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. Di Indonesia, meskipun prevalensi stunting mengalami penurunan, angka tersebut masih lebih tinggi daripada target yang ditetapkan oleh pemerintah. Stunting tidak hanya berdampak pada kesehatan fisik anak, tetapi juga pada perkembangan kognitif dan produktivitas ekonomi jangka panjang, serta memperburuk kemiskinan antargenerasi. Oleh karena itu, deteksi dini menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi anak yang berisiko mengalami stunting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan penerapan **Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM)** dalam memodelkan risiko stunting pada balita. Model ini menggabungkan metode **Support Vector Machine (SVM)** klasik dengan kernel kuantum yang lebih efisien dalam memproses data dengan pola non-linear yang kompleks. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih akurat dan efisien dalam mendeteksi risiko stunting berdasarkan data antropometri dan lingkungan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengembangan model QSVM dengan data yang mencakup fitur antropometri anak dan kondisi lingkungan yang memengaruhi status gizi mereka. Model ini kemudian diintegrasikan dalam sebuah aplikasi berbasis web menggunakan **FastAPI** untuk server backend dan **Next.js** untuk frontend. Aplikasi ini memungkinkan tenaga kesehatan dan orang tua untuk melakukan skrining risiko stunting secara interaktif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan QSVM dalam memodelkan risiko stunting dapat meningkatkan akurasi deteksi dan mendukung upaya percepatan penurunan prevalensi stunting di Indonesia, serta memberikan solusi berbasis teknologi yang efisien untuk mendukung program kesehatan masyarakat.

KATA KUNCI — Stunting, Hybrid Quantum Machine Learning, 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 respon terhadap kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan Hybrid Quantum Support Vector Machine (QSVM) untuk memodelkan risiko stunting pada balita dalam empat kategori kelas (Tall, Stunted, Normal, Severely Stunted). Pendekatan hybrid di sini merujuk pada algoritma SVM klasik yang diperkaya dengan kernel kuantum variational sebagai fungsi kernel-nya. Melalui kernel kuantum, data fitur – seperti indikator antropometri anak (misalnya tinggi badan, berat badan terhadap umur).Pemetaan kuantum ini memungkinkan model menangkap pola hubungan non-linear yang kompleks antar fitur, tanpa menyebabkan lonjakan beban komputasi pada perangkat klasik. Dengan kata lain, QSVM dapat memanfaatkan keunggulan komputasi kuantum untuk memperkuat kemampuan klasifikasi SVM dalam mendeteksi pola risiko stunting yang kompleks dan mungkin luput tertangkap 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

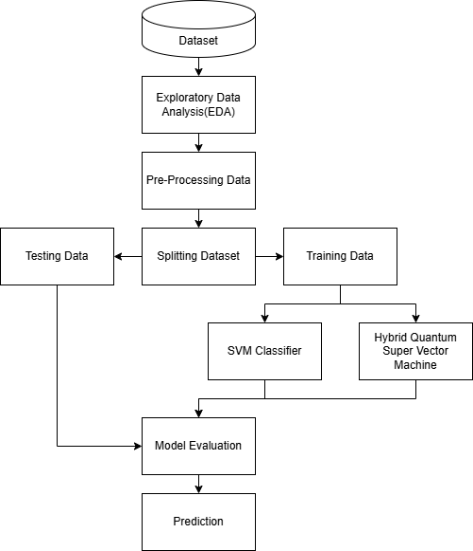
1. ALAT PENELITIAN

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 1000 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.

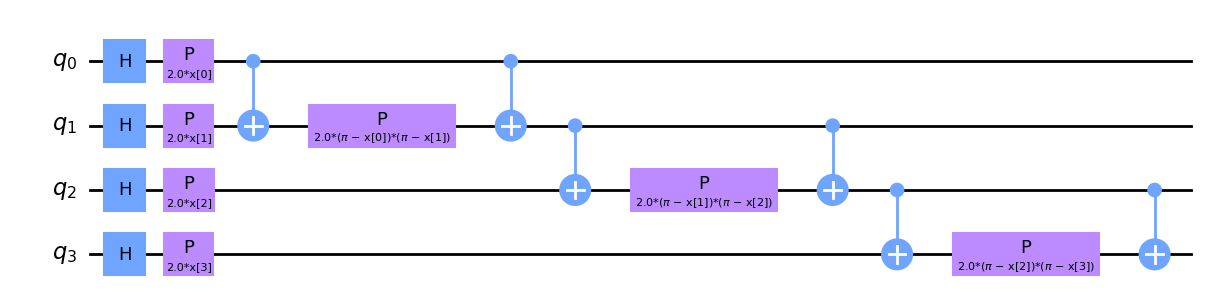
1. TAHAPAN PENELITIAN



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. INISIASI KERNEL QUANTUM

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. 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 |

1. VISUALISASI HASIL MODEL TERBAIK
2. KESIMPULAN

REFERENSI

Judul pada bagian Referensi tidak boleh bernomor. Semua *item* referensi dalam *font* berukuran 8. Tuliskan referensi sesuai format berdasarkan masing-masing kategori sumber, seperti dicontohkan pada bagian Referensi. Penomoran *item* referensi diketik berurutan dalam tanda kurung siku (misalnya [1]).

Kutipan (sitasi) dan Referensi ditulis mengikuti standar IEEE. Ketika Anda mengacu pada *item* referensi (sitasi), silakan menggunakan nomor referensi saja, misalnya [2]. Jangan menggunakan “Ref. [3]” atau “Referensi [3],” kecuali pada awal kalimat, misalnya “Referensi [3] menunjukkan bahwa ...” Dalam penggunaan beberapa referensi, masing-masing nomor diketik dengan kurung terpisah (misalnya [2], [3], [4]-[6]). Beberapa contoh *item* referensi dengan kategori yang berbeda ditampilkan pada bagian Referensi, yang meliputi:

* contoh buku pada [1],
* contoh seri buku dalam [2],
* contoh artikel jurnal di [3],
* contoh makalah seminar di [4],
* contoh paten dalam [5],
* contoh *website* di [6],
* contoh dari suatu halaman web di [7],
* contoh *manual databook* dalam [8],
* contoh *datasheet* dalam [9],
* contoh tesis master di [10],
* contoh laporan teknis dalam [11], dan
* contoh standar dalam [12].

Berikut adalah contoh penulisan 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.