

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan teknologi telekomunikasi mengharuskan tersedianya kualitas pelayanan tinggi, sarana telekomunikasi dengan penggunaan biaya yang rendah, daya tampung yang luas dalam menyalurkan informasi cepat, dan aman. Sejalan dengan lajunya pertumbuhan telekomunikasi menyebabkan sistem transmisi dengan menggunakan teknologi serat optik semakin ditingkatkan yaitu pengembangan amplifikasi optik. Pengembangan amplifikasi optik mampu menghadirkan berbagai aplikasi unik di bidang komunikasi optik yang menyebabkan sejumlah besar kegiatan penelitian di bidang ini telah dilakukan, salah satunya studi tentang laser. Laser merupakan akronim dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* yang artinya sumber radiasi elektromagnetik berupa cahaya yang bersifat koheren dan monokromatis.

Industri laser hingga saat ini pada wilayah mendekati infra merah (NIR) masih memproduksi *host* matriks yang berbahan kristal padat. Akan tetapi bahan kristal padat memiliki beberapa kelemahan yaitu proses penumbuhannya yang lama dan rumit, biaya produksi yang mahal, serta tingginya titik lebur yang mencapai 1500°C. (Rajagukguk, 2016). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *host* matriks berbahan gelas yang didoping dengan ion tanah jarang karena lebar pita tidak homogennya yang luas, biaya produksi yang murah, stabilitas termal yang baik, proses pembuatan yang sederhana dan kemampuan doping yang tinggi. (Deopa et al., 2018 & Ramteke et al., 2017).

Gelas yang didoping dengan ion tanah jarang telah menarik banyak perhatian untuk mengembangkan penguat optik dengan jangkauan frekuensi yang luas dalam wilayah panjang gelombang NIR lesapan rendah (*NIR low-loss wavelength region*). (Kowal et.al., 2016). Lebar garis emisi dan masa pakai termasuk parameter spektroskopi penting dari ion tanah jarang untuk mengkarakterisasi bahan penguat optik. Selain itu gelas yang didoping dengan ion tanah jarang merupakan kandidat potensial untuk *host* laser, pandu gelombang, serat optik, konsentrator surya, panel layar plasma, dioda pemancar cahaya semikonduktor, detektor optik, dan sebagainya. (Pawar et al., 2017).

Ion tanah jarang adalah tulang punggung teknologi luminesensi. Sifat spektroskopi bahan-bahan ion tanah jarang bergantung pada efisiensi emisi dan memiliki stabilitas emisi di daerah cahaya tampak hingga inframerah-dekat (*near infrared*) karena transisi elektronik 4f-4f atau 4f-5d sehingga ion tanah jarang digunakan dalam aplikasi perangkat optik. (Rajagukguk et al., 2021 & Ramteke et al., 2017)

Salah satu ion tanah jarang yang populer ialah Samarium (Sm^{3+}). Samarium (Sm^{3+}) adalah stimulator optik signifikan yang menunjukkan pendaran oranye-merah yang kuat di wilayah cahaya tampak (*visible light*). Ion Samarium memiliki fitur pendaran yang kuat sehingga Samarium merupakan pilihan khusus sebagai agen doping untuk bahan gelas yang memiliki banyak manfaat, diantaranya ialah, aplikasi dalam penyimpanan optik dengan densitas tinggi, komunikasi bawah laut, tampilan warna, dan laser *solid-state*. (Rani et al., 2019 & Mohan et al., 2017). Samarium adalah salah satu ion yang paling menarik untuk dianalisis sifat optik dan

fluoresensinya karena tingkat emisi pada level ${}^4G_{5/2}$ yang menunjukkan efisiensi kuantum yang relatif tinggi dan juga menunjukkan saluran emisi pendinginan yang berbeda. (Marzouk et al., 2015). Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilaporkan oleh B. Klimesz, et al (2019) bahwa gelas yang didoping dengan ion Samarium didistribusikan ke beberapa pita yang dikaitkan dengan transisi dari tingkat metastabil ${}^4G_{5/2}$ dan nilai puncak penampang emisi yang cukup tinggi diperkirakan $11,02 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$ untuk ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ paling intens merupakan pita kuning.

Beberapa penelitian (Tabel 1.1) mengenai gelas yang didoping dengan ion tanah jarang telah dilakukan diantaranya ialah gelas *oxyfluorosilicate* yang didoping dengan ion Samarium. Probabilitas transisi radiasi (*radiative transition probability*) dengan nilai 185 s^{-1} , rasio percabangan (*branching ratio*) dengan nilai 0.47 %, radiasi *lifetime* keadaan tereksitasi memperoleh nilai 3.84 ms, penampang emisi terstimulasi (*emission cross-section*) $9,23 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$ serta efisiensi kuantum 34% pada transisi ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$. Sistem gelas *oxyfluorosilicate* (Sm^{3+} 1%) diusulkan sebagai bahan optik yang cocok untuk pengembangan laser dan perangkat fotonik yang beroperasi di wilayah cahaya tampak. (Dwaraka et al., 2018). Hasil penelitian lainnya ialah gelas aluminiumbarium fosfat yang didoping dengan Samarium. Spektrum serapan sampel gelas dicatat di daerah UV-Vis-NIR dengan 13 buah pita serapan. Spektrum emisi menunjukkan empat transisi emisi yaitu ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ (561 nm), ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ (598 nm) dan ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$ (644 nm) dan ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ (703 nm) transisi. Spektrum emisi gelas aluminiumbarium fosfat dengan menggunakan ZnO menunjukkan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan Na_2O . Radiasi *lifetime* keadaan tereksitasi memperoleh nilai 1.38 ms.

Hasil ini menunjukkan gelas aluminiumbarium fosfat berpotensi sebagai bahan pemancar warna oranye. (Ravangvong et al., 2017). Penelitian gelas *sodium bismuth silicate* didoping ion Samarium juga dilaporkan dan memperoleh hasil antara lain, probabilitas transisi radiasi (*radiative transition probability*) dengan nilai 138 s^{-1} , rasio percabangan (*branching ratio*) dengan nilai 0.49 %, radiasi *lifetime* keadaan tereksitasi memperoleh nilai 3.5 ms, penampang emisi terstimulasi (*emission cross-section*) $3,08 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$ serta efisiensi kuantum 20% pada transisi ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$. Hasil ini menunjukkan gelas *sodium bismuth silicate* didoping ion Samarium berpotensi sebagai penguat optik. (Thomas et al., 2017).

Permintaan akan peningkatan kapasitas dan kecepatan penyampaian informasi menjadi salah satu kebutuhan mendesak akan penguat optik pita lebar dengan spektrum emisi yang lebih baik dalam komunikasi optik. Berdasarkan pernyataan ini hasil ketiga penelitian (Dwaraka et al., 2018; Ravangvong et al., 2017; Thomas et al., 2017) memiliki intensitas luminesensi dan nilai sifat radiatifnya belum mencapai nilai yang optimal sementara nilai sifat radiatif yang tinggi adalah parameter kunci jika suatu bahan akan digunakan sebagai penguat optik. (V. Thomas, et al., 2017). Permasalahan ini dapat diatasi dengan menyusun komposisi *host* yang tepat pada gelas yang didoping dengan ion Samarium untuk meningkatkan photoluminesensi. Performa gelas yang didoping ion tanah jarang sangat bergantung pada komposisi *host* gelas. Pilihan *host* matriks yang baik, berbagai perangkat dan properti optik dapat dioptimalkan untuk kinerja gelas yang lebih baik. (Prabhu et al., 2019).

Tabel 1.1. Jenis komposisi medium Sm:gelas beserta parameter-parameter sifat radiatif yang pernah dilaporkan sebelumnya

| No | Jenis Komposisi Medium Sm:Glass | Transisi laser $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ | | | | | | | | Referensi |
|----|--|--|---------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|----------------------------|
| | | λ_{ex} (nm) | λ_p (nm) | $\Delta\lambda_{eff}$ (nm) | A_R (s^{-1}) | $\sigma_e(\lambda_p)$ (cm^2) | β_R | τ_{exp} (ms) | η (%) | |
| 1 | 83.5SiO ₂ -5Na ₂ CO ₃ -10Bi ₂ O ₃ | 401 | 601 | - | 138 | 3.08 | 0.49 | 3.5 | 20 | Thomas et al, 2017 |
| 2 | 41SiO ₂ - 25 LiF - 23SrF ₂ -10Al ₂ O ₃ | 401 | 599 | 14.5 | 185 | 9.23 | 0.46 | 3.84 | 34 | Dwaraka et al, 2018 |
| 3 | 59P ₂ O ₅ -20PbO-20ZnO | 406 | 599 | 18.45 | 50.26 | 2.32 | 0.46 | 9.1 | - | Dousti et al, 2013 |
| 4 | 59P ₂ O ₅ -20MgO-20ZnSO ₄ | 400 | 599 | 18.43 | 478 | 5,08 | 0.51 | 0.6 | - | Ahmadi et al, 2016 |
| 5 | TeO ₂ - ZnF ₂ - PbO - Nb ₂ O ₅ | 403 | 600 | - | 259 | 11.02 | 0.48 | 1.81 | 61 | Klimesz et al, 2019 |
| 6 | 59P ₂ O ₅ -20 ZnO-10Li ₂ O-10Na ₂ O | 401 | 597 | - | 91 | 1.42 | 0.52 | 2.32 | 39 | Ramteke et al, 2017 |
| 7 | 33Li ₂ O-66B ₂ O ₃ | 402 | 598 | 13.7 | 116.5 | 6.05 | 0.43 | 3.32 | 62 | Kindrat et all, 2015 |
| 8 | 60B ₂ O ₃ -15ZnO- 5PbO- 18.5Al ₂ O ₃ | 401 | 600 | 7.9 | 340.8 | 12.2 | 0.58 | 0.68 | 66.8 | Deopa et al, 2018 |
| 9 | 20ZnO-14Bi ₂ O ₃ -64B ₂ O ₃ | 401 | 562 | - | 94 | 10.50 | 0.324 | 3.45 | - | Agarwal et al, 2009 |
| 10 | 79NaPO ₃ -20NaF | 402 | 600 | 12.18 | 55.9 | 2.82 | 0.13 | 2.5 | 50 | Jlassi et al, 2018 |
| 11 | 74TeO ₂ -15Sb ₂ O ₃ -10WO ₃ | 403 | 598 | 15.50 | 231 | 5.3 | 0.44 | 0.6 | - | Rao et al, 2017 |
| 12 | 69P ₂ O ₅ -15Na ₂ HPO ₄ -15Li ₂ O | 400 | 598 | - | 115 | 4.59 | 0.53 | - | - | Shesadri et al, 2009 |
| 13 | 69P ₂ O ₅ - 10Bi ₂ O ₃ - 10Li ₂ O- 10Na ₂ O | 401 | 596 | - | 148 | 7.71 | 0.46 | 1.53 | 54.6 | Damodaraiah et al, 2018 |
| 14 | K ₃ Y(PO ₄) ₂ | 401 | 600 | - | 222 | - | 0.45 | 3.1 | 65 | Sobczyk et al, 2016 |
| 15 | 20PbO - 9.0Al ₂ O ₃ -70B ₂ O ₃ | 402 | 599 | 18.14 | 218 | 7.77 | 0.535 | 2.45 | - | S. Mohan et al, 2017 |
| 16 | 58P ₂ O ₅ - 20CaF ₂ -15BaF ₂ - 5TiO ₂ | 401 | 598 | 17.61 | 90.7 | 7.53 | 0.47 | 2.42 | 45 | Neelima et al, 2019 |
| 17 | 15Li ₂ O - 20Al ₂ O ₃ - 64P ₂ O ₅ | 401 | 597 | - | 126.2 | 6.96 | 0.54 | - | - | Chantima et al, 2018 |
| 18 | 10BaO-25Na ₂ O-64B ₂ O ₃ | 400 | 600 | - | 145.3 | 7.00 | 0.51 | - | - | Luewarasirikul et al, 2017 |
| 19 | 49P ₂ O ₅ -20KH ₂ PO ₄ -10ZnO-10AlF ₃ -10KF | 401 | 600 | 13 | 203 | 12.42 | 0.44 | 1.18 | - | Kumar et al, 2017 |
| 20 | 20Na ₂ O-10PbO-4Al ₂ O ₃ -40B ₂ O ₃ -25SiO ₂ | 401 | 600 | 14.5 | 248 | 8.38 | 0.59 | 2.3 | - | K. Vijaya Babu et al, 2018 |

Berbagai *network former* pada gelas, gelas fosfat (P_2O_5) menunjukkan sifat fisik yang sangat penting, seperti temperatur leleh yang rendah, koefisien ekspansi termal tinggi, suhu transisi gelas rendah ($280^\circ C - 380^\circ C$), temperatur pelunakan yang rendah, transmisi ultraviolet (UV) tinggi, dan indeks bias tinggi, dan aplikasinya dapat ditemukan dalam optoelektronika, baterai *solid-state*, laser berdaya tinggi, dan lain-lain. Daya tahan kimia yang buruk dan stabilitas termal yang rendah dari gelas berbasis fosfat telah menjadi kendala utama. Penambahan atom boron (kurang dari 15 mol%) ke dalam jaringan kaca fosfat telah terbukti meningkatkan daya tahan kimia. (Srinivasulu et al., 2012). Kombinasi dua *network former*, B_2O_3 dan P_2O_5 merupakan modifikasi yang cukup besar dari sifat bahan dibandingkan dengan borat sederhana dan jaringan fosfat saja. (Srinivasulu et al., 2012). Gelas borofosfat memiliki keunggulan dengan menggabungkan jaringan borat dan fosfat, yaitu transparansi yang lebih tinggi pada cahaya tampak, kualitas optik yang baik, stabilitas termal dan mekanik yang baik, kelarutan ion tanah jarang yang baik dan *bandwidth* emisi yang sempit. (Vijayakumar & Marimuthu, 2016). Gelas fosfat murni bersifat higroskopis dan sensitif terhadap atmosfer sekitarnya. Fusi B_2O_3 dalam P_2O_5 mengembangkan ikatan P-O-B, meningkatkan daya tahan kimia, stabilitas mekanik dan termal. (S. Karki et al., 2019). Perlu ditambahkan logam oksida sebagai *network modifier* untuk meningkatkan kinerja gelas borofosfat. ZnO merupakan salah satu *modifier* gelas terbaik karena gelas akan mengalami peningkatan sifat optik dan spektral, seperti *direct bandgap* yang lebar, besar energi ikat eksitasi, dan penguatan optik tinggi pada suhu kamar (Patronov et al., 2020). Manfaat ditambahkan ZnO juga mampu meningkatkan densitas dan

indeks bias serta penstabil pada jaringan gelas. (Carreira et al., 2019). Penambahan oksida, ZnO, pada kombinasi B₂O₃ dan P₂O₅ dalam matriks gelas yang sama mampu menghasilkan peningkatan sifat yaitu meningkatkan stabilitas kimia gelas fosfat. Selain ZnO sebagai logam oksida jaringan *modifier*, perlu ditambahkan Li₂O pada gelas borofosfat. Tujuan penambahan Li₂O ialah menyebabkan konversi satuan segitiga BO₃ menjadi satuan BO₄ tetrahedra sehingga struktur menjadi lebih rapat atau kompak. (Prabu et al., 2019 & Shamshad et al., 2017). Ion logam alkali mampu membantu meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan kelembaban. Namun, jika hanya dengan penambahan oksida pada gelas maka reduksi energi fonon tidak optimal dikarena kebanyakan gelas oksida juga memiliki energi fonon yang tinggi (700-1300 cm⁻¹). (Shoaib et al., 2019). Kendala ini dapat diatasi dengan menambahkan fluor ke dalam gelas karena fluor mampu mengurangi energi fonon dan kemampuan absorbansi air pada gelas borofosfat. Penambahan fluor juga mampu mengurangi peluruhan non-radiatif dan pendinginan luminesensi yang disebabkan oleh kandungan OH⁻ sebagai akibatnya hasil luminesensi ion tanah jarang meningkat. (Vijayakumar & Marimuthu, 2016).

Keterbaruan dalam penelitian adalah modifikasi senyawa logam fluor (*metal fluoride*). Adapun logam yang digunakan ialah Kalium (K), Natrium (Na), Kalsium (Ca) dan Aluminium (Al). Pengembangan medium penguat optik akan dipelajari pada penelitian dengan memvariasikan ion logam pada senyawa logam fluor untuk melihat pengaruh dari senyawa logam fluor pada gelas borofosfat yang didoping dengan ion Samarium. Penelitian diharapkan mampu menghasilkan nilai yang optimum pada sifat radiatif sehingga menghasilkan medium penguat optik yang

baik. Sesuai dengan kebutuhan, maka dilakukan penelitian yang berjudul: **Pengembangan Medium Penguat Optik Berbasis Ion Samarium (Sm^{3+}) didoping pada Gelas *Fluoro-Borophosphate*.**

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah penelitian berdasarkan latar belakang di atas adalah:

1. Komposisi *host* matriks pada gelas sebagai penguat optik belum optimal.
2. Nilai *emission cross section*, *branching ratio*, dan *quantum efficiency* pada intensitas transisi level energi tertinggi, ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$, belum mencapai nilai optimal.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi senyawa logam fluor terhadap sifat optik, sifat luminesensi, dan sifat radiatif material gelas Sm: Borofosfat sebagai aplikasi penguat optik dengan menggunakan teknik *melt-quenching*. Komposisi sampel gelas yang dipakai dalam penelitian ini adalah Sm:PBZLXF dengan komposisi $(64-y)\text{P}_2\text{O}_5-5\text{B}_2\text{O}_3-15\text{ZnO}-15\text{Li}_2\text{O}-y\text{YF}-1\text{Sm}_2\text{O}_3$ (mol%) dengan nilai y yaitu 0 dan 15 serta Y merupakan unsur logam, yaitu Kalsium (Ca), Natrium (Na), Kalium (K) dan Al (Aluminium) untuk membentuk material gelas borofosfat doping Samarium.

1.4. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh senyawa fluoro terhadap sifat luminesensi medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+} ?
2. Bagaimana pengaruh senyawa fluoro terhadap sifat radiatif medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+} ?
3. Bagaimana pengaruh komposisi senyawa fluoro terhadap sifat optik medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+} ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis pengaruh senyawa fluoro terhadap sifat luminesensi medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+}
2. Untuk menganalisis pengaruh senyawa fluoro terhadap sifat radiatif medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+}
3. Untuk menganalisis pengaruh komposisi senyawa fluoro terhadap sifat optik medium gelas borofosfat didoping dengan ion Sm^{3+}

1.6. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi dasar tentang preparasi dan karakterisasi sifat optik, luminesensi dan radiatif pada material gelas borofosfat doping Samarium.
2. Hasil penelitian digunakan untuk pengembangan penelitian dengan berbahan Sm:PBZLXF diwaktu mendatang.