Inovasi Quantum Machine Learning untuk Pencegahan Stunting: Solusi Teknologi Menuju SDGs Kesehatan

Fariz Hasim Arvianto1, Brenendra Putra Oktaviansyah2, Rafy Attala Mohamad3, Muhamad Akrom4

1Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 50131, email: 111202315467@mhs.dinus.ac.id

2Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 50131email: 111202315020@mhs.dinus.ac.id

3Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 50131, email: 111202214133@ mhs.dinus.ac.id

4 Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 50131, email: m.akrom@dsn.dinus.ac.id

*Corresponding Author*: Fariz Hasim Arvianto

**I**NTISARI ***—*** Stunting adalah masalah kesehatan global yang disebabkan oleh kekurangan gizi kronis dan infeksi berulang pada anak. Meskipun prevalensi stunting di Indonesia mengalami penurunan, angka tersebut masih lebih tinggi dari target yang ditetapkan oleh pemerintah. Stunting tidak hanya memengaruhi kesehatan fisik anak, tetapi juga perkembangan kognitif dan produktivitas ekonomi jangka panjang, serta memperburuk kemiskinan antargenerasi. Oleh karena itu, deteksi dini sangat penting untuk mengidentifikasi anak yang berisiko stunting. Penelitian ini mengusulkan penggunaan pendekatan Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM) untuk memodelkan risiko stunting pada balita. Pendekatan ini menggabungkan metode Support Vector Machine (SVM) klasik dengan kernel kuantum untuk menangani data dengan pola non-linear yang kompleks. Melalui kernel kuantum, model dapat lebih efisien dalam menangkap hubungan antar fitur, seperti tinggi badan, berat badan, umur, dan jenis kelamin, yang memengaruhi status gizi anak. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 10.000 sampel yang terdiri dari empat fitur: jenis kelamin, umur (bulan), tinggi badan (cm), dan berat badan (kg), dengan target status stunting yang terbagi menjadi empat kelas: Tall, Stunted, Normal, dan Severely Stunted. Model QSVM ini diintegrasikan dalam aplikasi berbasis web yang menggunakan FastAPI untuk backend dan Next.js untuk frontend, memungkinkan tenaga kesehatan dan orang tua untuk melakukan skrining risiko stunting secara interaktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan QSVM dalam mendeteksi risiko stunting dapat memberikan solusi yang lebih akurat dan efisien, serta mendukung upaya percepatan penurunan prevalensi stunting di Indonesia melalui teknologi berbasis komputasi kuantum.

KATA KUNCI — Stunting, Hybrid Quantum SVM, feature importance,

1. PENDAHULUAN

Stunting – kondisi gagal tumbuh pada anak akibat kekurangan gizi kronis dan infeksi berulang – masih menjadi tantangan kesehatan global yang mendesak. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan sekitar 148,1 juta balita di seluruh dunia mengalami stunting pada tahun 2022, dan dengan laju perbaikan gizi saat ini angka tersebut diproyeksikan masih akan mencapai 127 juta anak pada tahun 2025[1][16]. Proyeksi tersebut mengindikasikan bahwa dunia belum berada pada jalur yang tepat untuk memenuhi target penurunan prevalensi stunting sebesar 40% pada tahun 2025 yang dicanangkan WHO[16], maupun target Sustainable Development Goals (SDGs) untuk mengakhiri semua bentuk malnutrisi pada tahun 2030[5].

Di Indonesia, masalah stunting juga mendapat perhatian serius. Berdasarkan hasil Survei Status Gizi Indonesia (SSGI), prevalensi stunting nasional tercatat menurun dari 21,6% (tahun 2022) menjadi 19,8% (tahun 2024)[2][4]. Meskipun penurunan tersebut merupakan kemajuan positif, angka 19,8% masih berada di atas target nasional yaitu 18,8% pada tahun 2025[11]. Pemerintah Indonesia melalui berbagai program lintas sektor terus berupaya mempercepat penurunan stunting agar sejalan dengan komitmen global dan target pembangunan kesehatan yang telah ditetapkan[5][19].

Stunting bukan sekadar permasalahan tinggi badan anak yang di bawah standar umur, tetapi berdampak luas terhadap kualitas hidup dan potensi masa depan anak. Kondisi gizi buruk kronis ini berkorelasi dengan terganggunya perkembangan kognitif dan prestasi pendidikan anak, serta menurunnya produktivitas ekonomi ketika anak yang terdampak stunting memasuki usia dewasa[13][20]. Lebih jauh, stunting dapat memperpanjang rantai kemiskinan antargenerasi, karena anak yang mengalami stunting berisiko lebih tinggi mengalami masalah kesehatan dan keterbatasan peluang ekonomi di kemudian hari[13][20]. Dengan konsekuensi yang sedemikian serius, penanganan stunting memerlukan intervensi sejak dini. Deteksi dini yang presisi menjadi krusial untuk mengidentifikasi anak-anak berisiko stunting sedini mungkin, terutama di negara berpendapatan menengah seperti Indonesia yang memiliki keragaman sosial-ekonomi dan geografis tinggi. Identifikasi dini berbasis bukti akan membantu memastikan intervensi gizi dan kesehatan dapat diberikan tepat sasaran kepada kelompok yang paling membutuhkan.

Sebagai tanggapan terhadap kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan pendekatan Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM) untuk memodelkan risiko stunting pada balita dalam empat kategori kelas, yaitu Tall, Stunted, Normal, dan Severely Stunted. Pendekatan hybrid ini menggabungkan algoritma Support Vector Machine (SVM) klasik dengan kernel kuantum variational sebagai fungsi kernel, yang memungkinkan pemanfaatan keunggulan komputasi kuantum dalam menangani data yang kompleks. Dengan menggunakan kernel kuantum, fitur-fitur seperti indikator antropometri anak—termasuk jenis kelamin, umur, tinggi badan, dan berat badan—dapat dipetakan secara kuantum, memungkinkan model untuk menangkap pola hubungan non-linear yang rumit antar fitur tanpa membebani perangkat komputasi klasik. Dengan demikian, QSVM dapat memperkuat kemampuan klasifikasi SVM dalam mendeteksi pola risiko stunting yang mungkin tidak terdeteksi oleh pendekatan machine learning konvensional..

Selain pengembangan model, kami juga mengintegrasikan model QSVM ini ke dalam sebuah prototipe aplikasi web guna memfasilitasi penggunaannya di lapangan. Backend aplikasi menggunakan FastAPI untuk menangani inferensi model di sisi server, sedangkan frontend dibangun dengan Next.js untuk menyediakan antarmuka pengguna yang interaktif. Melalui antarmuka web ini, tenaga kesehatan maupun orang tua dapat memasukkan data-data terkait status anak (misalnya data antropometri dan lingkungan) dan memperoleh prediksi kategori risiko stunting secara real-time. Inovasi ini diharapkan dapat mempercepat proses skrining berbasis bukti (evidence-based) sehingga intervensi pencegahan stunting dapat dilakukan lebih dini. Pada akhirnya, pendekatan hybrid machine learning seperti QSVM yang terintegrasi dengan sistem pendukung keputusan ini diharapkan dapat mendukung upaya pemerintah dalam menurunkan prevalensi stunting dan mencapai target pembangunan kesehatan yang telah dicanangkan[19].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengembangkan model prediksi risiko stunting menggunakan pendekatan **Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM)**; (2) Menerapkan kernel kuantum untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam klasifikasi risiko stunting berdasarkan data antropometri dan faktor lingkungan; (3) Mengintegrasikan model QSVM ke dalam prototipe aplikasi web berbasis **FastAPI** dan **Next.js** untuk skrining risiko stunting secara real-time oleh tenaga kesehatan dan orang tua; (4) Menilai efektivitas penggunaan teknologi kuantum dalam mempercepat proses deteksi dini dan mendukung upaya penurunan prevalensi stunting di Indonesia.

Penelitian ini menawarkan **novelty** dalam bentuk: (1) Penerapan **Hybrid QSVM** yang menggabungkan keunggulan SVM klasik dengan kernel kuantum untuk memodelkan risiko stunting, yang belum banyak dieksplorasi dalam konteks kesehatan masyarakat; (2) Penggunaan teknologi kuantum untuk menangani data kompleks dan non-linear dalam konteks kesehatan, memberikan pendekatan baru untuk skrining penyakit berbasis teknologi tinggi; (3) Integrasi model QSVM dalam aplikasi berbasis web yang interaktif, memungkinkan deteksi dan prediksi risiko stunting secara efisien di lapangan; (4) Kontribusi terhadap upaya nasional dalam menurunkan prevalensi stunting, dengan menggabungkan teknologi canggih untuk meningkatkan efektivitas intervensi kesehatan masyarakat. Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademik dalam bidang teknologi kesehatan, tetapi juga mendukung pencapaian target pemerintah dalam penurunan stunting secara lebih cepat dan akurat.

.

1. METODE

Pada tahapan metode, penelitian ini berfokus pada pengembangan model prediksi risiko stunting menggunakan Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM), dengan data fitur yang terdiri dari Jenis Kelamin, Umur (bulan), Tinggi Badan (cm), dan Berat Badan (kg). Fitur-fitur ini dipilih karena merupakan indikator penting dalam memantau status gizi anak, yang sangat berhubungan dengan risiko stunting. Model ini bertujuan untuk mengklasifikasikan risiko stunting ke dalam empat kategori target, yaitu Normal, Stunted, Severely Stunted, dan Tall, yang merepresentasikan berbagai tingkat pertumbuhan anak. Pendekatan QSVM digunakan untuk menangkap pola non-linear antar fitur dengan efisiensi tinggi, melalui pemetaan kernel kuantum variational ke ruang Hilbert berdimensi tinggi, sehingga meningkatkan akurasi dalam klasifikasi risiko stunting. Fokus utama dari tahapan ini adalah mengembangkan model yang dapat memberikan prediksi yang lebih presisi dalam mengidentifikasi anak-anak yang berisiko stunting, dengan memanfaatkan teknologi kuantum untuk meningkatkan efektivitas deteksi dini.

1. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian berlangsung di Laboratorium Quantum Computing and Material Informatics, Gedung H Lantai 6, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang. Aktivitas utama penelitian adalah eksperimen komputasional secara daring melalui layanan Google Colab dengan tambahan akses ke IBM Quantum Experience untuk eksperimen QML

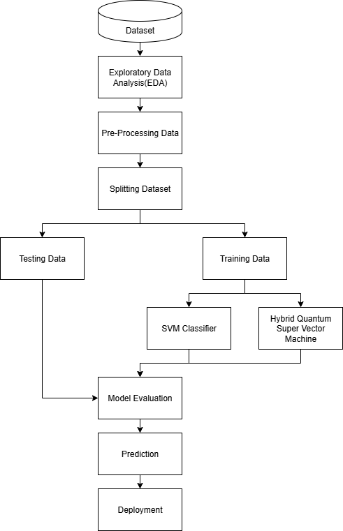
1. ALAT PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan Macbook Pro M2 Pro sebagai perangkat keras utama untuk komputasi. Untuk komputasi kuantum, digunakan IBM Quantum Experience dengan framework Qiskit. Alat perangkat lunak yang digunakan mencakup pustaka Python seperti Scikit-Learn, NumPy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, dan Qiskit.

1. BAHAN ATAU DATASET PENELITIAN

Dataset pada penelitian ini bersumber dari Kaggle <https://www.kaggle.com/datasets/jabirmuktabir/stunting-wasting-dataset>. Dengan jumlah data sample yaitu 10000 data, dengan feature 4 feature yang digunakan. Jenis Kelamin, Umur (Bulan), Tinggi Badan (cm), dan Berat Badan (kg). lalu menggunakan 1 target yaitu Stunting. Dengan pembagian kelas pada Stunting sebagai berikut: Tall, Stunted, Normal, Severely Stunted.

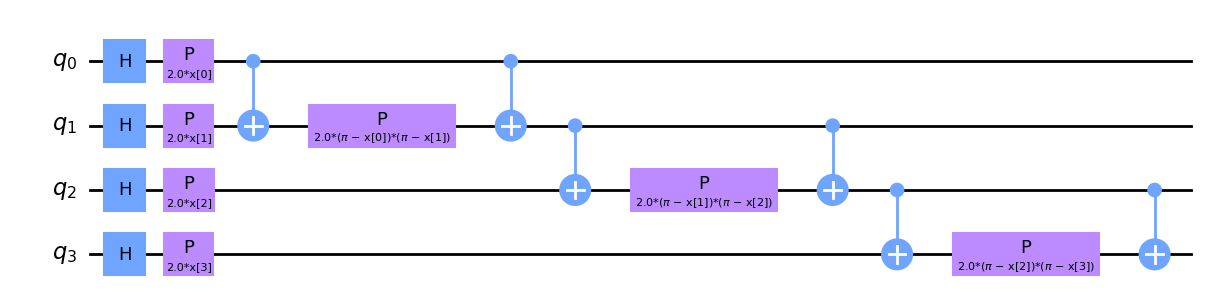
1. TAHAPAN PENELITIAN



Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa tahapan penelitian ini dimulai dengan Exploratory Data Analysis (EDA) untuk memahami struktur dan pola dalam dataset yang digunakan. Setelah itu, data akan diproses dalam tahap Pre-Processing Data, yang mencakup pembersihan data, penanganan nilai yang duplikat, dan normalisasi fitur agar dapat digunakan dalam model. Selanjutnya, dataset dibagi menjadi Training Data dan Testing Data melalui tahap Splitting Dataset untuk memastikan model dapat dievaluasi dengan baik. Pada tahap Machine Learning Algorithm, model SVM Classifier akan diterapkan pada data pelatihan untuk klasifikasi risiko stunting. Di sisi lain, untuk meningkatkan akurasi, tahap Quantum Machine Learning Algorithm menggunakan Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM) akan diterapkan dengan memanfaatkan kernel kuantum untuk menangkap pola non-linear dalam data. Setelah model dilatih, tahap Model Evaluation dilakukan untuk menilai kinerja model berdasarkan metrik seperti akurasi, presisi, dan recall. Akhirnya, model yang sudah terlatih akan digunakan untuk Prediction, memberikan hasil klasifikasi risiko stunting pada data baru. Tahapan penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi berbasis teknologi canggih untuk deteksi dini stunting dengan memanfaatkan pendekatan machine learning klasik dan komputasi kuantum.

1. HASIL DAN DISKUSI
2. IMPLEMENTASI DAN INISIALISASI QUANTUM KERNEL

Inisiasi Kernel Kuantum dimulai dengan membentuk *feature map* menggunakan ZZFeatureMap dengan parameter feature\_dimension = num\_qubits, reps = 1, dan entanglement = "linear". Pemilihan ZZFeatureMap bertujuan untuk mengenkode setiap fitur input (x₀, x₁, ..., xₙ₋₁) ke dalam rotasi fase kuantum, dengan interaksi antarqubit yang direpresentasikan melalui operator ZZ.



Circuit quantum

Tahapan inisialisasi diawali dengan gerbang Hadamard (H) pada setiap qubit untuk menghasilkan superposisi seragam, diikuti rotasi fase satu-qubit sesuai nilai fitur, lalu entanglement linear antarqubit melalui rangkaian gerbang CNOT dan rotasi ZZ.

Setelah *feature map* didefinisikan, digunakan objek Sampler() dari Qiskit sebagai backend simulasi, yang kemudian dipasangkan dengan metode ComputeUncompute() untuk menghitung fidelitas antarstate kuantum. Objek ini menjadi komponen inti dari FidelityQuantumKernel, yang berfungsi mengubah representasi kuantum hasil ZZFeatureMap menjadi matriks kernel. Matriks ini digunakan oleh model Support Vector Machine (SVM) klasik untuk menghitung *similarity* antar sampel, memungkinkan model menangkap korelasi non-linear dalam ruang Hilbert berdimensi tinggi.

1. EVALUASI PERFORMA MODEL

Berikut adalah hasil dari model yang telah dilatih dengan hanya melakukan pre-processing hapus duplikat dan splitting data dengan pembagian 80:20.

Perbandingan Metrik Evaluasi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Kernel | Train ccuracy | Test Accuracy |
| **RBF** | **0.89** | **0.89** |
| Linear | 0.77 | 0.75 |
| Poly | 0.53 | 0.52 |
| Sigmoid | 0.38 | 0.39 |
| Hybrid Quantum | 0.82 | 0.45 |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kernel RBF memberikan performa terbaik pada dataset ini, dengan akurasi pelatihan dan pengujian yang keduanya mencapai 0.89. Ini menunjukkan bahwa kernel RBF dapat memproyeksikan data ke dalam ruang fitur berdimensi tinggi secara non-linear tanpa mengorbankan kemampuan generalisasi. Di sisi lain, kernel linear berada di posisi kedua dengan akurasi pelatihan 0.77 dan akurasi pengujian 0.75. Meskipun stabil, kernel ini kurang mampu menangkap pola non-linear yang kompleks. Kernel polynomial dan sigmoid memiliki hasil yang jauh lebih rendah, dengan akurasi uji masing-masing 0.52 dan 0.39, yang menunjukkan bahwa kedua kernel ini tidak cocok untuk karakteristik data stunting yang non-linear.

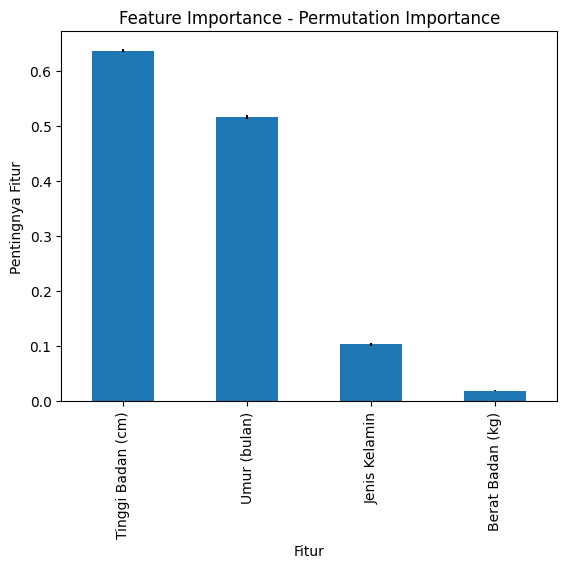
Sementara itu, Hybrid Quantum Kernel yang menggunakan pemetaan fitur berbasis mekanika kuantum menunjukkan akurasi pelatihan yang cukup kompetitif, yakni 0.82. Namun, akurasi pengujian hanya mencapai 0.45, menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara performa pelatihan dan pengujian. Hal ini mengindikasikan overfitting, di mana model mampu mempelajari pola pada data pelatihan dengan baik, tetapi gagal menggeneralisasi pola tersebut ketika diterapkan pada data uji yang baru.

Overfitting pada model Hybrid Quantum Kernel dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, keterbatasan simulasi kuantum di komputer klasik yang membatasi jumlah qubit dan kedalaman sirkuit yang digunakan. Simulasi kuantum pada perangkat keras klasik, meskipun dapat mereplikasi beberapa aspek perilaku kuantum, tidak dapat sepenuhnya mereplikasi keunggulan komputasi kuantum yang sesungguhnya, yang dapat menyebabkan fidelitas kernel yang dihitung menjadi suboptimal. Selain itu, desain feature map yang digunakan masih sederhana, dengan hanya satu repetisi entanglement linear. Meskipun desain ini cukup efisien secara komputasi, kemungkinan belum cukup kompleks untuk menangkap pola non-linear yang kaya dalam data stunting.

Faktor lain yang memengaruhi adalah ukuran dataset yang kecil, yaitu sekitar 10000 sampel. Ukuran dataset yang terbatas dapat menyebabkan variansi tinggi dalam estimasi kernel, yang pada gilirannya menyebabkan model lebih rentan terhadap overfitting. Dengan demikian, model lebih mudah "menghafal" pola pada data pelatihan, tetapi gagal untuk menggeneralisasi dengan baik pada data yang tidak terlihat sebelumnya.

Untuk meningkatkan performa Quantum Kernel, beberapa langkah pengoptimalan dapat dilakukan, seperti meningkatkan kompleksitas feature map dengan menambah jumlah repetisi (*reps*) dan eksperimen dengan berbagai jenis entanglement. Penambahan quantum variational circuits dan pengujian quantum error mitigation juga dapat membantu memperbaiki fidelitas kernel, terutama pada simulasi kuantum berbasis perangkat keras klasik. Selain itu, pengoptimalan hyperparameter SVM pada model kuantum juga perlu dilakukan agar performa keseluruhan dapat ditingkatkan.

1. ANALISIS KONTRIBUSI FITUR TERHADAP TARGET



Feature importance

Berdasarkan Gambar 3, hasil analisis feature importance memperlihatkan bahwa variabel tinggi badan dan umur merupakan faktor dominan yang memengaruhi output model, masing-masing dengan nilai kontribusi 0,6365 dan 0,5159. Hal ini menunjukkan bahwa kedua variabel tersebut menjadi penentu utama dalam mengklasifikasikan status stunting. Tinggi badan, sebagai indikator antropometri yang mencerminkan pertumbuhan linier jangka panjang, menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap variasi status gizi. Sementara itu, umur memberikan konteks temporal yang memungkinkan interpretasi tepat terhadap indikator pertumbuhan, sehingga kombinasi keduanya menjadi fondasi penting dalam pemodelan risiko stunting.

Jenis kelamin menunjukkan kontribusi yang lebih moderat dengan nilai 0,1031. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun terdapat perbedaan biologis antara laki-laki dan perempuan, pengaruhnya terhadap prediksi status stunting tidak sebesar variabel pertumbuhan linier dan usia. Berat badan memiliki kontribusi terendah, yakni 0,0187, yang menunjukkan peran minim dalam klasifikasi pada dataset ini. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh sifat berat badan yang lebih dipengaruhi kondisi jangka pendek seperti status hidrasi dan penyakit akut, sehingga kurang stabil dibandingkan tinggi badan sebagai indikator status gizi kronis.

Temuan ini menegaskan bahwa dalam konteks implementasi kebijakan dan intervensi kesehatan masyarakat, pengukuran tinggi badan yang akurat serta pencatatan umur yang tepat perlu menjadi prioritas. Dengan fokus pada variabel yang memiliki daya prediksi tertinggi, proses deteksi dini dapat ditingkatkan dan alokasi sumber daya dapat dilakukan secara lebih efisien.

1. IMPLEMENTASI WEB

Pada tahap akhir penelitian, model Hybrid Quantum SVM yang telah dibangun diintegrasikan ke dalam sebuah platform berbasis web untuk memfasilitasi pemanfaatannya di lapangan secara lebih terstruktur. Sistem dirancang dengan pendekatan arsitektur microservice, di mana komponen backend dan frontend dikembangkan secara terpisah untuk mengoptimalkan kinerja dan skalabilitas. Komponen backend, yang dibangun menggunakan FastAPI, berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dan eksekusi model prediksi. Sementara itu, komponen frontend, yang dikembangkan menggunakan Next.js, bertanggung jawab dalam penyajian antarmuka yang responsif dan adaptif terhadap berbagai perangkat pengguna.

Dari sisi infrastruktur, frontend diimplementasikan pada platform Vercel untuk menyediakan distribusi konten yang cepat dan stabil, sedangkan backend dihosting pada AWS untuk menjamin kapasitas pemrosesan, reliabilitas layanan, serta keamanan data yang dikelola. Pemisahan infrastruktur ini memungkinkan sistem untuk beroperasi secara efisien dengan latensi minimal, sekaligus memastikan skalabilitas dalam menghadapi peningkatan jumlah pengguna.

Platform ini memungkinkan proses deteksi risiko stunting dilakukan secara daring dengan mengandalkan data antropometri sebagai masukan utama. Hasil prediksi yang dihasilkan dapat digunakan oleh tenaga kesehatan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam intervensi gizi, dan juga memberikan indikasi awal bagi pemangku kepentingan terkait kondisi gizi anak di suatu wilayah. Dengan demikian, penerapan teknologi ini berperan sebagai penghubung antara hasil penelitian berbasis komputasi kuantum dan implementasi praktis di bidang kesehatan masyarakat.

Link akses aplikasi: <https://stunthing.vercel.app/>

1. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem prediksi risiko stunting berbasis model Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM) yang diintegrasikan dalam platform berbasis web. Platform ini menggunakan arsitektur microservice dengan backend yang dibangun menggunakan FastAPI dan frontend menggunakan Next.js, yang dihosting pada AWS dan Vercel untuk memastikan kinerja yang optimal dan skalabilitas. Sistem memungkinkan pengguna untuk melakukan deteksi dini terhadap risiko stunting dengan memasukkan data antropometri anak, yang kemudian menghasilkan prediksi untuk pengambilan keputusan oleh tenaga kesehatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun model Quantum Kernel memiliki potensi, kernel RBF klasik masih memberikan akurasi yang lebih tinggi, dengan nilai akurasi pengujian mencapai 0.89. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun pendekatan kuantum menjanjikan, pengoptimalan lebih lanjut masih diperlukan agar model dapat lebih kompetitif dibandingkan dengan kernel klasik pada dataset yang ada.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk melakukan optimasi pada model Quantum Kernel, seperti menambah kompleksitas *feature map* dan eksperimen dengan jumlah *reps* yang lebih tinggi pada Quantum Circuit. Penggunaan perangkat kuantum nyata juga dapat meningkatkan performa model dibandingkan dengan simulasi kuantum yang terbatas oleh komputasi klasik. Selain itu, peningkatan dataset dengan data yang lebih besar dan lebih beragam dapat membantu model dalam generalisasi dan meningkatkan akurasi. Mengintegrasikan platform ini dengan sistem kesehatan masyarakat yang lebih luas, seperti aplikasi mobile atau basis data rumah sakit, juga dapat meningkatkan kegunaan dan efisiensi sistem dalam pemantauan status gizi anak. Peningkatan infrastruktur cloud, seperti penggunaan AWS Lambd atau serverless architecture, dapat mempercepat pemrosesan data dan meningkatkan responsivitas platform. Dengan langkah-langkah ini, sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya penurunan prevalensi stunting melalui deteksi dini yang lebih efisien dan tepat sasaran.

REFERENSI

1.  WHO (World Health Organization). *Maternal, Infant and Young Child Nutrition: Comprehensive Implementation Plan – Biennial Report*. 2022.
2.  Sekretariat Wakil Presiden RI. “Prevalensi Stunting Indonesia Turun ke 19,8%.” *Stunting.go.id*. Diakses 2024.
3.  Rahayu, S. dkk. “Analisis Faktor Risiko Stunting pada Balita.” *Jurnal Gizi dan Kesehatan*, 2023.
4.  Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan. “SSGI 2024: Prevalensi Stunting Nasional Turun Menjadi 19,8%.” Kementerian Kesehatan RI, 2024.
5.  Sekretariat Wakil Presiden RI. *Struktur dan Strategi Nasional Percepatan Pencegahan Stunting (Stranas P2K)*, 2020.
6.  Yuliarti, A. *Kajian Faktor Lingkungan terhadap Kejadian Stunting*. Poltekkes Jogja, 2021.
7.  Hasanah, U. dkk. “Hubungan Sanitasi Lingkungan dengan Kejadian Stunting.” *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 2022.
8.  Nasution, N. *Faktor Sosial Ekonomi dan Stunting di Indonesia*. UIN Sumatera Utara, 2021.
9.  Putri, E. *Analisis Kebijakan Penanganan Stunting di Sumatera Barat*. Universitas Andalas, 2022.
10.  Dewi, K. dkk. “Pemanfaatan Teknologi untuk Deteksi Dini Stunting.” *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2024.
11.  Humas Kemenkes RI. “Prevalensi Stunting Nasional Turun Jadi 19,8 Persen, Menkes RI Targetkan 18,8 Persen di Tahun 2025.” *Kukarkab.go.id*, 2024.
12.  Sari, M. *Peran Posyandu dalam Pencegahan Stunting*. Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2021.
13.  Tanoto Foundation. “Stunting, Ancaman bagi Masa Depan Anak-anak Indonesia.” *TanotoFoundation.org*, 2023.
14.  Lestari, D. *Tinjauan Pustaka: Stunting dan Faktor-faktornya*. Poltekkes Jogja, 2022.
15.  Tempo.co. “BKKBN Bertekad Turunkan Angka Stunting pada 2025.” *Tempo.co*, 2023.
16.  Fakultas Kesehatan Masyarakat Unair. “Target Global Organisasi Kesehatan Dunia untuk Mengurangi Pengerdilan Anak pada Tahun 2025: Alasan dan Tindakan yang Diusulkan.” *FKM Unair News*, 2022.
17.  Siregar, T. “Evaluasi Kebijakan Penanggulangan Stunting di Indonesia.” *Jurnal Praxis*, 2023.
18.  Kementerian Kesehatan RI. “Stunting.” *AyoSehat.kemkes.go.id*, 2024.
19.  Kemenko PMK RI. “Prevalensi Stunting Tahun 2024 Turun Jadi 19,8 Persen, Pemerintah Terus Dorong Penguatan Gizi.” *Kemenkopmk.go.id*, 2024.
20.  Pemerintah Kota Bandung. “Waspada Stunting di Kota Bandung: Data, Fakta, dan Solusi Bersama.” *Open Data Kota Bandung*, 2023.