

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika kuantum mengacu pada fenomena dan karakteristik sistem atom dan subatom yang tidak dapat dijelaskan oleh fisika klasik. Fisika kuantum adalah dasar dari banyak teknologi modern. Teknologi kuantum generasi pertama memberikan dasar bagi bidang-bidang utama seperti teknologi semikonduktor dan laser. Beberapa dekade terakhir, teknologi kuantum telah didirikan sebagai bidang penelitian baru yang dibangun di atas hasil penelitian dari fisika, matematika dan komputer sains, yang telah menghasilkan banyak ide dan konsep baru untuk aplikasi teknis (Cirac and Zoller, 1995).

Penyusunan teknologi kuantum di masa depan memerlukan keadaan nonklasik yang terdiri atas *Schrödinger cat states*, *squeezed states* dan *entangled states*. Keadaan nonklasik bisa mengacu pada cahaya, mekanika, atau keduanya, cahaya dan mekanika. Cahaya nonklasik digunakan untuk mengirimkan qubit atau keterikatan dalam jarak jauh. Keadaan cahaya nonklasik yang mencakup keadaan *squeezed* dan keadaan *entangled* yang merupakan landasan mekanika kuantum dan ilmu informasi kuantum (Yan *et al.*, 2021). Konsep cahaya juga dijelaskan dalam Al Qur'an surat An-Nur ayat 35 Allah berfirman:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ المِصْبَاحُ فِي رُجَاةٍ الزُّجَاجَةِ
كَانَتْهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِن شَجَرَةٍ مُّبْرَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَّا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ
تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَلَهُ
بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمٌ

artinya: “ Allah (pemberi) cahaya kepada langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya seperti sebuah lubang yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca dan tabung kaca itu bagaikan bintang yang berkilauan yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang diberkahi yaitu pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat, yang minyaknya saja hampir-hampir menerangi walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis). Allah memberi petunjuk kepada cahaya-Nya bagi orang yang Dia kehendaki, dan Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu. ”.

Cahaya juga merupakan bentuk radiasi elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata manusia. Cahaya terdiri dari foton, partikel dasar yang tidak bermassa, yang bergerak dengan kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Spektrum cahaya tampak mencakup panjang gelombang dari sekitar 380 nanometer (nm) hingga 750 nm. Cahaya memiliki sifat ganda, yaitu bersifat sebagai gelombang dan partikel, sebuah konsep yang dikenal sebagai dualisme gelombang-partikel (Halliday *et al.*, 2013).

Pada konteks gelombang, cahaya dapat dijelaskan melalui panjang gelombang, frekuensi, dan amplitudo. Pada konteks partikel, cahaya terdiri dari foton yang masing-masing memiliki energi yang berbanding lurus dengan frekuensinya. Fenomena optik seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi merupakan hasil dari sifat gelombang cahaya, sementara efek fotolistrik dan emisi spontan adalah contoh dari sifat partikel cahaya (Born *et al.*, 1999).

Cahaya dalam keadaan nonklasik juga menunjukkan sifat-sifat yang tidak dapat dijelaskan oleh teori optik klasik, untuk menghasilkan keadaan nonklasik dapat dilakukan secara mekanis osilator atau bisa juga dengan melibatkan kedua sistem yaitu mekanika dan cahaya. Osilator mekanis yang ditemukan secara alami yaitu yang memiliki statistik gaussian yang berhubungan dengan pengukuran posisi dan momentum (kuadratur medan dalam kasus cahaya), seperti *Gaussian states*, yang mencakup keadaan termal mode mekanis serta *ground state*. Di sisi lain cahaya dengan keadaan koheren dan vakum adalah jenis keadaan klasik yang bersifat optomekanis. Pada kumpulan *Gaussian state*, keadaan tersebut biasanya disebut sebagai keadaan nonklasik dengan variansi dari salah satu variabel kanonik dikurangi di bawah tingkat fluktuasi titik nol.

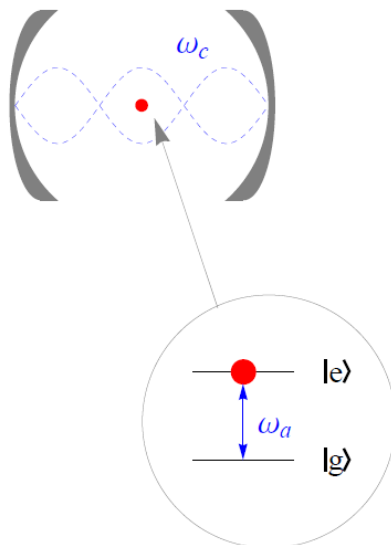
Suatu keadaan dapat diklasifikasikan sebagai nonklasik apabila fungsi Wignernya negatif. Gagasan nonklasikalitas ini menyiratkan pada keadaan kuantum murni. Semua keadaan *non Gaussian* juga nonklasik, karena setiap keadaan kuantum murni *non Gaussian* mempunyai fungsi Wigner yang negatif. *Squeezed* dan *entangled Gaussian states* pada prinsipnya dapat dicapai dengan bentuk interaksi tekanan radiasi yang kuat dan terlinearisasi, atau dapat disiapkan dan diverifikasi secara kondisional melalui cara deteksi *homodyne* cahaya. Ini semua disebut sebagai "*Gaussian tools*" yang merupakan komponen *Gaussian* dari keadaan keseluruhan, namun cukup untuk mengarahkan sistem pada *Gaussian* dari keadaan nonklasik (Hammerer *et al.*, 2012).

Homodyne berkenaan dengan dua gelombang yang berasal dari satu sumber radiasi, atau memiliki frekuensi yang persis sama. Pengukuran *homodyne*

memiliki sensitivitas tinggi untuk mendeteksi kuadratur bidang elektromagnetik. Hal ini dicapai dengan pencampuran kekuatan tinggi, osilator lokal fase stabil dengan sinyal input dan mendeteksi komponen frekuensi rendah yang dihasilkan. Deteksi *homodyne* dapat beroperasi sangat dekat dengan batas yang ditentukan oleh mekanika kuantum (Kumar *et al.*, 2012), karena itu pengukuran *homodyne* telah menjadi komponen penting bagi kuantum optik, gelombang mikro optik, komunikasi, dan komputasi (Combes and Lund, 2022). Pada analisis kuantum pengukuran *homodyne* dari semua elemen skema (bidang, pemecah sinar, dan detektor) harus diperlakukan sebagai objek kuantum (Kiukas and Lahti†, 2008; Walker, 1987). *Homodyne detection* digunakan untuk mengukur dan mengkarakterisasi sifat kuantum dari medan elektromagnetik yang berinteraksi dengan atom dalam rongga, membantu dalam optimasi dan pemahaman lebih lanjut tentang dinamika sistem Jaynes-Cummings.

Sistem kuantum Jaynes-Cummings mewakili salah satu model paling mendasar untuk interaksi materi cahaya kuantum, yang memodelkan interaksi antara sistem dua tingkat kuantum (misalnya transisi atom) dan mode fotonik tunggal. Di sini interaksi yang kuat antara cahaya dan materi menciptakan keadaan kuantum baru yang dikenal sebagai polariton dalam keadaan anharmonik.

Pada tahun 1963, Jaynes dan Cummings memperkenalkan model yang secara konseptual sederhana namun signifikan secara fisis, yang sekarang dinamai menurut nama mereka. Untuk interaksi medan atom, model ini mempunyai implikasi dan pengaruh besar terhadap elektrodinamika kuantum rongga dan optik kuantum. Model Jaynes-Cummings adalah model teoretis dalam optik kuantum yang menggambarkan interaksi atom dua tingkat dengan medan elektromagnetik terkuantisasi, model ini telah digunakan untuk menyelidiki efek klasik dari emisi spontan dan penyerapan foton dalam rongga, serta dinamika sistem di bawah medan koheren eksternal (Fakhri and Sayyah-Fard, 2021). Gambar 1.1 merupakan ilustrasi dari model Jaynes-Cummings.



Gambar 1.1. Ilustrasi model Jaynes-Cummings.

Penyusunan teknologi kuantum di masa depan memerlukan keadaan nonklasik yang terdiri atas *Schrödinger cat states*, *squeezed states* dan *entangled states*, dari keadaan nonklasik ini perlu mensimulasikan dengan cara tertentu, sehingga dapat diusulkan sebuah cara yaitu dengan interaksi antara atom dengan cahaya menjadi sistem komposit (sistem gabungan tertentu) dan parameter-parameter yang terlibat di dalam interaksi tersebut dapat diatur, terdapat banyak parameter-parameter misalnya pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ashhab-Nori pada tahun 2010 terkait interaksi sistem qubit dengan medan elektromagnetik. Pada penelitian tersebut medan elektromagnetik dimodelkan sebagai osilator harmonik. Sementara itu pada tahun 2017 terdapat sebuah penelitian yang dilakukan Fischer dkk, dengan mengusulkan adanya tambahan parameter baru di dalam Hamiltonian yang bisa mencangkup sistem dua tingkat yang unik sehingga akan terjadi interferensi cahaya secara *homodyne*. Sehingga dengan adanya interferensi *homodyne* maka akan menghasilkan parameter baru, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa parameter yang digunakan lebih banyak dari penelitian yang telah dilakukan oleh Ashhab-Nori.

1.2 Batasan Masalah

Peneliti memberikan batasan masalah pada penelitian agar lebih sistematis dan terarah yaitu dengan memvariasikan parameter g , Δ , dan Ω dengan fungsi Wigner yang sesuai pada sistem dua tingkat yang berinteraksi di dalam rongga yang dapat memancarkan cahaya nonklasik dengan ukuran nonklasikalitas tertentu

menggunakan model Jaynes-Cummings.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, rumusan masalah yang dapat diambil yaitu: Bagaimanakah nilai parameter g , Δ , dan Ω dengan fungsi Wigner yang sesuai pada sistem dua tingkat berinteraksi di dalam rongga yang dapat memancarkan cahaya nonklasik dengan ukuran nonklasikalitas tertentu menggunakan model Jaynes-Cummings.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai parameter g , Δ , dan Ω dengan fungsi Wigner yang sesuai pada sistem dua tingkat yang berinteraksi di dalam rongga yang dapat memancarkan cahaya nonklasik dengan ukuran nonklasikalitas tertentu menggunakan model Jaynes-Cummings.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian akan berkontribusi bagi akademisi, peneliti maupun masyarakat umum. Berikut manfaat dari penelitian:

1.5.1 Manfaat Teoretis

1. Secara teoretis penelitian yang dilakukan dapat bermanfaat dalam mengembangkan teori yang berkaitan dengan statistika kuantum.
2. Mengetahui pembangkitan dari cahaya nonklasik menggunakan model Jaynes-Cummings dengan parameter yang divariasikan.

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Pemanfaatan dari cahaya nonklasik bisa dimanfaatkan dalam peningkatan teknologi Kuantum, karena teknologi kuantum memiliki potensi ekonomi yang besar dan untuk menyusun teknologi kuantum apapun dibutuhkan keadaan nonklasik.
2. Cahaya nonklasik juga digunakan dalam pengembangan teknologi komputasi kuantum yang memiliki potensi untuk menyelesaikan masalah-masalah yang sulit dipecahkan oleh komputer klasik.