

INTISARI

Pada awalnya, dalam proses hamburan tak elastik dalam (*deep inelastic scattering*, DIS), Fungsi Distribusi Parton (PDF) mengalami kendala matematis yaitu bentuknya yang tidak invarian tera (*gauge invariance*) dalam menjelaskan struktur internal hadron. PDF mengandung sebuah operator korelator kuark yang *bi-local*. Evaluasi korelator medan kuark pada dua titik ruang-waktu yang terpisah tersebut menyisakan faktor pergeseran fase yang membuat probabilitas fisis bergantung pada pilihan kalibrasi pengamat. Untuk memulihkan simetri tera lokal SU(3) pada kromodinamika kuantum (QCD), disisipkan sebuah operator *path-ordered exponential* yang dikenal sebagai *Wilson line* di antara medan kuark tersebut. Namun penyisipan ini seringkali hanya dipandang sebagai trik matematis saja. Hal ini menghasilkan sebuah pertanyaan terkait makna fisis dari *Wilson line* tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji makna fisis sesungguhnya dari operator *Wilson line* dengan menggunakan pendekatan eikonal pada limit hamburan energi tinggi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketika interaksi quark dengan *soft gluons* dijumlahkan hingga orde tak terhingga amplitudo hamburannya menjadi bentuk fungsi matriks *Wilson line*. Disimpulkan bahwa *Wilson line* di dalam definisi PDF bukanlah sekadar kebutuhan matematis (ad-hoc), melainkan representasi fisis nyata dari rekaman fase interaksi *soft gluon* pada partikel berenergi tinggi. Telah ditunjukkan pula bahwa interpretasi fisis ini juga berlaku untuk PDF multidimensi, seperti Transverse Momentum Dependent (TMD) PDF.

Kata Kunci : hamburan tak elastik dalam, invariansi tera, pendekatan eikonal, fungsi distribusi parton, *wilson line*.

ABSTRACT

Initially, in deep inelastic scattering (DIS) processes, Parton Distribution Functions (PDFs) encountered a mathematical challenge regarding their lack of gauge invariance when describing the internal structure of hadrons. PDFs involve a bi-local quark correlator operator, and evaluating the quark fields at two distinct space-time points introduces a phase shift that renders physical probabilities dependent on the choice of gauge. To restore the $SU(3)$ local gauge symmetry of Quantum Chromodynamics (QCD), a path-ordered exponential operator—known as a Wilson line—is inserted between the quark fields. Because this insertion is frequently perceived merely as a mathematical trick, it raises a fundamental question regarding its actual physical meaning. Therefore, this study aims to investigate the true physical interpretation of the Wilson line operator using the eikonal approximation in the high-energy scattering limit. The calculations demonstrate that when the interactions of a quark with soft gluons are resummed to all orders, the scattering amplitude reduces to a Wilson line matrix function. It is concluded that the Wilson line in the PDF definition is not merely an ad-hoc mathematical requirement, but rather a genuine physical representation of the phase record of soft gluon interactions experienced by a high-energy particle. Furthermore, it is shown that this physical interpretation also extends to multidimensional PDFs, such as Transverse Momentum Dependent (TMD) PDFs.

Keywords : deep inelastic scattering, gauge invariance, eikonal approximation, parton distribution function, wilson line.