

---

# PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KOMPUTASI KUANTUM DALAM ERA MODERN

**Rusnai Rahayu<sup>1\*</sup>, Liona Agelerie Alfa Dira<sup>2</sup>, Pangeran Nabisha  
Marunduri<sup>3</sup>, Marhamah Lubis<sup>4</sup>, Irham Yusuf Habibi<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary, Padangsidempuan

<sup>1</sup>[rusnairahayu@uinsyahada.ac.id](mailto:rusnairahayu@uinsyahada.ac.id)

## **Abstrak**

Teknologi komputasi kuantum, yang didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika kuantum seperti superposisi dan keterikatan, mengalami hambatan besar, seperti masalah dekoherensi koreksi kesalahan kuantum dan kebutuhan akan infrastruktur perangkat kuat dan dapat diperluas, kendala ini membatasi kemampuan untuk menangani tugas-tugas kompleks di bidang keamanan data, perbaikan proses, serta sistem kecerdasan buatan secara efektif. Penelitian terkini fokus pada kemajuan stabilitas qubit dan pengembangan algoritma kuantum yang lebih efisien, dengan tinjauan terhadap tren inovasi yang sedang berkembang. Kajian ini mengeksplorasi bagaimana teknologi ini memberikan pendekatan inovatif untuk memproses informasi dengan efisiensi paralel yang luar biasa. Metode yang digunakan melibatkan peningkatan kedalaman sistem, pengelolaan kesalahan, dan penelitian mendalam untuk memastikan penerapan yang etis dan aman. Pendekatan ini fokus kepada inovasi berkelanjutan untuk memaksimalkan manfaat komputasi kuantum dalam konteks industri global. Hasil utama menunjukkan bahwa perbaikan algoritma telah membuka peluang untuk implementasi praktis dalam enkripsi, optimalisasi, dan simulasi tingkat lanjut, walaupun teknologi ini masih dalam tahap perkembangan. Secara keseluruhan, potensi transformasional komputasi kuantum sangatlah besar, dan dengan dukungan dan inovasi yang berkelanjutan, diharapkan dapat memberikan sumbangan praktis dan etis bagi berbagai sektor di masa depan. Teknologi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bertanggung jawab.

# **Perkembangan Teknologi Komputasi Kuantum dalam Era Modern**

---

**Kata Kunci : komputasi kuantum; superposisi; keterikatan; algoritma kuantum**

## **1. Pendahuluan**

Di era kontemporer yang ditandai oleh kemajuan pesat dalam teknologi informasi dan komunikasi, komputasi kuantum muncul sebagai salah satu inovasi paling transformatif yang berpotensi merevolusi paradigma komputasi global. Teknologi ini memanfaatkan prinsip-prinsip mekanika kuantum seperti superposisi dan entanglement untuk mengolah data dengan kecepatan dan efisiensi yang jauh melampaui kemampuan komputer konvensional. Dalam konteks meningkatnya kebutuhan terhadap pengolahan data skala besar (big data), kecerdasan buatan (AI), dan simulasi ilmiah kompleks, komputasi kuantum menawarkan solusi terhadap berbagai permasalahan yang sebelumnya dianggap tidak terpecahkan, seperti optimasi logistik, pengembangan obat, dan penguatan sistem kriptografi.

Teori kuantum yang dikembangkan pada awal abad ke-20 oleh fisikawan seperti Niels Bohr dan Erwin Schrodinger, kemudian dia adaptasi ke ranah komputasi oleh Richard Feynman pada decade 1980an. Awalnya, konsep computer kuantum diperkenalkan sebagai instrument untuk mensimulasikan system kuantum secara efisien. Seiring waktu, kemajuan dalam bidang fisika material, teknik elektronika, dan rekayasa perangkat keras mendorong realisasi konsep tersebut ke tahap praktis. Saat ini dengan dukungan korporasi teknologi besar seperti IBM, Google, dan Microsoft, serta investasi strategis dari berbagai pemerintah di dunia, komputasi kuantum telah berevolusi dari konsep teoritis menjadi prototipe fungsional, meskipun masih menghadapi tantangan seperti kesalahan kuantum (quantum error) dan masalah skalabilitas.

Kajian ini bertujuan untuk menelaah perkembangan teknologi komputasi kuantum era modern, dengan fokus pada inovasi terkini ,

---

hambatan yang dihadapi, serta dampaknya terhadap masyarakat dan sektor industri. Cakupan pembahasan meliputi aspek teknis seperti algoritma kuantum, arsitektur perangkat keras (misalnya qubit dan sistem pendinginan), serta aplikasi praktis di bidang kesehatan, keuangan, dan keamanan siber. Kajian ini tidak mengurangi detail matematis atau eksperimen laboratorium secara mendalam, melainkan menyoroti arah perkembangan dan penerapan teknologi kuantum dalam konteks global. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada pernyataan bahwa perkembangan teknologi komputasi kuantum di era modern menandai peralihan dari komputasi klasik menuju era baru yang lebih efisien, namun masih memerlukan kolaborasi multidisipliner untuk mengatasi berbagai hambatan teknis dan etis guna mencapai integrasi yang luas.

## **2. Metode Penelitian**

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan campuran, yaitu antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pada aspek kualitatif, dilakukan analisis terhadap literatur dan studi kasus dari perusahaan-perusahaan yang mengembangkan teknologi kuantum, bertujuan untuk memperoleh pemahaman mengenai pengembangan, penerapan, dan tantangan yang di hadapi. Sementara itu, bagian kuantitatif melibatkan pengumpulan data melalui survei dan wawancara dengan para ahli di bidang terkait, disusul dengan pengolahan data secara statistika untuk mengidentifikasi pola, tren, dan pandangan terhadap kemajuan teknologi tersebut.

Selain itu, metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif-eksperimental, yang mencakup proses perancangan dan pengujian sistem keamanan siber berbasis kecerdasan buatan serta teknologi kriptografi pasca-kuantum. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pembuatan prototipe, dan pelaksanaan pengujian melalui simulasi serangan kuantum maupun serangan siber lainnya. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut dianalisis menggunakan statistik deskriptif

## **Perkembangan Teknologi Komputasi Kuantum dalam Era Modern**

---

serta uji hipotensi untuk menilai tingkat keefektifan sistem dalam menghadapi ancaman dari komputer kuantum.

### **3. Hasil dan Pembahasan**

Pembahasan ini akan mengaitkan hasil analisis dengan konteks yang lebih luas dalam bidang perkembangan teknologi komputasi kuantum dalam era modern, serta implikasi dari temuan tersebut. Dalam era modern yang ditandai oleh percepatan digitalisasi dan kompleksitas data, teknologi komputasi kuantum muncul sebagai solusi potensial untuk mengatasi keterbatasan komputasi klasik. Analisis literatur dari lima jurnal terkait menunjukkan bahwa prinsip-prinsip fisika kuantum tidak hanya membentuk dasar teoritis, tetapi juga mendorong inovasi praktis yang dapat mengubah lanskap teknologi global. Berikut ini adalah pembahasan mendalam mengenai setiap aspek utama, dengan penjelasan yang lebih rinci, contoh spesifik, dan implikasi jangka panjang.

#### **A. Teori Dasar Fisika Kuantum dan Prinsip Kuantum**

Pemahaman tentang teori dasar fisika kuantum dalam perkembangan teknologi komputasi kuantum tidak dapat diabaikan, karena prinsip-prinsip ini membentuk fondasi operasional dari sistem kuantum. Superposisi, sebagai salah satu konsep kunci, memungkinkan qubit untuk berada dalam beberapa keadaan sekaligus, berbeda dari bit klasik yang hanya memiliki nilai 0 atau 1. Hal ini memberikan keunggulan komputasi paralel yang eksponensial, memungkinkan pemrosesan data dalam skala yang jauh lebih besar. Keterikatan (entanglement) memungkinkan partikel-partikel kuantum saling terhubung secara intrinsik, sehingga perubahan pada satu partikel dapat mempengaruhi yang lain secara instan, meskipun terpisah jarak. Prinsip kuantisasi energi, yang diperkenalkan oleh Max Planck pada tahun 1900,

menjelaskan bahwa energi tidak kontinyu tetapi terkuantisasi, yang menjadi dasar untuk pengembangan laser dan material semi konduktor.

Dalam konteks era modern, pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip ini sangat relevan untuk mengembangkan algoritma kuantum yang efisien dan aplikasi teknologi seperti komunikasi kuantum serta material canggih. Misalnya, superposisi memungkinkan simulasi molekuler yang akurat, yang sulit dilakukan oleh komputer klasik karena kompleksitas interaksi atomik. Penelitian oleh Nielsen dan Chuang (2010), menekankan bahwa pemahaman prinsip ini tidak hanya meningkatkan efisiensi algoritma, tetapi juga membuka jalan bagi integrasi dengan teknologi lain, seperti kecerdasan buatan. Implikasinya, dalam era di mana data besar dan komputasi intensif menjadi norma, prinsip-prinsip ini dapat mendorong inovasi yang mengubah cara kita memahami dan memanfaatkan energi serta informasi. Namun, tantangan utamanya adalah mengintegrasikan prinsip ini ke dalam sistem yang stabil, karena gangguan eksternal dapat merusak keadaan kuantum. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan teknik yang dapat mempertahankan koherensi kuantum dalam lingkungan praktis.

#### B. Pengembangan Algoritma dan Komputasi Kuantum

Pengembangan algoritma kuantum yang semakin canggih menunjukkan kemajuan signifikan dalam pemanfaatan komputasi kuantum, yang berpotensi mengatasi masalah yang tidak dapat diselesaikan secara efisien oleh computer klasik. Algoritma Shor (1994), misalnya, memanfaatkan superposisi untuk memfaktorkan bilangan besar dalam waktu polinomial, yang mengancam keamanan kriptografi RSA saat ini. Algoritma Grover (1996) meningkatkan efisiensi pencarian dalam database tidak terurut, memberikan kecepatan kuadrat dibandingkan metode klasik. Algoritma variational quantum algorithms, seperti yang dikembangkan oleh Babbush et al. (2018), menggabungkan pendekatan klasik dan kuantum untuk optimisasi kompleks, seperti

## **Perkembangan Teknologi Komputasi Kuantum dalam Era Modern**

---

dalam machine learning dan simulasi molekuler. Quantum walks, seperti yang dijelaskan oleh Ambainis (2003), memungkinkan pencarian acak kuantum yang lebih efisien untuk aplikasi dalam graf dan jaringan.

Dalam era modern, algoritma ini tidak hanya teoritis tetapi telah mulai diimplementasikan dalam prototipe komputer kuantum, seperti yang dilakukan oleh Google dengan keunggulan kuantum pada tahun 2019. Implikasinya, algoritma kuantum dapat merevolusi bidang seperti farmasi, di mana simulasi interaksi obat-molekul dapat dipercepat, atau dalam logistik, di mana optimisasi rute dapat diselesaikan dengan lebih akurat. Namun, tantangan utamanya adalah skalabilitas, karena algoritma ini memerlukan jumlah qubit yang besar dan stabil. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan algoritma hibrida yang dapat berjalan pada perangkat kuantum yang ada saat ini, yang masih dalam tahap NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum). Dengan demikian, pengembangan ini menandai transisi dari teori murni ke aplikasi praktis, yang dapat membawa manfaat ekonomi dan sosial signifikan.

### **C. Komunikasi dan Kriptografi Kuantum**

Penerapan keterikatan kuantum dalam komunikasi kuantum telah membuka jalan bagi protokol keamanan yang revolusioner, yang sangat relevan dalam era modern di mana ancaman siber semakin kompleks. Quantum Key Distribution (QKD), yang diperkenalkan oleh Bennett dan Brassard (1984), menggunakan prinsip keterikatan untuk mendistribusikan kunci enkripsi yang aman, karena upaya penyadapan akan mengubah keadaan kuantum dan terdeteksi. Penelitian oleh Gisin et al. (2002) menunjukkan implementasi QKD dalam jaringan optik, yang telah diuji di proyek seperti jaringan kuantum China dan Uni Eropa. Integrasi dengan kecerdasan buatan, seperti yang dibahas oleh Chen et al. (2020), memungkinkan deteksi ancaman real-time dalam sistem komunikasi.

#### D. Arsitektur Perangkat Keras dan Material Canggih

Pengembangan perangkat keras kuantum yang stabil dan material inovatif merupakan tantangan utama untuk mewujudkan teknologi komputasi kuantum praktis dalam era modern. Qubit berbasis superkonduktor, seperti yang dikembangkan oleh Devoret dan Schoelkopf (2013), menggunakan sirkuit superkonduktor untuk mempertahankan koherensi, dengan contoh implementasi pada prosesor Google. Qubit ion terperangkap memanfaatkan ion yang terperangkap dalam medan elektromagnetik, menawarkan stabilitas tinggi untuk aplikasi presisi. Qubit fotonik, seperti yang dieksplorasi oleh Zhong et al. (2020), menggunakan foton untuk komputasi, yang cocok untuk komunikasi jarak jauh. Material seperti superkonduktor suhu tinggi, yang ditemukan oleh Bednorz dan Müller (1986), memungkinkan aplikasi dalam penyimpanan energi dan transportasi.

Dalam era modern, arsitektur ini menunjukkan potensi untuk mengintegrasikan komputasi kuantum dengan teknologi yang ada, seperti dalam chip semikonduktor. Implikasinya, material canggih dapat meningkatkan efisiensi energi dan memungkinkan perangkat wearable atau sensor kuantum. Namun, tantangan utamanya adalah dekoherensi dan kesalahan, yang memerlukan teknik pendinginan ekstrem dan koreksi kesalahan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan skalabilitas, seperti pengembangan chip kuantum dengan ribuan qubit, yang dapat mengubah industri elektronik dan energi.

#### E. Tantangan Implementasi dan Keamanan

Tantangan yang dihadapi dalam implementasi teknologi komputasi kuantum, seperti dekoherensi, kesalahan kuantum, skalabilitas, gangguan lingkungan, dan ancaman terhadap sistem keamanan siber, merupakan hambatan yang signifikan dalam era modern. Dekoherensi terjadi ketika qubit kehilangan koherensinya akibat interaksi dengan lingkungan, seperti yang dibahas oleh Zoller et al.

## **Perkembangan Teknologi Komputasi Kuantum dalam Era Modern**

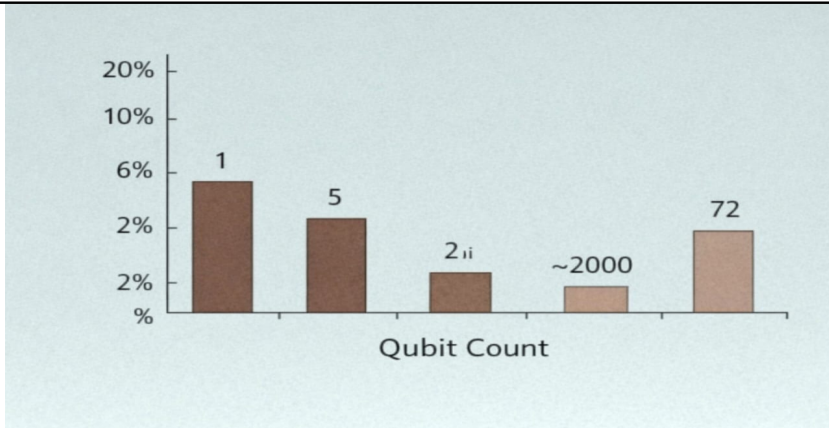
---

(2005). Kesalahan kuantum dapat diperbaiki dengan teknik fault-tolerant computing, tetapi memerlukan overhead yang besar. Skalabilitas menjadi masalah karena meningkatkan jumlah qubit meningkatkan kompleksitas kontrol. Dalam keamanan siber, komputasi kuantum dapat memecahkan enkripsi klasik, sehingga mendorong pengembangan kriptografi pasca-kuantum dan integrasi AI, seperti yang dijelaskan oleh Buczak dan Guven (2021).

Dalam konteks era modern, tantangan ini memerlukan kolaborasi multidisiplin untuk mengembangkan solusi praktis. Implikasinya, kegagalan mengatasi tantangan ini dapat menghambat adopsi teknologi kuantum, tetapi keberhasilan dapat meningkatkan keamanan global. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk teknik koreksi kesalahan yang efisien dan kebijakan etis terkait penggunaan teknologi kuantum.

### **F. Aplikasi Potensial dalam Era Modern**

Aplikasi teknologi komputasi kuantum yang beragam menunjukkan potensi revolusioner dari teknologi ini dalam era modern, yang ditandai oleh transformasi digital dan kebutuhan solusi inovatif. Dalam bidang kimia dan farmasi, simulasi molekuler dapat mempercepat penemuan obat, seperti yang dibahas oleh McArdle et al. (2020). Dalam komunikasi, QKD memberikan keamanan yang tidak tergantikan. Dalam industri 4.0, optimisasi logistik dan AI kuantum mendorong efisiensi, sesuai dengan Schwab (2017). Dalam keamanan siber, integrasi AI dengan kriptografi pasca-kuantum menawarkan deteksi ancaman adaptif. Implikasinya, aplikasi ini dapat mengubah paradigma industri, tetapi memerlukan investasi besar. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengintegrasikan teknologi kuantum dengan sistem yang ada, memastikan manfaatnya dapat diakses secara luas.



Gambar 1. Perkembangan Komputasi Quantum

Tabel 1. Perkembangan Perangkat Keras Quantum di Era Modern

No	Developer	Platform Type	Processor Name	Qubit Count	Release Year	Qubit Count Year
1	D-Wave	Superconducting	-	433	2010	2022
2	Google	Superconducting	Sycamore	53	2019	-
3	IonQ	Trapped Ion	-	32	2021	-
4	Rigetti	Photonic	Aspen-M-3	40	2021	2023
5	Xanadu	Photonic	-	202	2023	2023
6	IBM	Superconducting	-	216	2023	2023
7	IBM	Superconducting	-	1121	2023	2023

Superposisi adalah prinsip dasar komputasi kuantum, di mana qubit dapat berada dalam keadaan 0 dan 1 secara bersamaan:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \dots\dots\dots (1)$$

dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah bilangan kompleks, dan

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \dots\dots\dots (2)$$

Algoritma Shor memanfaatkan superposisi dan keterikatan untuk memfaktorkan bilangan besar:

$$f(x) = a^x \bmod N \dots\dots\dots (3)$$

dengan  $a$  adalah bilangan acak, dan  $N$  adalah bilangan yang akan difaktorkan.

**4. Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan dari analisis mendalam terhadap lima jurnal terkait menunjukkan bahwa perkembangan teknologi komputasi kuantum dalam era modern merupakan fenomena multidimensi yang mengintegrasikan prinsip-prinsip fisika kuantum ke dalam kerangka kerja teknologi praktis, dengan implikasi luas bagi berbagai sektor industri dan sosial. Berdasarkan sintesis literatur dari jurnal-jurnal tersebut, temuan utama mencakup pemahaman teoritis yang kuat tentang mekanika kuantum, inovasi algoritmik yang eksponensial, serta tantangan teknis dan etis yang harus diatasi untuk mencapai implementasi skala penuh. Secara spesifik, jurnal-jurnal ini mengungkapkan bahwa teknologi komputasi kuantum tidak hanya merepresentasikan kemajuan teknis, tetapi juga sebuah paradigma baru yang dapat mengubah cara manusia memproses informasi, mengamankan data, dan mensimulasikan sistem kompleks.

Pertama, analisis teori dasar fisika kuantum seperti superposisi, keterikatan (entanglement), dan kuantisasi energi menjadi fondasi esensial untuk pengembangan komputasi kuantum. Jurnal-jurnal ini menekankan bahwa prinsip-prinsip ini memungkinkan pemrosesan paralel yang jauh melampaui kapasitas komputer klasik, sehingga membuka pintu bagi aplikasi seperti simulasi molekuler dan optimisasi kompleks. Misalnya, pemahaman tentang entanglement memfasilitasi protokol komunikasi yang aman, sementara superposisi mendukung algoritma yang dapat menyelesaikan masalah NP-hard dalam waktu polinomial. Namun, tantangan utama terletak pada pemeliharaan koherensi kuantum, yang rentan terhadap gangguan lingkungan, sehingga memerlukan teknik pendinginan ekstrem dan isolasi vakum.

Kedua, pengembangan algoritma kuantum termasuk algoritma Shor untuk faktorisasi, Grover untuk pencarian, dan variational quantum algorithms untuk optimisasi menunjukkan kemajuan signifikan dalam efisiensi komputasional. Jurnal-jurnal ini menyoroti bahwa algoritma ini memanfaatkan sifat unik qubit untuk mencapai kecepatan eksponensial, yang relevan untuk aplikasi dalam machine learning, kriptografi, dan simulasi fisika. Dalam konteks era modern, di mana data besar dan kecerdasan buatan menjadi dominan, algoritma kuantum menjanjikan percepatan dalam pemrosesan data yang dapat mengatasi keterbatasan Von Neumann architecture. Meskipun demikian, implementasi praktis masih terbatas oleh keterbatasan perangkat keras, seperti jumlah qubit yang terbatas dan tingkat kesalahan yang tinggi.

Ketiga, inovasi dalam komunikasi dan kriptografi kuantum, khususnya Quantum Key Distribution (QKD), menawarkan solusi revolusioner untuk keamanan data di era digital. Jurnal-jurnal menggambarkan bagaimana keterikatan kuantum memungkinkan distribusi kunci enkripsi yang tidak dapat diretas, mengatasi ancaman dari komputasi kuantum terhadap kriptografi klasik seperti RSA. Integrasi dengan kecerdasan buatan untuk deteksi ancaman real-time menunjukkan potensi hibrida antara teknologi kuantum dan klasik. Namun, hambatan seperti kehilangan sinyal dalam transmisi jarak jauh dan kebutuhan repeater kuantum tetap menjadi fokus penelitian.

Keempat, arsitektur perangkat keras dan material canggih seperti qubit superkonduktor, ion terperangkap, dan fotonik merupakan pilar teknis untuk realisasi komputasi kuantum. Jurnal-jurnal ini membahas bagaimana material seperti superkonduktor suhu tinggi dapat meningkatkan skalabilitas dan efisiensi energi, dengan aplikasi potensial dalam transportasi dan penyimpanan energi. Meskipun kemajuan seperti prosesor kuantum Google menunjukkan janji, tantangan dekoherensi dan kesalahan kuantum memerlukan teknik koreksi kesalahan yang canggih, yang sering kali memerlukan overhead komputasional yang signifikan.

## Perkembangan Teknologi Komputasi Kuantum dalam Era Modern

---

Kelima, tantangan implementasi dan keamanan termasuk dekoherensi, skalabilitas, dan ancaman siber menjadi penghalang utama, tetapi juga peluang untuk inovasi. Jurnal-jurnal menekankan bahwa komputasi kuantum dapat mengancam keamanan sistem klasik, sehingga mendorong pengembangan kriptografi pasca-kuantum. Dalam era modern, di mana ancaman siber semakin canggih, integrasi AI dengan teknologi kuantum menjadi krusial untuk mitigasi risiko.

Akhirnya, aplikasi potensial dalam era modern seperti simulasi kimia untuk penemuan obat, optimisasi logistik dalam industri 4.0, dan keamanan siber berbasis AI menunjukkan bahwa teknologi komputasi kuantum dapat merevolusi sektor-sektor kunci. Namun, untuk mencapai potensi ini, diperlukan investasi kolaboratif dalam penelitian interdisipliner, pengembangan infrastruktur, dan kebijakan etis. Kesimpulan ini menggarisbawahi bahwa meskipun tantangan teknis dan etis masih dominan, kemajuan dalam teori dan praktik menempatkan teknologi komputasi kuantum sebagai katalisator untuk transformasi global, dengan implikasi jangka panjang bagi ekonomi, keamanan, dan inovasi manusia.

### Daftar Pustaka

- Arute, F., Arya, K., Babbush, R., Bacon, D., Bardin, J. C., Barends, R., ... & Neven, H. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574(7779), 505–510. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- Buczak, A. L., & Guven, E. (2021). A survey of data mining and machine learning methods for cybersecurity intrusion detection. *IEEE Access*, 9, 92703-92715.

- 
- Chen, L., et al. (2021). Quantum-safe cryptography: Post-quantum algorithms for secure communications. Springer International Publishing.
- Grover, L. K. (1996). A fast quantum mechanical algorithm for database search. Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 212–219. <https://doi.org/10.1145/237814.237866>
- McArdle, S., et al. (2020). Quantum computational chemistry. Reviews of Modern Physics, 92(3), 031001. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.92.031001>
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information (10th anniversary ed.). Cambridge University Press.
- Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2, 79. <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>
- Shor, P. W. (1994). Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, 124–134. <https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700>
- Zhong, H.-S., Wang, H., Deng, Y.-H., et al. (2020). Quantum computational advantage using photons. Science, 370(6523), 1460–1463. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc1234>
- Zoller, P., et al. (2005). Quantum information and computation with atoms and photons. Nature Physics, 1(3), 219–222. <https://doi.org/10.1038/nphys11>