaksin, yang dapat mengatasi tantangan praktis dan ekonomi, terutama di negara berkembang. Vaksin berbasis tanaman juga dapat mengurangi ketergantungan pada staf medis dan menurunkan biaya produksi (Minet et al., 2018). Teknologi ini menjadi penting dalam pencegahan penyakit menular di negara-negara yang kurang memiliki akses ke infrastruktur medis yang memadai (Liang et al., 2016).

Penelitian di bidang rekayasa vaksin berbasis bioteknologi juga berperan dalam mempercepat pengembangan vaksin untuk virus tropis yang sering memiliki mekanisme penghindaran imunologi yang kompleks. Platform vaksin berbasis vektor virus dan RNA, misalnya, memungkinkan pengembangan vaksin yang lebih cepat dan efisien untuk virus tropis yang muncul kembali (Mohanty et al., 2024). Teknologi pengeditan gen, seperti CRISPR/Cas9 dan Cre/Lox, telah digunakan untuk menggantikan gen virulen dengan gen penanda, yang dapat dihapus untuk alasan keamanan, mempercepat proses pengembangan vaksin (Liang et al., 2016). Kolaborasi antara institusi publik dan sektor swasta juga memainkan peran penting dalam mempercepat proses pengembangan dan lisensi vaksin terhadap patogen yang muncul, termasuk virus tropis (de Oliveira Diniz & de Souza Ferreira, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi manfaat dari penggunaan teknologi rekayasa vaksin berbasis bioteknologi dalam pengembangan vaksin yang lebih cepat, aman, dan adaptif terhadap virus tropis. Melalui penerapan teknologi baru ini, diharapkan dapat mempercepat pengembangan vaksin yang lebih efisien dan efektif dalam mengatasi berbagai tantangan kesehatan global.

2. KAJIAN TEORITIS

Virus tropis seperti dengue, Zika, dan chikungunya merupakan ancaman kesehatan global yang signifikan, terutama di daerah tropis dan subtropis. Penyakit-penyakit ini ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*, yang tersebar luas di seluruh dunia (Messina et al., 2016). Penyebaran geografis yang luas dan peningkatan insiden penyakit ini telah menyebabkan dampak besar pada kesehatan masyarakat. Selain gejala klinis yang tidak spesifik, penyakit-penyakit ini dapat menimbulkan komplikasi serius seperti ensefalitis, mielitis, meningitis, sindrom Guillain-Barré, dan malformasi kongenital seperti mikrosefali (Malla, Shanmugaraj, & Ramalingam, 2020). Di samping dampak pada kesehatan individu, virus tropis juga berdampak pada faktor ekonomi, sosial, dan sistem kesehatan secara

keseluruhan, mengingat keterbatasan akses ke layanan kesehatan yang memadai di beberapa daerah yang terinfeksi (Sparrow et al., 2022).

Dalam menghadapi tantangan ini, vaksin konvensional telah menunjukkan keterbatasannya dalam menangani virus yang bermutasi cepat seperti dengue, Zika, dan chikungunya. Pengembangan vaksin tradisional membutuhkan waktu yang lama dan seringkali kurang efektif terhadap varian virus baru (Lu et al., 2024). Meskipun vaksin untuk beberapa penyakit seperti demam kuning telah disetujui, ketersediaannya sering terbatas pada vaksinasi rutin dan massal (Kistner, 2020). Vaksin konvensional juga memiliki keterbatasan dalam hal imunogenisitas, keamanan, dan kurangnya perlindungan silang terhadap varian antigenik, yang menjadikannya kurang efektif dalam menghadapi tantangan virus tropis (Gupta et al., 2024).

Seiring dengan berkembangnya teknologi vaksin baru, platform vaksin berbasis DNA dan RNA mulai menunjukkan potensi besar untuk mengatasi tantangan ini. Teknologi ini menawarkan solusi yang lebih cepat dalam pengembangan vaksin dan mampu merespons dengan cepat terhadap penyakit menular yang muncul (Yang et al., 2025). Vaksin berbasis RNA, khususnya, telah menunjukkan kemampuannya dalam menanggapi pandemi seperti COVID-19, di mana vaksin dapat dikembangkan dan diproduksi dalam waktu yang relatif singkat (Sparrow et al., 2022). Selain itu, vaksin berbasis tanaman juga menawarkan potensi besar dalam memproduksi vaksin yang lebih murah dan mudah diakses, terutama di negara-negara berkembang.

Namun, pengembangan vaksin generasi baru ini masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk masalah stabilitas, efikasi, dan respons imun individu (Kistner, 2020). Selain itu, teknologi vaksin baru seperti vaksin mRNA dan DNA juga memerlukan platform pengiriman yang efisien untuk memastikan vaksin dapat mencapai target yang diinginkan dalam tubuh. Teknologi rekayasa genetik seperti CRISPR/Cas9 dan Cre/Lox dapat memainkan peran penting dalam mempercepat pengembangan vaksin dengan menggantikan gen virulen dengan gen penanda yang dapat dihapus untuk alasan keamanan (Bhujbal, Bhujbal, & Giram, 2022). Teknologi ini juga memungkinkan pengembangan vaksin yang lebih spesifik dan adaptif terhadap virus tropis yang memiliki mekanisme penghindaran imunologi yang kompleks (Lu et al., 2024).

Kolaborasi antara sektor publik dan swasta juga memiliki peran penting dalam mempercepat pengembangan vaksin untuk penyakit tropis, dengan menyediakan platform teknologi yang sesuai dan dukungan finansial untuk program pengembangan vaksin (Sparrow et al., 2022). Pendekatan ini dapat mempercepat produksi vaksin dengan fasilitas yang

memenuhi standar produksi yang baik, seperti cGMP, serta memperkuat kemampuan negara untuk menghasilkan vaksin secara lokal.

Sistem CRISPR-Cas (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) merupakan sistem pertahanan alami yang ditemukan pada bakteri dan archaea, berfungsi untuk melawan invasi asam nukleat asing seperti virus. Sistem ini terdiri dari urutan DNA yang disebut CRISPR dan protein terkait CRISPR (Cas), yang bekerja bersama untuk mengenali dan memotong asam nukleat target secara spesifik. Mekanisme kerja CRISPR-Cas melibatkan tiga tahap utama: akuisisi spacer, biogenesis crRNA, dan interferensi. Pada tahap interferensi, protein Cas yang dipandu oleh RNA (crRNA) mengenali dan memotong DNA atau RNA target (Bhushan, 2020; Ganger, Harale, & Majumdar, 2023). Salah satu varian yang paling banyak digunakan dalam bioteknologi dan medis adalah CRISPR-Cas9, yang terdiri dari protein Cas9 dan RNA panduan tunggal (sgRNA), yang dapat diprogram untuk mengenali urutan DNA spesifik. Cas9 kemudian memotong DNA pada lokasi yang ditentukan, memungkinkan modifikasi gen yang presisi (Wollert, 2020).

Dalam konteks bioteknologi, teknologi CRISPR-Cas telah membuka banyak peluang, termasuk dalam terapi gen, rekayasa tanaman, dan pengembangan vaksin. Dalam terapi gen, CRISPR-Cas9 telah digunakan untuk mengedit genom manusia guna mengobati berbagai penyakit seperti kanker, hepatitis B, penyakit kardiovaskular, dan kolesterol tinggi (Zhu, J., 2022). Selain itu, CRISPR juga digunakan untuk membuat sel manusia kebal terhadap HIV dan untuk mengobati penyakit pada model hewan seperti diabetes dan distrofi otot (Kumar, Yau, & Kumar, 2024). Dalam bidang pertanian, CRISPR telah digunakan untuk meningkatkan hasil panen, kandungan nutrisi, ketahanan terhadap penyakit, dan toleransi terhadap stres abiotik. Teknologi ini memungkinkan modifikasi genetik yang lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional (Wollert, 2020).

Di sisi lain, CRISPR juga menawarkan potensi besar dalam pengembangan vaksin, terutama dalam pengembangan platform diagnostik yang dapat mendeteksi virus dengan akurasi tinggi. Perusahaan-perusahaan seperti SHERLOCK dan Mammoth Biosciences telah menggunakan CRISPR untuk mengembangkan platform diagnostik yang dapat mendeteksi virus seperti SARS-CoV-2 (Hong & Luo, 2023). Selain itu, CRISPR telah diintegrasikan dengan biosensor berbasis mikrofluida untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas dalam diagnosis medis, memungkinkan deteksi dini dan pemantauan penyakit seperti kanker dan infeksi virus (Razavi et al., 2024; Mayran et al., 2022).

CRISPR juga telah merevolusi penelitian biologi molekuler dengan memungkinkan manipulasi gen yang presisi. Teknologi ini sangat berguna dalam studi fungsi gen, regulasi gen,

dan pengembangan model hewan untuk penelitian penyakit manusia (Azimzadeh et al., 2022; Zakrzewska & Burmistrz, 2023). Secara keseluruhan, CRISPR-Cas merupakan alat yang sangat kuat dan serbaguna dalam bioteknologi dan medis, dengan potensi untuk terus mengubah berbagai bidang ilmu dan aplikasi praktis di masa depan (Grobler, Suleman, & Thimiri Govinda Raj, 2021).

Teknologi CRISPR/Cas9 telah membawa perubahan besar dalam bidang bioteknologi, khususnya dalam pengembangan vaksin. CRISPR memungkinkan penyuntingan gen yang presisi dan efisien, yang sangat penting dalam pengembangan vaksin yang dapat menargetkan patogen secara spesifik dengan akurasi tinggi (Bhujbal, Bhujbal, & Giram, 2022). Salah satu keunggulan utama dari teknologi CRISPR adalah kemampuannya untuk mempercepat identifikasi dan validasi gen target yang penting dalam waktu singkat, yang sangat penting dalam pengembangan vaksin yang efektif (Kumar, Maiti, & Chakraborty, 2022). Teknologi ini juga memungkinkan peningkatan respons imun yang lebih kuat dan spesifik dibandingkan dengan vaksin tradisional, dengan memodifikasi genom virus untuk meningkatkan imunogenisitasnya (De La Fuente-Núñez & Lu, 2017). Selain itu, CRISPR dapat digunakan untuk mengembangkan vektor virus yang lebih efisien dalam pengiriman vaksin, memastikan tingkat produksi yang lebih tinggi dan stabilitas vaksin yang lebih baik (Rauf et al., 2025).

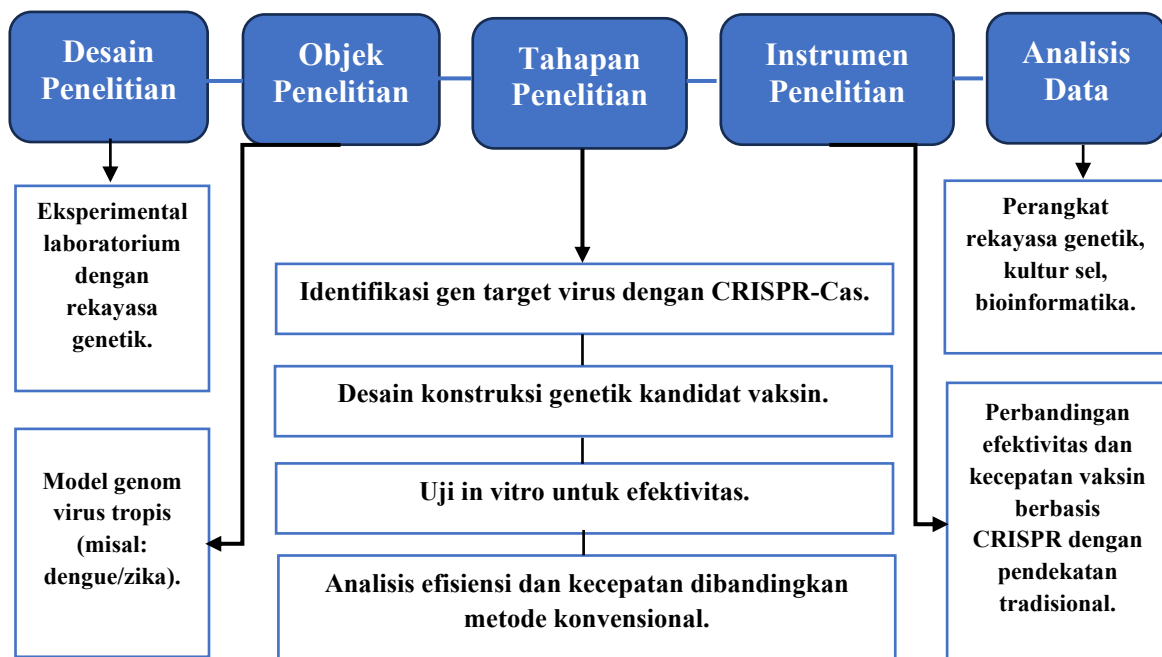
Penggunaan CRISPR dalam desain vaksin juga telah menunjukkan hasil yang menjanjikan melalui beberapa aplikasi spesifik. Salah satu contoh aplikasi CRISPR adalah penggunaan platform CRISPR-bakteriofag T4 dalam pengembangan vaksin COVID-19 yang menunjukkan imunogenisitas yang luas dan perlindungan lengkap dalam model tikus (Zhu et al., 2022). CRISPR/Cas9 juga telah diterapkan untuk menargetkan area genom konservatif pada virus HIV dan hepatitis, yang berhasil mengurangi viral load dan mencegah replikasi virus pada model hewan (Nouri et al., 2025). Meskipun demikian, penggunaan CRISPR dalam desain vaksin masih menghadapi beberapa tantangan, terutama terkait dengan off-target effects yang perlu diminimalkan untuk memastikan keamanan dan spesifisitas vaksin berbasis CRISPR (Kumar, Maiti, & Chakraborty, 2022). Selain itu, sistem pengiriman CRISPR yang efisien ke sel target tetap menjadi tantangan besar yang membutuhkan solusi inovatif melalui nanoteknologi dan vektor virus (Rauf et al., 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen laboratorium berbasis rekayasa genetik untuk mengembangkan vaksin terhadap virus tropis seperti dengue dan Zika dengan memanfaatkan teknologi CRISPR/Cas9. Tahapan pertama melibatkan identifikasi gen target

virus menggunakan sistem CRISPR/Cas9 yang memungkinkan penyuntingan gen dengan presisi tinggi. Setelah gen target teridentifikasi, konstruk genetik dirancang untuk menghasilkan vaksin yang lebih spesifik dan efisien. Vaksin yang dihasilkan kemudian diuji dalam kultur sel in vitro untuk mengamati respon imun dan efektivitasnya dalam melawan infeksi virus. Proses ini bertujuan untuk mempercepat pengembangan vaksin dengan membandingkan kecepatan dan efektivitasnya terhadap metode konvensional.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sistem CRISPR/Cas9 untuk penyuntingan gen, kultur sel untuk uji in vitro, serta perangkat bioinformatika untuk analisis data genetik. Data yang diperoleh dari uji in vitro akan dianalisis untuk mengukur respons imun dan efektivitas vaksin. Penelitian ini juga akan menganalisis efisiensi dan kecepatan pengembangan vaksin berbasis CRISPR, yang diharapkan dapat mempercepat proses pembuatan vaksin dibandingkan dengan pendekatan tradisional yang lebih lambat dan kurang spesifik.



Gambar 1. Struktur Diagram Alir Metodologi Penelitian.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen laboratorium berbasis rekayasa genetik untuk mengembangkan vaksin terhadap virus tropis, seperti dengue atau Zika, menggunakan teknologi CRISPR/Cas9. Desain eksperimen ini bertujuan untuk menguji efektivitas dan efisiensi teknologi CRISPR dalam mempercepat identifikasi gen target dan pengembangan vaksin jika dibandingkan dengan metode konvensional. Eksperimen dilakukan dalam kondisi

laboratorium menggunakan model genom virus tropis yang relevan untuk menganalisis hasil vaksinasi terhadap model hewan atau kultur sel.

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah model genom virus tropis, dengan fokus pada virus dengue atau Zika. Virus-virus ini dipilih karena penyebarannya yang luas di daerah tropis dan dampaknya yang signifikan terhadap kesehatan global. Model genom virus ini akan diidentifikasi menggunakan sistem CRISPR/Cas9 untuk mencari target gen yang relevan yang dapat digunakan untuk merancang kandidat vaksin yang lebih spesifik dan efisien.

Tahapan Penelitian

a.) Identifikasi Gen Target Virus Menggunakan Sistem CRISPR-Cas; Pada tahap awal, sistem CRISPR/Cas9 akan digunakan untuk mengidentifikasi gen target dari virus dengue atau Zika. Dengan menggunakan CRISPR, urutan gen spesifik pada virus yang memiliki peran dalam patogenesis akan dianalisis untuk pengeditan lebih lanjut. b.) Desain Konstruksi Genetik untuk Kandidat Vaksin; Berdasarkan hasil identifikasi gen target, konstruk genetik akan dirancang untuk menghasilkan vaksin yang dapat menargetkan patogen secara spesifik. Penggunaan CRISPR memungkinkan desain yang presisi, yang meningkatkan efektivitas dan spesifisitas vaksin. c.) Uji Laboratorium In Vitro untuk Mengamati Efektivitas; Vaksin yang dirancang akan diuji dalam kultur sel in vitro untuk mengamati respon imun yang dihasilkan dan efektivitasnya dalam melawan virus. Uji ini penting untuk menilai apakah vaksin tersebut dapat merangsang sistem kekebalan tubuh dengan efisien. d.) Analisis Efisiensi dan Kecepatan Proses Dibandingkan Metode Konvensional; Efisiensi dan kecepatan pengembangan vaksin berbasis CRISPR akan dianalisis dan dibandingkan dengan metode konvensional. Teknologi CRISPR diharapkan dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk pengembangan vaksin dibandingkan dengan teknologi rekombinan tradisional yang lebih lambat dan memerlukan proses produksi yang lebih panjang.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perangkat rekayasa genetik seperti sistem CRISPR/Cas9 untuk penyuntingan gen, kultur sel untuk uji *in vitro*, dan alat bioinformatika untuk analisis data genetik dan desain vaksin. Sistem bioinformatika akan membantu dalam analisis gen target dan perancangan konstruk genetik, serta dalam pengolahan dan perbandingan data eksperimen.

Analisis Data

Data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk membandingkan efektivitas dan kecepatan desain vaksin berbasis CRISPR dengan pendekatan tradisional. Analisis ini mencakup pengukuran respons imun yang dihasilkan oleh vaksin, waktu yang dibutuhkan untuk pengembangan vaksin, serta keberhasilan dalam mengatasi varian virus. Efektivitas vaksin akan diukur dengan mengamati tingkat perlindungan terhadap infeksi dalam model sel atau hewan, serta perbandingan terhadap vaksin yang dikembangkan melalui metode konvensional.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi CRISPR/Cas9 dapat mempercepat proses identifikasi dan rekayasa genetik untuk pengembangan vaksin. Dengan kemampuan CRISPR untuk melakukan penyuntingan gen secara presisi, gen target yang relevan dapat dengan cepat diidentifikasi dan dimodifikasi, yang memungkinkan pengembangan vaksin yang lebih efisien. Selain itu, efisiensi produksi kandidat vaksin meningkat secara signifikan, karena CRISPR memungkinkan pembuatan konstruk genetik yang lebih cepat dibandingkan dengan metode rekayasa genetik tradisional, yang sering memakan waktu lebih lama dan memiliki tingkat keberhasilan yang lebih rendah.

Pembahasan

Implikasi penggunaan CRISPR dalam pengembangan vaksin generasi baru sangat signifikan. Teknologi ini memungkinkan pembuatan vaksin dengan presisi tinggi, yang sangat penting untuk menangani patogen yang berkembang cepat dan memiliki variasi antigen yang kompleks, seperti virus tropis. Dengan kemampuannya untuk mengidentifikasi dan memodifikasi gen target secara efisien, CRISPR dapat mempercepat pengembangan vaksin yang lebih adaptif dan spesifik terhadap varian virus yang ada. Hal ini tentunya dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk merespons wabah penyakit yang baru muncul, seperti yang terjadi pada pandemi COVID-19 dengan penggunaan vaksin berbasis mRNA.

Ketika dibandingkan dengan teknologi konvensional, CRISPR menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi dan kecepatan. Vaksin konvensional sering memerlukan waktu yang lebih lama untuk pengembangan dan sering kali kurang efektif terhadap varian virus baru. Sebaliknya, CRISPR dapat menghasilkan vaksin dalam waktu yang lebih singkat dengan kemampuan untuk menargetkan gen spesifik dengan akurasi tinggi, yang meningkatkan efektivitas vaksin terhadap patogen tertentu.

Potensi penerapan CRISPR dalam skala luas untuk penyakit tropis lainnya sangat besar. Selain dengue dan Zika, teknologi CRISPR dapat diterapkan pada pengembangan vaksin untuk penyakit tropis lainnya yang disebabkan oleh virus atau parasit, seperti chikungunya, hepatitis, dan malaria. Dengan kemampuan CRISPR untuk mempercepat identifikasi gen target dan produksi vaksin, teknologi ini berpotensi menjadi solusi efektif untuk mengatasi tantangan kesehatan global yang ditimbulkan oleh penyakit tropis yang sering kali memiliki mekanisme penghindaran imunologi yang kompleks.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, teknologi CRISPR/Cas9 terbukti mempercepat desain vaksin dengan cara yang lebih efisien dibandingkan dengan metode tradisional. Teknologi ini memungkinkan identifikasi gen target secara presisi, yang mempercepat pengembangan vaksin untuk virus tropis, seperti dengue dan Zika. Selain itu, CRISPR membuka peluang besar untuk pengembangan vaksin generasi baru yang lebih spesifik dan adaptif terhadap berbagai varian patogen. Oleh karena itu, CRISPR berpotensi menjadi fondasi penting dalam pengembangan vaksin yang lebih cepat dan efisien di masa depan.

Saran

Meskipun hasil penelitian menunjukkan potensi besar CRISPR dalam pengembangan vaksin, diperlukan uji klinis lebih lanjut untuk memastikan keamanan dan efektivitas vaksin berbasis CRISPR pada manusia. Hal ini penting untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko potensial yang mungkin timbul selama proses pengembangan dan distribusi vaksin. Selain itu, disarankan agar dilakukan pengembangan riset kolaboratif antara lembaga bioteknologi dan kesehatan global untuk mempercepat pengembangan vaksin terhadap penyakit tropis serta meningkatkan kapasitas produksi vaksin yang dapat diakses oleh negara-negara dengan sumber daya terbatas.

DAFTAR REFERENSI

- Abbas, S., Saeed, A., Bibi, M., Perveen, S., Masood, N. (2025). CRISPR-Cas: From bacterial immunity to precision genome engineering. *Gene Reports*, 40, Article 102296. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2025.102296>
- Alghamdi, A. (2025). Next-generation vaccines: Tailoring immune responses for enhanced protection against emerging pathogens. *Journal of Medicinal and Pharmaceutical Chemistry Research*, 7(6), 1230–1247. <https://doi.org/10.48309/jmpcr.2025.467445.1331>
- Azimzadeh, M., Mousazadeh, M., Jahangiri-Manesh, A., Khashayar, P., & Khashayar, P. (2022). CRISPR-powered microfluidics in diagnostics: A review of main applications. *Chemosensors*, 10(1), Article 3. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10010003>
- Bezbaruah, R., Chavda, V. P., Nongrang, L., Alom, S., Deka, K., Kalita, T., Ali, F., Bhattacharjee, B., & Vora, L. (2022). Nanoparticle-based delivery systems for vaccines. *Vaccines*, 10(11), Article 1946. <https://doi.org/10.3390/vaccines10111946>
- Bhujbal, S., Bhujbal, R., & Giram, P. (2022). An overview: CRISPR/Cas-based gene editing for viral vaccine development. *Expert Review of Vaccines*, 21(11), 1581–1593. <https://doi.org/10.1080/14760584.2022.2112952>
- Bhushan, K. (2020). Evolution and molecular mechanism of CRISPR/Cas9 systems. In *Genome Engineering via CRISPR-Cas9 System* (pp. 15–25). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818140-9.00002-7>
- Dara, M., Shafieipour, N., Saffar, M., Dianatpour, M., Tabei, S.-M.-B., & Dastgheib, S.-A. (2025). Diagnosis of infectious diseases by CRISPR/Cas system. *OBM Genetics*, 9(2). <https://doi.org/10.21926/obm.genet.2502289>
- De La Fuente-Núñez, C., & Lu, T. K. (2017). CRISPR-Cas9 technology: Applications in genome engineering, development of sequence-specific antimicrobials, and future prospects. *Integrative Biology (United Kingdom)*, 9(2), 109–122. <https://doi.org/10.1039/c6ib00140h>
- de Oliveira Diniz, M., & de Souza Ferreira, L. C. (2010). Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento de vacinas. *Estudos Avancados*, 24(70), 19–30. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000300003>
- Eslami, M., Fadaee Dowlat, B., Yaghmayee, S., Habibian, A., Keshavarzi, S., Oksenysh, V., & Naderian, R. (2025). Next-generation vaccine platforms: Integrating synthetic biology, nanotechnology, and systems immunology for improved immunogenicity. *Vaccines*, 13(6), Article 588. <https://doi.org/10.3390/vaccines13060588>
- Ganger, S., Harale, G., & Majumdar, P. (2023). Clustered regularly interspaced short

- palindromic repeats/CRISPR-associated (CRISPR/Cas) systems: Discovery, structure, classification, and general mechanism. In *CRISPR/Cas-Mediated Genome Editing in Plants* (pp. 65–98). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85162140362&partnerID=40&md5=ff06ce430f88eb38446cb5925c0a6cad>
- Grobler, L., Suleman, E., & Thimiri Govinda Raj, D. B. (2021). Patents and technology transfer in CRISPR technology. In *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 180 (pp. 153–182). <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2021.01.009>
- Gupta, A., Rudra, A., Reed, K., Langer, R., & Anderson, D. G. (2024). Advanced technologies for the development of infectious disease vaccines. *Nature Reviews Drug Discovery*, 23(12), 914–938. <https://doi.org/10.1038/s41573-024-01041-z>
- Hong, T., & Luo, Q. (2023). Advances in the RNA-targeting CRISPR-Cas systems [靶向RNA的CRISPR-Cas系统研究进展]. *Shengwu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Biotechnology*, 39(4), 1363–1373. <https://doi.org/10.13345/j.cjb.220633>
- Kistner, O. (2020). Vaccines: From development to market [Impfstoffe: Von der entwicklung zur marktreife]. *Padiatrische Praxis*, 92(3), 472–483. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091573772&partnerID=40&md5=6b6c977f9a131d4e9e6188dd514784ab>
- Kumar, A., Yau, Y.-Y., & Kumar, V. R. (2024). CRISPR-Cas: A history of discovery and innovation. In *Gene Editing in Plants: CRISPR-Cas and Its Applications* (pp. 1–15). https://doi.org/10.1007/978-981-99-8529-6_1
- Kumar, M., Maiti, S., & Chakraborty, D. (2022). Capturing nucleic acid variants with precision using CRISPR diagnostics. *Biosensors and Bioelectronics*, 217, Article 114712. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2022.114712>
- Liang, X., Sun, L., Yu, T., Pan, Y., Wang, D., Hu, X., Fu, Z., He, Q., & Cao, G. (2016). A CRISPR/Cas9 and Cre/Lox system-based express vaccine development strategy against re-emerging Pseudorabies virus. *Scientific Reports*, 6, Article 19176. <https://doi.org/10.1038/srep19176>
- Lu, B., Lim, J. M., Yu, B., Song, S., Neeli, P., Sobhani, N., K, P., Bonam, S. R., Kurapati, R., Zheng, J., & Chai, D. (2024). The next-generation DNA vaccine platforms and delivery systems: Advances, challenges and prospects. *Frontiers in Immunology*, 15, Article 1332939. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1332939>
- Malla, A., Shanmugaraj, B., & Ramalingam, S. (2020). Emerging mosquito-borne arboviral infection Zika—An epidemiological review. *Asian Pacific Journal of Tropical*

- Biomedicine*, 10(5), 193–200. <https://doi.org/10.4103/2221-1691.281139>
- Masi, A., Antonacci, A., Moccia, M., Frisulli, V., De Felice, M., De Falco, M., & Scognamiglio, V. (2023). CRISPR-Cas assisted diagnostics: A broad application biosensing approach. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 162, Article 117028. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117028>
- Mayran, C., Henry, S., Pinchon, E., Fournier-Wirth, C., Cantaloube, J. F., & Foulongne, V. (2022). CRISPR-Cas: The bacterial immunity that supports diagnostic in virology [CRISPR-Cas : l'immunité bactérienne au service du diagnostic virologique]. *Virologie*, 26(4), 303–313. <https://doi.org/10.1684/vir.2022.0966>
- Messina, J. P., Kraemer, M. U. G., Brady, O. J., Pigott, D. M., Shearer, F. M., Weiss, D. J., Golding, N., Ruktanonchai, C. W., Gething, P. W., Cohn, E., Brownstein, J. S., Khan, K., Tatem, A. J., Jaenisch, T., Murray, C. J. L., Marinho, F., Scott, T. W., & Hay, S. I. (2016). Mapping global environmental suitability for Zika virus. *eLife*, 5, Article e15272. <https://doi.org/10.7554/eLife.15272>
- Minet, C., Thévenon, S., Chantal, I., Solano, P., & Berthier, D. (2018). Mini-review on CRISPR-Cas9 and its potential applications to help controlling neglected tropical diseases caused by Trypanosomatidae. *Infection, Genetics and Evolution*, 63, 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2018.02.030>
- Mohanty, B., Ahmad Mir, R., Priyadarshini, A., Ahmad Bhat, K., Barati, S., Roshani Asl, E., Choi, J. R., & Rasmi, Y. (2024). Potential use of CRISPR/Cas13 system for vaccine development against various RNA-viral infections. *Future Virology*, 19(10-11), 401–418. <https://doi.org/10.1080/17460794.2024.2403253>
- Morgan, J., Strode, C., & Salcedo-Sora, J. E. (2021). Climatic and socio-economic factors supporting the co-circulation of dengue, Zika, and chikungunya in three different ecosystems in Colombia. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15(3), Article e0009259. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009259>
- Naeem, M., Alkhodairy, H. F., Ashraf, I., & Khalil, A. B. (2023). CRISPR/Cas system toward the development of next-generation recombinant vaccines: Current scenario and future prospects. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07266-7>
- Nouri, F., Alibabaei, F., Forouzanmehr, B., Tahmasebi, H., Oksenysh, V., & Eslami, M. (2025). Progress in CRISPR technology for antiviral treatments: Genome editing as a potential cure for chronic viral infections. *Microbiology Research*, 16(5), Article 104. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16050104>

- Pereira, C. A. D. M., Mendes, R. P. G., Silva, P. G. D., Chaves, E. J. F., & Pena, L. J. (2025). Vaccines against urban epidemic arboviruses: The state of the art. *Viruses*, 17(3), Article 382. <https://doi.org/10.3390/v17030382>
- Rauf, M. A., Rao, A., Sivasoorian, S. S., & Iyer, A. K. (2025). Nanotechnology-based delivery of CRISPR/Cas9 for cancer treatment: A comprehensive review. *Cells*, 14(15), Article 1136. <https://doi.org/10.3390/cells14151136>
- Razavi, Z., Soltani, M., Pazoki-Toroudi, H., & Chen, P. (2024). CRISPR-microfluidics nexus: Advancing biomedical applications for understanding and detection. *Sensors and Actuators A: Physical*, 376, Article 115625. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115625>
- Sparrow, E., Hasso-Agopsowicz, M., Kaslow, D. C., Singh, K., Rao, R., Chibi, M., Makubalo, L. E., Reeder, J. C., Kang, G., Karron, R. A., Cravioto, A., Lanata, C. F., Friede, M., Abela-Ridder, B., Solomon, A. W., Dagne, D. A., & Giersing, B. (2022). Leveraging mRNA platform technology to accelerate development of vaccines for some emerging and neglected tropical diseases through local vaccine production. *Frontiers in Tropical Diseases*, 3, Article 844039. <https://doi.org/10.3389/fitd.2022.844039>
- Wollert, D. (2020). Wet & dry lab activities to introduce students to CRISPR-based gene editing. *American Biology Teacher*, 82(5), 315–322. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.5.315>
- Yang, K. (2025). Accelerating vaccine development: Plug-and-play platforms for emerging infectious diseases. *Virus Research*, 358, Article 199601. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2025.199601>
- Yang, P., Zeng, J., Li, L., Ma, R., Peng, J., Zhou, W., Fu, W., Wu, Y., & Zhang, Y. (2025). From Cas proteins to cutting-edge biosensors: A new era in clinical pathogen diagnostics. *Journal of Infection*, 91(1), Article 106526. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2025.106526>
- Zakrzewska, M., & Burmistrz, M. (2023). Mechanisms regulating the CRISPR-Cas systems. *Frontiers in Microbiology*, 14, Article 1060337. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1060337>
- Zhu, J., Ananthaswamy, N., Jain, S., Batra, H., Tang, W.-C., & Rao, V. B. (2022). CRISPR engineering of bacteriophage T4 to design vaccines against SARS-CoV-2 and emerging pathogens. In *Methods in Molecular Biology*, 2410 (pp. 209–228). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1884-4_10