

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.12

ANALISIS KARAKTERISTIK RAGAM GELOMBANG YANG DIHASILKAN RESONATOR LASER (*LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION OF RADIATION*) DENGAN HERMIT GAUSSIAN MODE

Nur Fitriatul Maghfiroh^{a)}, Nur Fitrotun Nikmah^{b)}, Rizkiyan Ahmad Safarudin

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Malang dan 65145

Email: ^{a)}maghfiroh.enfm@gmail.com, ^{b)}vhiefdt.nikmah@gmail.com

Abstrak

Analisis karakteristik ragam gelombang yang dihasilkan resonator laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) dengan hermit gaussian mode. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik ragam gelombang dalam resonator laser dengan mode Hermit-Gaussian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode bersifat teoritik dan metode analitik dengan studi literatur, pemodelan ragam distribusi intensitas dalam mode *transverse electromagnetic* (TEM) menggunakan *software* serta proses pengolahan data. Dengan mengamati keluaran ragam gelombang yang terjadi maka didapatkan data berupa gambar mode *transverse electromagnetic* (TEM) orde dasar hingga multimode. Dari penelitian yang telah dilakukan, serta berdasarkan analisis keluaran didapatkan kesimpulan bahwa *transverse electromagnetic* (TEM₀₀) mode dari suatu resonator disebut sebagai orde rendah polinomial hermit (H₀). selain itu, keluaran mode TEM_{mn} dengan m dan n menjadi perintah horizontal dan vertikal menunjukkan pola fenomena resonator laser yang tidak stabil ($m \neq 0$, $n \neq 0$) telah terbukti menghasilkan berbentuk berkas fraktal.

Kata-kata kunci: ragam gelombang, resonator laser, mode transverse electromagnetic (TEM)

Abstract

Analysis of the characteristics wave mode in resonator of laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) with hermit gaussian mode. The purpose of this research is to know the characteristics wave mode in laser resonator with a Hermit-Gaussian mode. Methods used in this penilitian is teoritik in nature and methods of analytical methods with the study of literature, modeling the distribution of intensity in a variety of modes of transverse electromagnetic (TEM) uses software and data processing. By observing the output spectrum of waves that terjadi then obtained data in the form of picture mode transverse electromagnetic (TEM) basic order to multimode. From the research that has been done, as well as based on the analysis of the output obtained the conclusion that electromagnetic tranvers (TEM₀₀) mode of a resonator is referred to as a low-order polynomial hermit (H₀). In addition, the output mode is TEM_{mn} with m and n into horizontal and vertical command shows the pattern of the phenomenon of unstable laser resonators ($m \neq 0$, $n \neq 0$) has been shown to produce fractal shaped mode.

Keywords: waves mode, laser resonator, transverse electromagnetic mode (TEM).

1. PENDAHULUAN

Laser merupakan teknologi baru dalam optika non linear yang berperan penting dalam perkembangan teknologi pada zaman ini (Emy, 2011). Kepanjangan dari laser sendiri adalah *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Pikatan, 1991). Laser menjelaskan terjadinya proses penguatan cahaya oleh emisi radiasi yang terstimulasi (Bahtiar, Ayi, 2008). Kelebihan berkas sinar yang dihasilkan memiliki sifat koheren, monokromatik, terarah, dan kecermelangan tinggi (Francisco, 2004). Sehingga banyak diminati dalam berbagai aplikasi.

Komponen laser yang terpenting adalah resonator, gelombang yang dihasilkan laser dibangkitkan dalam resonator. Resonator dapat berupa stabil atau tidak stabil (Gordon. D. B, 1962). Sebuah resonator juga berfungsi sebagai filter spektral yang akan menyempitkan lebar garis dari berkas laser yang melewatinya. Rapat energi foton dalam resonator optik dapat ditingkatkan sehingga terjadi pantulan yang berulang-ulang pada kedua ujung resonator, dan terjadilah perbesaran intensitas. Ragam gelombang keluaran yang dihasilkan laser memiliki berbagai mode (Lofnes, T. 2003). Pembuatan rongga resonansi (resonator) laser inilah yang memerlukan penanganan yang paling teliti pada saat membangun suatu sistem laser. Topik tentang resonator sendiri masih rumit untuk dipahami serta berbagai ragam yang dihasilkan resonator laser juga relatif sulit dipahami.

Oleh karena itu, sebagai media memahami konsep tersebut, peneliti mengangkat judul “Analisis Karakteristik Ragam Gelombang yang Dihasilkan Resonator Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) dengan Hermit Gaussian Mode” diharapkan bahwa hasil visualisasi ragam gelombang dalam resonator ini dapat menjadi sarana mempermudah pemahaman karakteristik ragam gelombang yang dibangkitkan dalam resonator laser.

Berdasarkan Latar belakang diatas penelitian ini kami batasi masalahnya mengenai bagaimanakah kajian secara teoritik dan analitik mengenai persamaan Hermit-Gaussian yang digunakan dalam simulasi menggunakan *software* matlab. dan penulisan ini hanya meninjau pada ragam gelombang yang dihasilkan dalam mode Hermit-Gaussian orde ke-0 hingga orde ke-5.

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah seperti apakah karakteristik ragam gelombang yang dihasilkan resonator laser orde ke-0 hingga orde ke-3 dengan mode *transverse electromagnetic* (TEM).

2. METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan suatu metode dengan cara membaca teori-teori yang berkaitan dengan hermit gaussian, resonator laser, ragam gelombang dari buku-buku referensi, artikel, jurnal, dan lain-lain.

2. Pemodelan atau Simulasi

Pemodelan yang akan dibuat adalah ragam gelombang resonator laser. Gaussian adalah sinar dari radiasi elektromagnetik yang distribusi intensitas radiasinya didekati dengan fungsi Gaussian. persamaan berkas Gaussian:

$$\psi(\vec{r}) = A_0 \frac{W_0}{W(x)} \exp\left[-\frac{p^2}{W^2(z)}\right] \exp\left[-ilz - ik \frac{p^2}{2R(z)} + i\xi(z)\right] \quad (1)$$

dimana $W(z)$ adalah lebar berkas gauss, dan $R(z)$ adalah jarak muka gelombang dari kurvatur

Mode resonator adalah mode Hermit-Gauss yang dijelaskan dengan fungsi Hermit-Gaussian dengan bidang distribusi didefinisikan oleh fungsi Gaussian. Mode Hermit-Gauss adalah deskripsi untuk output dari resonator laser yang berbentuk tidak radial simetris. Simulasikan dengan menggunakan *software* matlab versi 7.0.4.

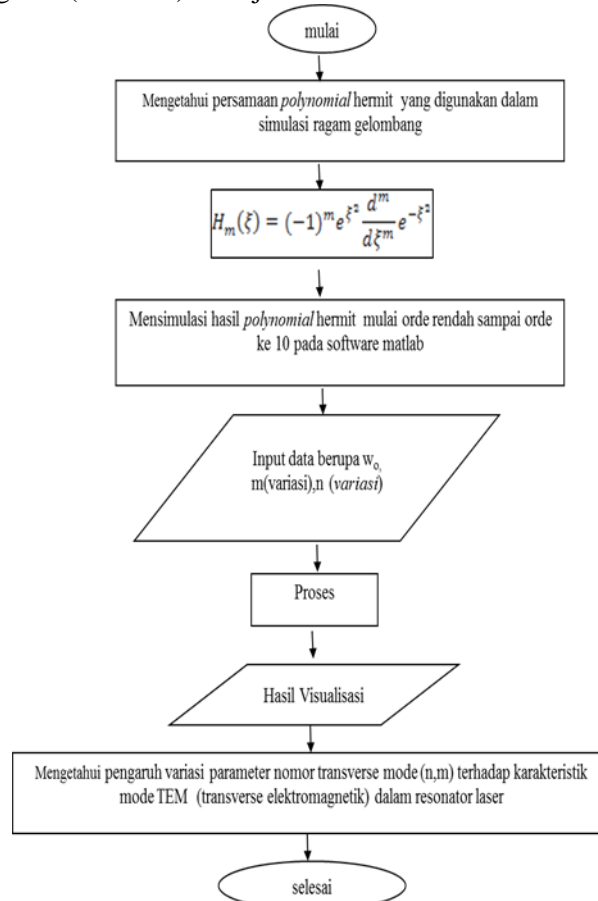
3. Analisa Hasil Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan analisa untuk hasil simulasi yang diperoleh berupa keluaran gambar.

4. Pemodelan atau Simulasi

Tahap akhir dari metode penelitian ini adalah menulis laporan akhir berdasarkan analisis dan kesimpulan yang diperoleh

Alur penelitian menyeluruh simulasi ragam gelombang dalam resonator laser dalam bentuk mode transverse electromagnetic(TEM_{mn}) ditunjukkan dalam Gambar 3.1 sebagai berikut:



GAMBAR 1. Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan diuraikan hasil dan pembahasan. Dimana visualisasi yang dibuat adalah ragam gelombang resonator laser. Hasil simulasi ragam gelombang yang terlihat berupa keluaran gambar berkas sinar keluar laser dengan mode TEM_{mn} seperti pada Gambar 2. Didefinisikan polinomial hermit orde ke m sebagai :

$$H_m(\xi) = (-1)^m e^{\xi^2} \frac{d^m}{d\xi^m} e^{-\xi^2} \quad (2)$$

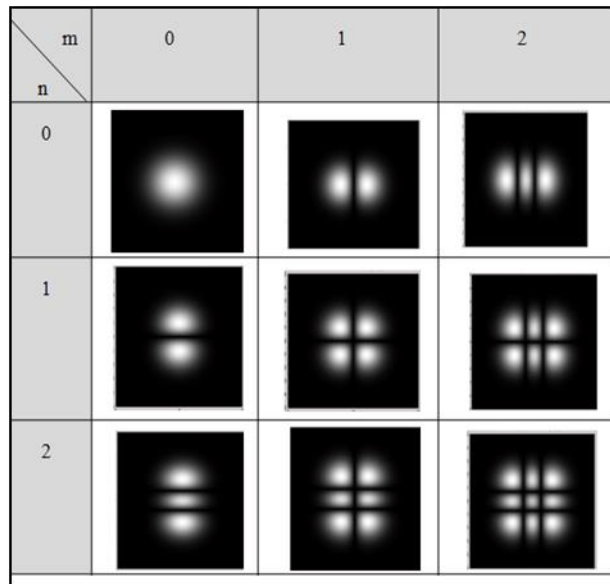
$$p_m(\xi) = H_m(\xi) e^{-\xi^2/2}, q_n(n) = H_n(n) e^{-n^2/2} \quad (3)$$

diperoleh ortogonalitas dalam jarak $(-\infty, \infty)$ dapat dilihat pada persamaan (2)

Pada persamaan (3) m dan n menunjukkan bilangan *transverse mode* dan menyatakan bidang distribusi suatu mode sepanjang sumbu x dan y. Pada persamaan (1) H_m merupakan polinomial berderajat m, dengan dikalikan fungsi pemberat $e^{-\xi^2}$ maka

$$\int_{-\infty}^{\infty} H_m(x)H_n(x)e^{-\xi^2} dx = \delta_{mn} 2^n n! \sqrt{\pi} \tag{4}$$

Berkas keluaran resonator laser menunjukkan perbedaan pola masing-masing mode. Hasil simulasi ragam gelombang yang terlihat berupa keluaran gambar berkas keluaran resonator laser mode TEM_{mn} seperti pada Gambar 2



GAMBAR 2. Visualisasi mode tranverse elektromagnetik (TEM_{mn})

Pada data pertama, diamati keluaran berupa gambar yang menunjukkan mode transverse elektromagnetik pada orde ke nol (TEM₀₀), mode ini biasa disebut sebagai orde rendah polinomial hermit (H₀). Sebagai mode terendah, gambar intensitas yang ditunjukkan terfokus dan terletak pada bidang dengan pada kordinat x dan y, profil sinar yang dihasilkan adalah sinar gaussian dari suatu resonator. Mode dasar merupakan fenomena optik ketika sinar yang dihasilkan dari resonator dengan sangat baik

Pada data selanjutnya, yakni pada TEM_{mn} dengan m=n≠0 dan m≠n≠0, disebut multimode dan dapat diamati keluaran berupa gambar yang menunjukkan berkas tidak hanya terfokus pada satu titik pusat, melainkan semakin banyak lintasan sinar yang terbentuk, gambar intensitas yang terdistribusi sesuai nomor transverse mode yang diberikan dan terletak pada bidang dengan kordinat x dan y. fenomena Mode transverse elektromagnetik orde tinggi/multimode dimulai dari *input* dengan meningkatkan nilai m dan n menunjukkan berkas muncul di arah vertikal dan horisontal, secara umum berkas (m+1) (n+1) hadir dalam pola. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan fenomena resonator laser yang tidak stabil, telah terbukti menghasilkan berbentuk berkas fraktal.

3.1 Klasifikasi fenomena mode dasar *transverse* elektromagnetik (TEM₀₀)

Pola gelombang berdiri yang dihasilkan berupa gambar berkas sinar keluar disebut mode. Mode *transverse* elektromagnetik (TEM) menunjukkan medan listrik dan medan magnet tidak dalam arah propagasi. Secara umum, pola radiasi yang direproduksi pada setiap bolak-balik dari cahaya melalui resonator adalah yang paling stabil, dengan n=m=0 dan ini yang dikenal sebagai mode dasar resonator, menghasilkan distribusi berkas sinar keluaran yang menunjukkan profil berkas gaussian, mode dasar mode (TEM₀₀) menunjukkan sinar yang dihasilkan lebih koheren dan terang. Serta dapat dijelaskan dengan fungsi Gaussian.

3.2 Klasifikasi fenomena mode *transverse* elektromagnetik (TEM_{mn}) multimode

Mode *transverse* elektromagnetik orde tinggi merupakan fenomena optik ketika sinar yang dihasilkan resonator laser kurang sempurna. Mode *transverse* elektromagnetik orde tinggi memiliki daya *output* yang lebih kecil karena mengalami pemantulan bolak-balik dan mengalami *loss* difraksi yang lebih tinggi dari orde dasar. Fenomena ini dapat dilihat dari hasil visualisasi yang terlihat secara jelas pada profil sinar keluaran tidak terfokus yaitu terdapat distribusi cahaya yang tidak hanya disatu titik. Mode TEM_{mn} orde tinggi dimulai dari input dengan meningkatkan nilai m dan n menunjukkan berkas muncul di arah horizontal dan vertikal, secara umum berkas $(m+1)$ dan $(n+1)$ hadir dalam pola. Resonator ditampilkan dengan reflektifitas terbatas menghasilkan gambar distribusi intensitas yang tersebar dan tidak koheren.

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah kami lakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang kami dapatkan, yakni profil intensitas keseluruhan output laser terdiri dari superposisi dari salah satu mode *transverse* elektromagnetik dari resonator laser, sering diinginkan untuk beroperasi hanya pada mode dasar (mode TEM_{00}) karena mode dasar menunjukkan sinar yang dihasilkan dari simulasi adalah lebih koheren dan terang. Mode tingkat tinggi memiliki batas spasial lebih besar dari mode 00. Pada TEM mode orde tinggi semakin ditingkatkan nilai n, m maka lintasan yang dihasilkan semakin banyak nampak semakin tidak monokromatis dan koherensi semakin sulit, menunjukkan sinar yang dihasilkan tidak fokus.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof, Dr. Arif Hidayat M.Si selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna bagi keberhasilan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Emy, dkk. *Aplikasi Laser Kontinyu Dalam Analisis Material Berdasarkan Crater Yang Dihasilkan Peneliti*. Pusat Penelitian Fisika LIPI, 2011.
- [2] Gordon, D. B and H. Kogelnik, "Generalized confocal resonator theory," *Bell Sys. Tech. J.*, vol. 41, pp. 1347-1369, July 1962.
- [3] Pampaloni, Francesco 2004. Gaussian, Hermite-Gaussian, and Laguerre-Gaussian beams: A primer. *Cell Biology and Biophysics Programme*, hal. 1-21.
- [4] Lofnes, T., Dkk, 2003, Analytical Design Of A Confocal Resonator. *European Organization For Nuclear Research Cern - Ab Division*. Ctf3 Note 060, Ab-Note-2003-081 (Abp) Tsl-Note-2003-56. Geneva, Switzerland
- [5] Shu-Chun, Chu dkk, 2012. Generation Of High-Order Hermite-Gaussian Modes In End-Pumped Solid-State Lasers For Square Vortex Array Laser Beam Generation: *OSA Publishing Optic Express*. Vol. 20 hal. 7128-7141
- [6] Bahtiar, Ayi Dr, *Rekayasa Optik*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran Bandung, 2008.
- [7] Laud, B. B. 1988. Diterjemahkan Sutanto, *Laser dan optik non linear*, Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).

