

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pesatnya kemajuan teknologi informasi dan komunikasi dalam dua dekade terakhir menyebabkan peningkatan kebutuhan transmisi data^[1]. Serat optik merupakan solusi atas kebutuhan transfer informasi dalam kapasitas besar dan kecepatan transfer tinggi. Serat optik lebih unggul dibanding kabel koaksial dalam hal *bandwidth* yang lebih besar, ukuran lebih kecil, bobot lebih ringan dan ketahanan operasi pada suhu tinggi^[2]. Dibalik keunggulannya, serat optik memiliki kelemahan yaitu memerlukan divais elektronik untuk pemrosesan data seperti penguatan (*amplification*), pemisahan (*routing*) dan pengalihan (*switching*) karena tidak bisa dilakukan dalam domain optik.

Pemrosesan dan pengaturan data masih menggunakan rangkaian elektronik, sehingga diperlukan konversi data elektronik/optik (E/O) pada *transmitter* dan optik/elektronik (O/E) pada *receiver*. Hal ini menyebabkan kecepatan sistem dibatasi oleh kecepatan rangkaian elektronik. Di samping itu, elektron di dalam divais elektronik berinteraksi satu sama lain dan menghasilkan panas sehingga memerlukan sistem pendingin. Komponen elektronik tingkat lanjut sekalipun masih tergolong lambat dan tidak mampu bekerja pada frekuensi tinggi (cahaya tampak dan infra merah dekat) sehingga menimbulkan efek yang dikenal dengan kemacetan elektronik (*electronic bottleneck*)^[3].

Kekurangan di atas menuntut perlunya divais terintegrasi yang dapat melakukan *all-optical data processing* tanpa perlu mengonversi ke dalam domain listrik. Hal ini dapat direalisasikan dilakukan jika setiap divais optik berukuran kecil. Divais optik konvensional memanfaatkan pemantulan internal total yang secara fundamental dibatasi oleh limit difraksi sehingga tidak memungkinkan untuk membuat divais yang berukuran kecil (di bawah orde mikrometer). Pembengkokan (*bending*) mengakibatkan sudut datang cahaya kurang dari sudut kritis sehingga diradiasikan keluar melalui *cladding*^[4].

Kandidat ideal untuk realisasi *all-optical data processing* adalah kristal fotonik (*photonic crystal*, PhC)^[5]. Kristal fotonik adalah struktur periodik buatan dari material dengan konstanta dielektrik yang berbeda dalam satu, dua atau tiga-dimensi dengan periodisitas (konstanta kisi) sebanding dengan panjang gelombang cahaya^[5,6]. Interaksi antara foton dengan modulasi periodik pada indeks bias mengakibatkan perambatan foton dihambat pada rentang frekuensi (atau panjang gelombang) tertentu. Rentang ini dikenal dengan istilah celah pita fotonik (*Photonic Band Gap*, PBG)^[7,8,9]. Fenomena ini mirip dengan *electronic band gap* pada perilaku elektron dalam material semikonduktor.

Adanya PBG membuat kristal fotonik memiliki sifat unik yaitu dapat digunakan untuk mengontrol propagasi dan emisi cahaya. Berbagai divais yang telah berhasil dibuat dari kristal fotonik diantaranya *beam splitter*^[10], sensor^[11], *nanocavity laser*^[12], *superlens*^[13], pandu gelombang^[14] dan lain-lain. Bahkan riset terkini menunjukkan kristal fotonik berhasil dikembangkan sebagai produk disinfektan untuk mengatasi Covid-19^[15].

Ada dua pendekatan yang digunakan untuk fabrikasi kristal fotonik yaitu *top-down* dan *bottom-up*. Pendekatan *top-down* menggunakan teknik litografi sudah berhasil untuk fabrikasi kristal fotonik 1D dan 2D. Sejauh ini fabrikasi kristal fotonik 3D menggunakan teknik litografi dianggap kurang cocok karena proses yang lambat dan relatif mahal. Pendekatan *bottom-up* dilakukan secara *self-assembly* yaitu dengan memanfaatkan kecenderungan partikel koloid untuk menyusun diri secara spontan menghasilkan struktur kristal tiga dimensi yang dikenal sebagai opal atau kristal koloid.

Self-assembly dianggap sebagai metode yang paling menjanjikan (sederhana, cepat dan relatif murah) untuk menghasilkan struktur periodik 3D dengan berbagai ukuran partikel^[16]. Ada beberapa metode *self-assembly* yang telah dikembangkan, seperti sedimentasi^[17,18], deposisi horizontal^[19,20,21,22], deposisi vertikal^[23,24] dan deposisi kapiler^[25]. Metode sedimentasi mudah dilakukan, namun menghasilkan struktur polikristal dengan ketebalan lapisan tipis yang tidak dapat dikontrol^[18]. Kualitas lapisan tipis opal yang diperoleh melalui metode deposisi

horizontal belum memadai dan ketebalan lapisan tidak homogen^[26]. Metode deposisi vertikal menghasilkan opal dengan kristalinitas jauh lebih baik dibandingkan metode sedimentasi, namun opal yang dihasilkan masih memiliki ketebalan yang tidak sama^[27]. Metode deposisi kapiler menghasilkan lapisan tipis kristal fotonik kualitas tinggi untuk semua ukuran partikel koloid dengan ketebalan lapisan tipis yang dapat dikontrol^[28].

Disamping banyak kelebihan, *self-assembly* memiliki kekurangan berupa timbulnya cacat bawaan pada struktur kristal yang dihasilkan seperti cacat titik, dislokasi, retak (*cracks*) dan salah susunan (*stacking faults*). Medan eksternal seperti medan magnet, *optical tweezer* dan medan listrik telah digunakan untuk mengurangi keberadaan cacat ini. Penggunaan medan magnet dan *optical tweezer* hingga saat ini hanya dapat digunakan untuk membuat kristal fotonik 2D^[23]. Medan magnet bahkan hanya dapat digunakan pada nanopartikel magnetik^[29].

Kemampuan partikel koloid untuk mengikat muatan (adsorpsi) memungkinkan untuk memengaruhi proses kristalisasi dengan menggunakan medan listrik arus searah (*Direct Current*, DC). Medan listrik bolak-balik (*Alternating Current*, AC) hanya dapat digunakan pada nanopartikel yang tidak isotropik. Penggunaan medan DC pada rentangan 0-3 V untuk deposisi opal dengan menggunakan metode deposisi kapiler (*capillary deposition method*, CDM) sudah pernah dilakukan. Tegangan optimum yang didapatkan sebesar 1,5 V dengan menggunakan *spacer* yang memiliki ketebalan 50 μm ^[30], atau setara dengan medan listrik 30 V/mm. Sel planar yang digunakan untuk deposisi opal diletakkan pada posisi mendatar sehingga gaya berat dan gaya elektrostatik selalu sejajar dan berlawanan arah.

Pada penelitian ini, fabrikasi opal dilakukan menggunakan metode CDM dengan medan listrik bernilai konstan (30 V/mm) dengan memvariasikan sudut kemiringan sel planar. Variasi sudut kemiringan mengakibatkan perubahan orientasi relatif antara gaya elektrostatik dengan gravitasi. Perbedaan orientasi ini akan memengaruhi laju kristalisasi dan penumbuhan kristal pada permukaan substrat, sehingga dapat memengaruhi struktur lapisan tipis opal yang dihasilkan.

Dari penelitian ini, diharapkan didapatkan kristal fotonik 3D kualitas tinggi dengan kandungan cacat yang rendah.

I.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut/orientasi medan listrik DC terhadap kristalinitas dan sifat optik dari lapisan tipis opal.

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi besar sudut kemiringan sel planar yang tepat untuk mendapatkan cacat minimum pada opal yang difabrikasi dengan metode deposisi kapiler.

I.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Partikel koloid yang digunakan untuk pembuatan opal adalah *polystyrene* berdiameter 250 nm.
2. *Spacer* yang digunakan memiliki ketebalan 50 μm .
3. Menggunakan *power supply* DC untuk menghasilkan medan listrik.
4. Suhu dan kelembapan mengikuti suhu ruang (tidak dikontrol).
5. Sudut kemiringan sel planar (α) diatur pada rentang $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ dengan interval 15° .

