

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Grafik yang menunjukkan gaya f sebagai fungsi dari kecepatan v yang dinormalisasi dengan parameter Γ dan k dalam *detuning* berbeda: -2.5Γ , 0 , dan 2.5Γ . Garis berwarna dalam grafik menunjukkan gaya yang dialami oleh atom pada berbagai *detuning* dalam molase optik satu dimensi. Pendekatan kuantum memberikan prediksi yang lebih akurat dan rinci dibandingkan dengan pendekatan klasik, terutama dalam menangkap efek koherensi dan pergeseran Doppler. Pada *detuning* nol, gaya pada atom menjadi nol karena tidak ada gaya neto yang bekerja. Perbedaan utama antara model kuantum dan klasik terletak pada interaksi atom dengan medan laser dan koherensi kuantum.

Sedangkan untuk grafik gaya hamburan sebagai fungsi kecepatan dalam molase optik menggambarkan bagaimana gaya hamburan sebagai fungsi dari kecepatan dalam molase optik dipengaruhi oleh efek Doppler dan interaksi antara sinar laser dan atom dengan menggunakan persamaan gaya hamburan yang relatif sederhana yaitu

$$\mathbf{F}_{\text{scatt}}(\mathbf{v}) = \hbar \mathbf{k}^3 \frac{A_{21}}{2} \frac{I}{I_0} \frac{\frac{A_{21}}{2}}{(\omega_{\text{laser}} - \omega_{21} - \mathbf{k} \cdot \mathbf{v})^2 + \left(\frac{A_{21}}{2}\right)^2}$$

Persamaan ini memperhitungkan efek Doppler klasik tanpa memerlukan pemahaman mendalam tentang koherensi kuantum. Dalam mekanika klasik, pergeseran Doppler dihitung sebagai kv , yang memberikan perubahan frekuensi yang dialami oleh atom saat bergerak relatif terhadap sinar laser. Persamaan klasik menangkap esensi dari perubahan gaya akibat pergeseran Doppler ini. Dengan penambahan berbagai polarisasi σ_+ dan σ_- terbukti lebih efektif

dibandingkan polarisasi π dalam menghasilkan gaya mekanis yang signifikan, yang terlihat dari puncak positif dan negatif yang jelas pada kurva gaya. Efek ini menunjukkan bahwa foton dengan polarisasi σ_+ dan σ_- lebih mampu mendorong atau menarik atom, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi pendinginan laser.

Penelitian ini berhasil menunjukkan mekanisme efek mekanis cahaya dan pendinginan laser melalui metode Doppler *Cooling* pada atom natrium (^{23}Na). Dari hasil simulasi numerik yang dilakukan menggunakan persamaan Bloch optik (PBO) dan semianalitik dengan persamaan gaya hamburan dari Fermis Golden Rule untuk memahami bagaimana gaya hamburan pada atom berubah sesuai dengan kecepatan atom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya hamburan berperilaku secara linear pada kecepatan rendah dan non-linear pada kecepatan tinggi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa atom yang bergerak menuju sinar laser lebih efektif dalam menyerap foton pada kondisi *detuning* tertentu, sementara atom yang bergerak menjauh lebih efektif pada *detuning* yang berlawanan.

5.2 Saran

Pendinginan laser via Doppler *cooling* adalah teknik yang sangat efektif untuk mencapai suhu rendah dalam atom dan molekul. Dengan memilih laser yang tepat, mengoptimalkan *detuning* dan intensitas, menggunakan konfigurasi molase optik atau MOT, dan melakukan pemantauan serta optimasi parameter yang hati-hati, penelitian lebih lanjut dapat mencapai pendinginan dan penjebakan atom yang lebih efisien. Penggunaan simulasi dan pemodelan juga sangat membantu dalam memahami dinamika sistem dan merancang eksperimen yang sukses.