

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Soliton yang asal katanya dari *solitary* dengan arti terkungkung/terisolasi atau memiliki bentuk yang stabil, merupakan gelombang soliter dan sering juga disebut sebagai gelombang tidak linier, yaitu *envelope* atau paket gelombang tunggal/pulsa yang dapat mempertahankan kestabilan bentuknya ketika merambat dengan kecepatan konstan dalam suatu medium<sup>[1][2]</sup>. Hal ini menjadikan soliton sebagai sebuah fenomena gelombang yang unik dan menarik untuk dipelajari. Berdasarkan prespektif sejarah yang ditinjau ulang oleh Kasman tahun 2018<sup>[3]</sup>, soliton awal mulanya merupakan istilah yang dipakai untuk menyebut suatu peristiwa gelombang air terisolasi stabil, menjalar dengan bentuk yang tidak berubah di sepanjang saluran sempit atau kanal. Kemudian dalam beberapa dekade terakhir, soliton ditinjau dan dikembangkan dalam bidang optik, atas karya besar Chiao dkk tahun 1964<sup>[4]</sup> beserta Zakharov dan Shabat di tahun 1972<sup>[5]</sup>, yang menemukan solusi unik (soliton) persamaan dinamika gelombang untuk medium optik tidak linier.

Penemuan soliton dalam medium optik tidak linier di atas, diketahui telah memunculkan bidang penelitian terapan baru<sup>[6]</sup>. Oleh karena itu, hingga sekarang soliton menjadi bagian dari fenomena alam yang bersifat umum, dan dipelajari dalam berbagai disiplin ilmu pengetahuan. Fisika hadir sebagai salah satu disiplin ilmu yang mempelajari soliton secara teoritis. Dalam bidang optik, saat ini soliton telah berhasil diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu *temporal* dan *spatial* soliton<sup>[2]</sup>. Kajzar dan Reinisch dalam bukunya yang berjudul '*beam shaping and control with nonlinear optics*' menyebutkan *temporal* soliton sebagai pulsa berdurasi pendek yang dapat mempertahankan bentuknya (bentuk *temporal*) saat merambat pada jarak yang sangat jauh<sup>[6]</sup>. Sementara *spatial* soliton, dinyatakan sebagai soliton optik yang tidak terbatas secara *spatial*, sehingga jauh lebih baik untuk diaplikasikan daripada kategori *temporal* soliton<sup>[2][7]</sup>.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, *temporal* soliton secara rutin diketahui eksis dalam medium optik<sup>[2][8]</sup>, dan sekarang telah dijadikan acuan untuk mewujudkan sistem telekomunikasi berkecepatan tinggi di masa depan<sup>[9]</sup>. Sementara hal yang berbeda justru masih diperlihatkan oleh *spatial* soliton. Kategori soliton optik yang satu ini relatif sulit diamati dan dihasilkan, terutama yang dihasilkan dari efek kerr (jenis efek tidak linier) optik<sup>[6]</sup>. Namun dari yang telah diketahui sebelumnya, *spatial* soliton lebih baik dalam sisi penerapan. Sehingga kategori soliton ini penting untuk ditinjau lebih jauh.

Aitchison dkk telah menjadi *pioneer* dalam pengamatan *spatial* soliton optik di tahun 1990<sup>[10]</sup>. Dari hasil pengamatan Aitchison dkk yang disampaikan ulang oleh Kajzar dan Reinisch tahun 2006<sup>[6]</sup>, kesulitan dalam menghasilkan dan mengamati suatu *spatial* soliton dikarenakan perubahan sifat tidak linier dari sebuah medium optik terjadi dalam skala indeks bias dengan intensitas berkas optik yang diberikan. Nilai indeks bias yang mendeskripsikan sifat tidak linier optik tersebut selalu diasumsikan kecil, sementara diperlukan daya optik yang sangat besar. Pada saat yang bersamaan, Kajzar dan Reinisch juga menyebutkan alasan lain, yaitu *spatial* soliton hanya dapat stabil pada sistem dua dimensi, satu dimensi longitudinal untuk mendeskripsikan arah perambatan berkas optik, dan satu dimensi transversal untuk mendeskripsikan arah difraksi atau pemerangkapan berkas. Konfigurasi seperti ini sering dikenal dengan  $(1+1) D$ <sup>[6]</sup>.

Pada sistem tiga dimensi (3 D), stabilitas dari *spatial* soliton di era Aitchison dkk masih sering dijadikan bahan perbincangan. Dalam sistem seperti ini, berkas optik diketahui dominan mengalami pemfokusan diri (*self-focusing*)<sup>[6][11]</sup>, yang mengakibatkan perambatan berkas optik dengan sistem  $(1+1) D$  di atas akan mengalami gangguan secara transversal<sup>[6][12]</sup>. Berdasarkan hasil rangkuman Kajzar dan reinisch dari beberapa penelitian yang telah ada<sup>[6]</sup>, ditemukan ketidaksimetrian (asimetri) antara *temporal* dan *spatial* soliton saat berada dalam sistem 3 D. Padahal kedua kategori soliton ini diketahui telah memiliki simetri *spatio-temporal* yang secara intrinsik dideskripsikan melalui sebuah persamaan dinamika gelombang tidak linier<sup>[6]</sup>.

Pada beberapa tahun terakhir, *spatial* soliton telah mengalami perubahan konseptual yang signifikan. Hal tersebut didorong atas penemuan tiga mekanisme tidak linier yang berbeda, yang mendukung stabilitas *spatial* soliton optik dalam sistem tiga dimensi dengan konfigurasi (2+1) D, dua dimensi transversal untuk mendeskripsikan arah difraksi atau pemerangkapan berkas<sup>[6]</sup>. Ketiga mekanisme tersebut adalah fotorefraktif tidak linier<sup>[13][14]</sup>, kuadratik tidak linier<sup>[15]</sup>, dan terakhir resonansi elektronik dalam atom atau molekul<sup>[16]</sup>. Pada penelitian ini, *spatial* soliton dalam medium fotorefraktif ditinjau dan dijadikan topik pengamatan.

Penelitian terkait *spatial* soliton dalam medium fotorefraktif telah diketahui eksis dan sekarang menjadi tren riset sains soliton di era modern. Penelitian ini dipelopori oleh Segev dkk tahun 1992<sup>[13]</sup>. Kemudian dilanjutkan oleh Duree dkk di tahun 1993<sup>[14]</sup>. Pada tahun 1996<sup>[17]</sup>, Fressengeas dkk turut serta meninjau *spatial* soliton pada medium ini, dan berhasil menganalisis perilaku *temporal* suatu *spatial* soliton di medium fotorefraktif melalui sebuah persamaan dinamika gelombang tidak linier (soliton) bergantung waktu. Dalam melakukan analisisnya, Fressengeas dkk diketahui terlebih dahulu menyederhanakan suatu persamaan dinamika soliton menggunakan asumsi (*ansatz*) bahwa *envelope* dari suatu berkas optik dapat dinyatakan sebagai sebuah fungsi tertentu. Dengan pendekatan seperti ini diperoleh persamaan dinamika soliton bergantung waktu yang jauh lebih sederhana. Setelah itu, persamaan dinamika soliton tersebut dianalisis secara numerik untuk memperoleh profil suatu *spatial* soliton. Katti di tahun 2019<sup>[18]</sup>, menggunakan metode yang sama untuk menyederhanakan suatu persamaan dinamika soliton bergantung waktu, tapi mengusulkan bentuk fungsi *ansatz* yang sedikit berbeda untuk *envelope* berkas.

Berdasarkan penelitian di atas, jenis medium fotorefraktif yang mendukung stabilitas *spatial* soliton optik diketahui suatu kristal fotorefraktif yang memiliki efek elektro-optik, seperti kristal PMN-0.33PT (*Lead Magnesium Niobate with 33 mol % Lead Titanate*) pada penelitian Katti<sup>[18]</sup>. Jenis kristal ini diketahui memiliki efek elektro-optik linier dan kuadratik secara bersamaan. Selain itu, *spatial* soliton yang dihasilkan pada medium ini juga diketahui, berupa *bright* soliton (soliton dengan puncak maksimum), dan *dark* soliton (soliton dengan puncak minimum)<sup>[19]</sup>.

Secara prinsip, penelitian terkait *spatial* soliton pada suatu medium fotorefraktif masih perlu untuk dikembangkan dan ditinjau ulang, terutama dalam hal penyelesaian persamaan dinamika soliton bergantung waktu yang hingga sekarang masih bersifat asumtif. Pada penelitian ini, dikembangkan sebuah pendekatan alternatif baru untuk menganalisis persamaan dinamika soliton bergantung waktu pada medium fotorefraktif. *Spatial* soliton yang ditinjau adalah *bright* soliton dalam kristal fotorefraktif PMN-0.33PT. Secara struktur, penelitian ini tidak jauh berbeda dengan Katti tahun 2019. Dalam penelitian ini, tidak terlebih dahulu dilakukan *ansatz* simplifikasi terhadap persamaan dinamika soliton bergantung waktu, tapi langsung mengaplikasikan metode numerik pada persamaan dinamika soliton bergantung waktu yang original. Metode numerik yang digunakan untuk tujuan ini adalah metode *split-step Fourier*. Untuk proses-proses fisika yang mempengaruhi perilaku *bright* soliton dalam kristal tersebut juga diteliti dengan melakukan analisis *Full Width at Half Maximum* (FWHM) atau lebar soliton.

## **I.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode numerik *split-step Fourier* pada persamaan dinamika soliton bergantung waktu dalam menentukan dan menganalisis perilaku *temporal* suatu *bright* soliton di dalam kristal fotorefraktif PMN-0.33PT. Penelitian ini juga diharapkan bermanfaat sebagai rujukan untuk penelitian berikutnya pada topik yang serupa atau sebagai sarana untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan.

## **I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian**

Penelitian ini dibatasi pada pengaplikasian metode numerik *split-step Fourier*. Untuk ruang lingkup dari penelitian meliputi, penentuan model persamaan dinamika soliton bergantung waktu untuk kristal PMN-0.33PT, penyelesaian persamaan dinamika soliton menggunakan metode *split-step Fourier*, dan penyusunan algoritma untuk melakukan perhitungan solusi numerik. Terakhir disajikan tampilan dari solusi numerik yang diperoleh, berupa nilai dalam bentuk gambar. Nilai parameter-parameter fisis kristal PMN-0.33PT yang ditinjau mengacu pada paper penelitian Katti tahun 2019.