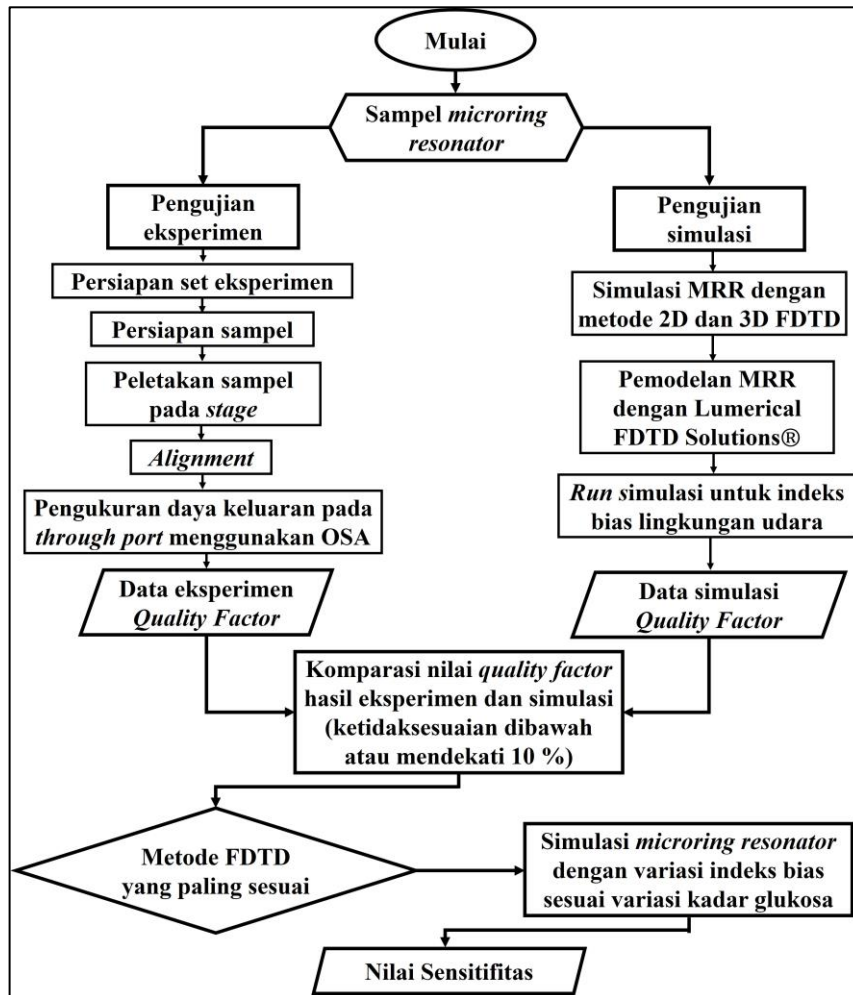


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian secara eksperimental dilakukan pada tanggal 26 November 2018 s.d. 21 Desember 2018 di *Nanophotonics Laboratory Institute of Microengineering and Nanoelectronics* (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Malaysia dan penelitian secara pemrograman simulasi dilakukan pada tanggal 1 Februari 2019 s.d. 25 Februari 2019 di Laboratorium Fisika Material Universitas Pendidikan Indonesia. Gambar 3.1 menampilkan desain penelitian yang dilakukan pada karakterisasi dan simulasi *microring resonator* (MRR) berbasis *Silicon-on-Insulator* (SOI) dengan pemanfaatan SiO_2 sebagai isolator untuk mengetahui performa MRR sebagai sensor untuk deteksi glukosa.



Gambar 1.1 Tahapan penelitian yang menggambarkan rangkaian penelitian yang dilakukan sampai dengan diperoleh hasil yang diharapkan

Divais MRR berbasis SOI yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini telah difabrikasi menggunakan sistem *Electron Beam Lithography* (EBL) dan dikarakterisasi morfologinya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) oleh Prof. Dr. Budi Mulyanti, M.Si., dkk. di *John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences Harvard University*. Divais tersebut kemudian dibawa ke *Institute of Microengineering and Nanoelectronics* (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Malaysia untuk dilakukan karakterisasi nilai *quality factor* secara eksperimental. Karakterisasi nilai *quality factor* di *Nanophotonics Laboratory Institute of Microengineering and Nanoelectronics* (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Malaysia menggunakan *Tunable Laser Source* (TLS) sebagai sumber cahaya dan *Optical Spectrum Analyzer* (OSA) sebagai detektor.

Pemrograman simulasi dikerjakan menggunakan komputer berspesifikasi intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz dengan sistem operasi 64-bit dan RAM internal 8GB yang berada di Laboratorium Fisika Material Universitas Pendidikan Indonesia. Pemrograman simulasi menggunakan perangkat lunak Lumerical FDTD Solutions® yang berbasis pada metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) digunakan untuk menyelesaikan persamaan kompleks Maxwell yang merupakan persamaan untuk mencari solusi dari persoalan divais fotonik. Parameter struktur geometris MRR yang digunakan dalam tahap simulasi ini diperoleh dari desain prafabrikasi MRR. Terdapat dua jenis metode FDTD yang digunakan, yaitu 2D FDTD dan 3D FDTD sehingga akan dilakukan komparasi antara hasil eksperimen dengan simulasi untuk melihat hasil jenis FDTD apa yang paling mendekati hasil eksperimen. Selanjutnya metode FDTD yang memberikan hasil paling dekat dengan hasil eksperimen akan digunakan untuk mensimulasikan sensitifitas sensor berbasis MRR untuk keperluan deteksi kadar glukosa.

3.2 Karakterisasi nilai *Quality Factor* pada *Microring Resonator* Berbasis *Silicon-On-Insulator* (SOI) dengan Pemanfaatan SiO_2 sebagai Isolator

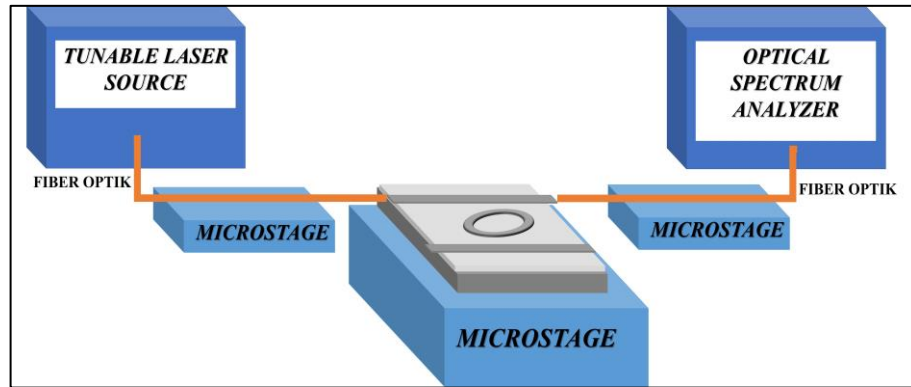
Quality factor merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan performa yang dimiliki oleh MRR sehingga nilainya harus diketahui. Pada penelitian ini nilai *quality factor* ditentukan dengan melakukan pengukuran daya keluaran MRR pada *through port* MRR. Prosedur yang dilakukan antara lain persiapan sampel, persiapan set eksperimen, peletakan sampel pada *stage*,

alignment, dan pengukuran daya keluaran pada *through port* MRR menggunakan OSA. Tabel 3.1 menampilkan daftar peralatan yang digunakan dalam proses eksperimen pengukuran daya keluaran pada *through port* MRR. Pengukuran daya keluaran pada *through port* MRR diperlukan untuk melakukan karakterisasi nilai *quality factor* MRR.

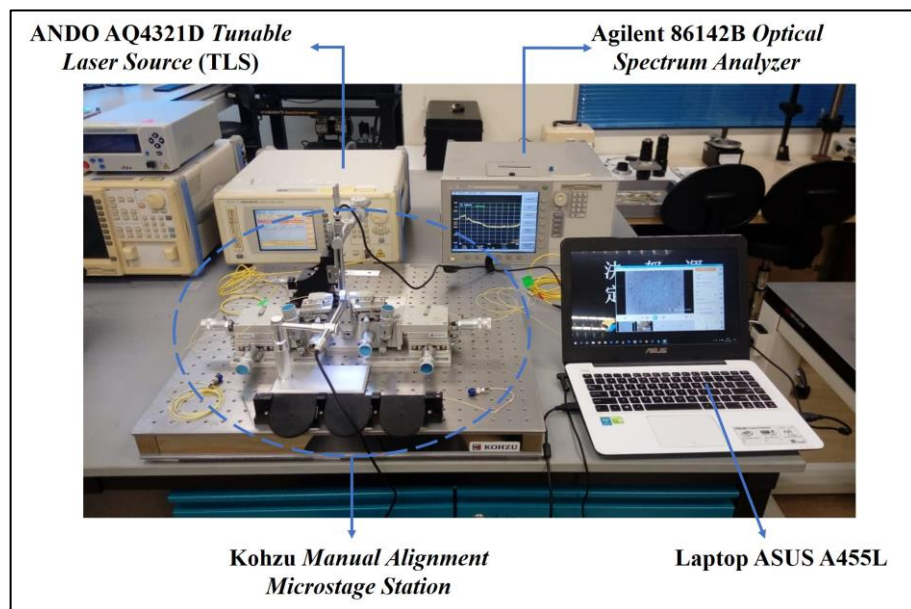
Tabel 1.1 Daftar peralatan yang digunakan dalam melakukan karakterisasi nilai *quality factor* MRR secara eksperimental

No	Alat
1.	ANDO AQ4321D <i>Tunable Laser Source</i> (TLS)
2.	Agilent 86142B <i>Optical Spectrum Analyzer</i> (OSA)
3.	Kohzu <i>Manual Alignment Microstage Station</i>
4.	Kabel fiber optik
5.	Laptop ASUS A455L

Pengaturan set eksperimen dilakukan dengan cara menghubungkan TLS dan *input port* MRR serta *through port* MRR dan OSA dengan menggunakan fiber optik sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.2. TLS berfungsi sebagai sumber cahaya yang dirambatkan pada MRR, OSA berfungsi sebagai alat pengukur daya keluaran pada *through port* MRR, Kohzu *Manual Alignment Microstage Station* berfungsi sebagai alat *alignment* fiber optik dan MRR, dan laptop ASUS A455L berfungsi untuk menampilkan perbesaran gambar proses *alignment* yang diperoleh melalui *microscope* pada *microstage*.



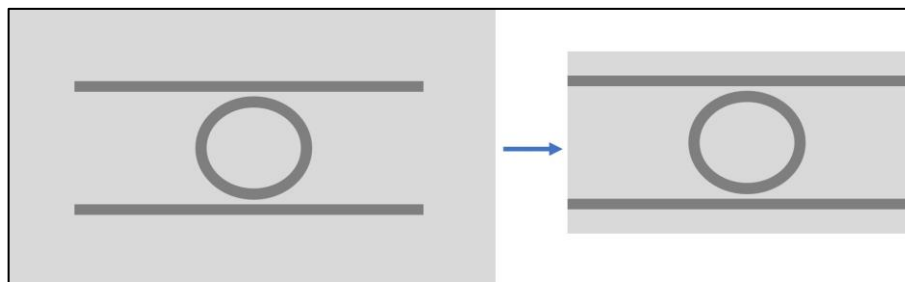
(a)



(b)

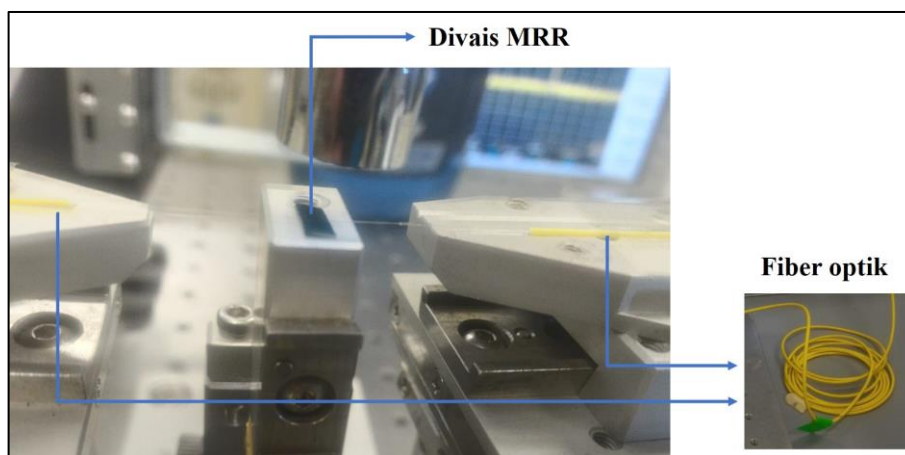
Gambar 1.2 (a) Skema *alignment* antara fiber optik dan MRR serta (b) set eksperimen karakterisasi nilai *quality factor* yang dilakukan dengan melakukan pengukuran daya keluaran pada *through port* MRR

Setelah set eksperimen selesai disiapkan maka tahap selanjutnya adalah melakukan persiapan sampel. Persiapan sampel dilakukan dengan cara memotong bagian lapisan penyangga yang tidak diperlukan, yaitu bagian yang tidak terdapat pandu gelombang padanya. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses *alignment*. Ilustrasi pemotongan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 1.3 Ilustrasi pemotongan lapisan penyangga sampel MRR

Ketika set eksperimen telah selesai disiapkan maka sampel dapat diletakan pada *stage* sebagaimana yang terdapat pada Gambar 3.4. MRR diletakan pada *stage* dengan menggunakan *tweezer*, namun perlu diperhatikan agar berhati-hati dalam meletakan sampel yang akan diukur karena ukurannya yang sangat kecil sehingga rawan terlepas dan jatuh.

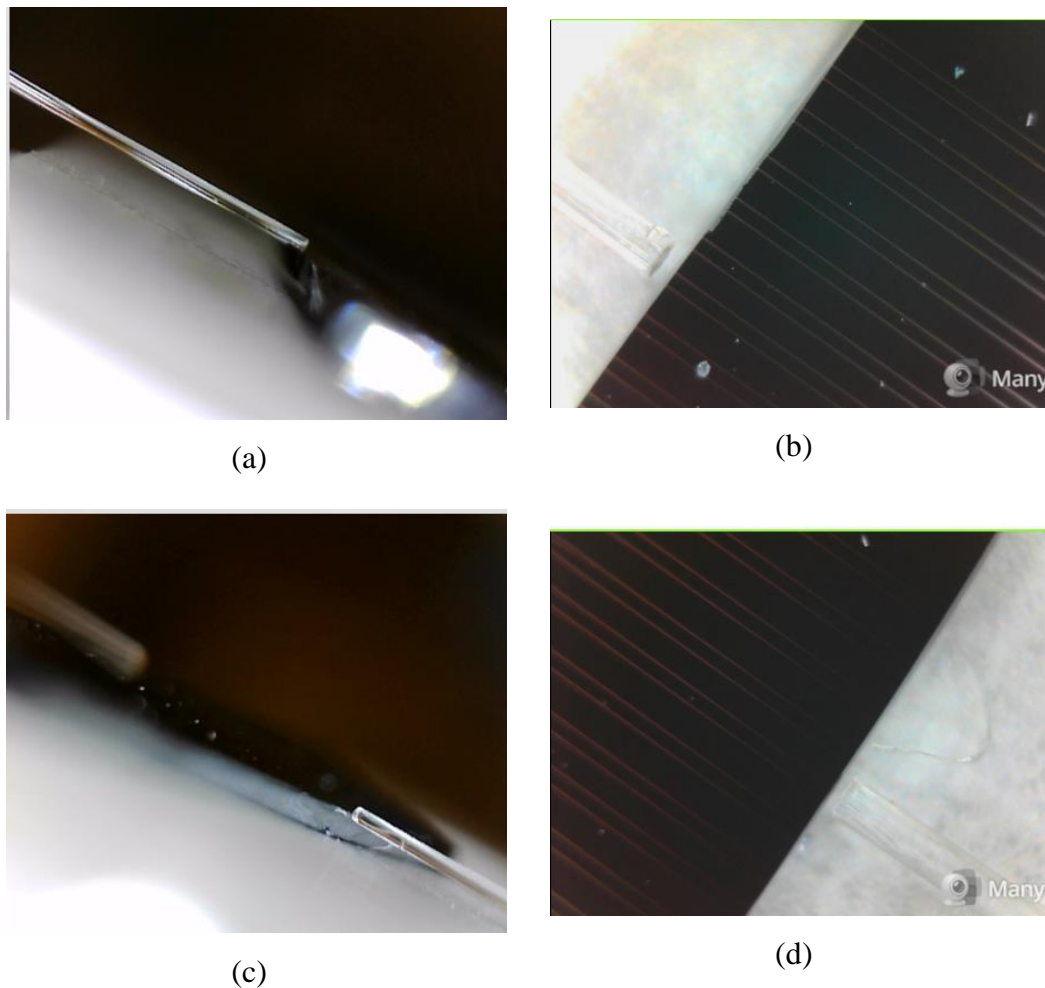


Gambar 1.4 Penempatan sampel MRR di atas *stage* yang dilakukan sebelum tahap *alignment*

Pada eksperimen ini TLS diatur sedemikian rupa untuk memberikan input daya sebesar 0 dBm dengan rentang panjang gelombang dari cahaya masukan adalah 1535 nm s.d. 1565 nm. Cahaya tersebut kemudian dirambatkan terlebih dahulu menggunakan fiber optik sehingga dapat dimasukan pada pandu gelombang MRR. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan dimensi dari pandu gelombang MRR maka ukuran fiber optik sangatlah besar sehingga perlu dilakukan *cleaving* untuk memperoleh bagian inti fiber optik saja. Proses *Cleaving* menggunakan fiber optik *stripper* dilakukan untuk mempermudah proses *alignment*.

Pada dasarnya proses *alignment* dilakukan dengan cara menghubungkan fiber optik *input* yang telah terhubung dengan TLS ke bagian *input port* MRR serta

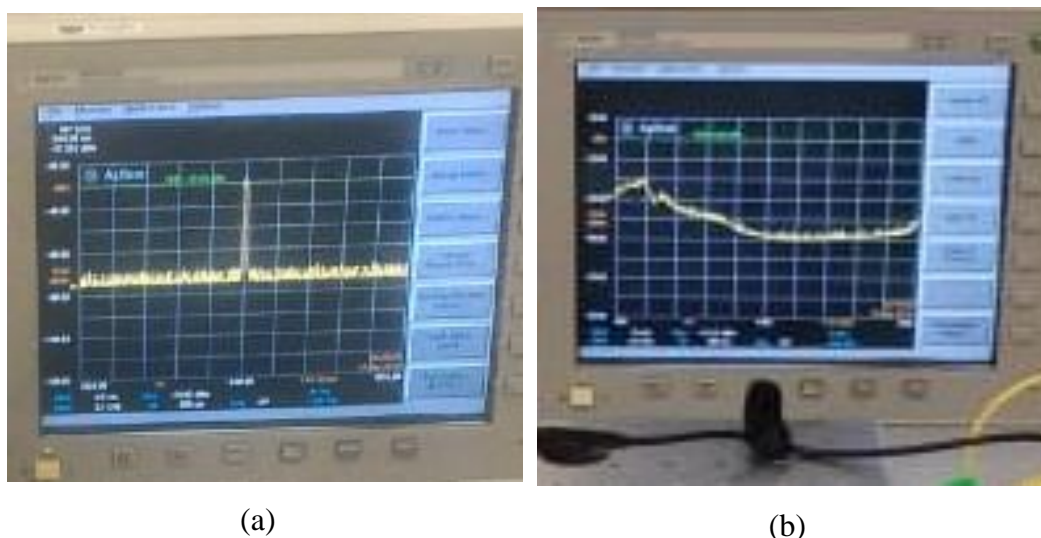
menghubungkan bagian *through port* MRR dengan fiber optik *output* yang telah dihubungkan ke OSA. Proses *alignment* merupakan tahap *try and error* yang perlu dilakukan untuk memperoleh hasil terbaik. Proses optimasi yang dilakukan saat eksperimen dengan cara menghubungkan fiber optik pada pandu gelombang MRR ditampilkan pada Gambar 3.5. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa untuk satu sampel terdapat banyak divais MRR. Oleh karena itu, tahap *alignment* dan pengukuran daya keluaran menggunakan OSA dilakukan sebanyak jumlah divais yang terdapat pada satu sampel MRR.



Gambar 1.5 *Alignment* divais dilihat dari (a) samping untuk *alignment* fiber optik ke *input port*, (b) atas untuk *alignment* fiber optik ke *input port*, (c) samping untuk *through port* ke fiber optik, dan (d) atas untuk untuk *through port* ke fiber optik

Pada tahap ini Kohzu *Manual Alignment Microstage Station* digunakan untuk melakukan penyesuaian terhadap posisi fiber optik dan divais MRR. Posisi dari *microstage* dapat diatur secara 3 dimensi, selain itu kemiringan dari *stage* tempat

meletakkan fiber optik dan divais MRR juga dapat disesuaikan. Dengan demikian, penyesuaian dapat dilakukan secara bebas sampai mendapatkan hasil yang optimal. Hasil optimal akan diperoleh jika daya keluaran yang terbaca oleh OSA menunjukkan nilai yang paling tinggi. Kohzu *Microscope Camera* dapat dihubungkan pada laptop atau komputer sehingga proses *alignment* dapat diamati secara langsung sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.5. Jika kondisi optimal *alignment* tercapai maka OSA akan dapat membaca daya keluaran pada *through port* MRR, namun jika kondisi *alignment* tidak tercapai maka daya keluaran pada *through port* MRR tidak akan terukur oleh OSA. Gambar 3.6 (a) adalah tampilan OSA saat kondisi *alignment* tercapai, sedangkan Gambar 3.6 (b) adalah tampilan OSA saat kondisi *alignment* tidak tercapai.



Gambar 1.6 Tampilan OSA (a) saat *alignment* tercapai sehingga resonansi dapat terukur dan (b) saat *alignment* tidak tercapai sehingga resonansi tidak terukur

Fiber optik yang terhubung dengan TLS perlu dihubungkan bagian intinya dengan *input port* dari MRR. Cahaya yang telah melalui MRR kemudian ditangkap oleh fiber optik yang telah di-*cleaving* pada *through port* MRR untuk dihantarkan menuju OSA. OSA akan melakukan pengukuran daya keluaran yang melalui *through port* MRR yang ditampilkan pada layar OSA. Data yang diperoleh OSA dapat disimpan menggunakan disket lalu dipindahkan pada laptop atau komputer menggunakan pembaca disket eksternal. Data yang sudah diambil dari OSA tersebut dapat di plot ulang kembali menggunakan perangkat lunak pengolah grafik

konvensional yang ada. Setelah itu nilai FWHM dan *quality factor* masing-masing dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3.

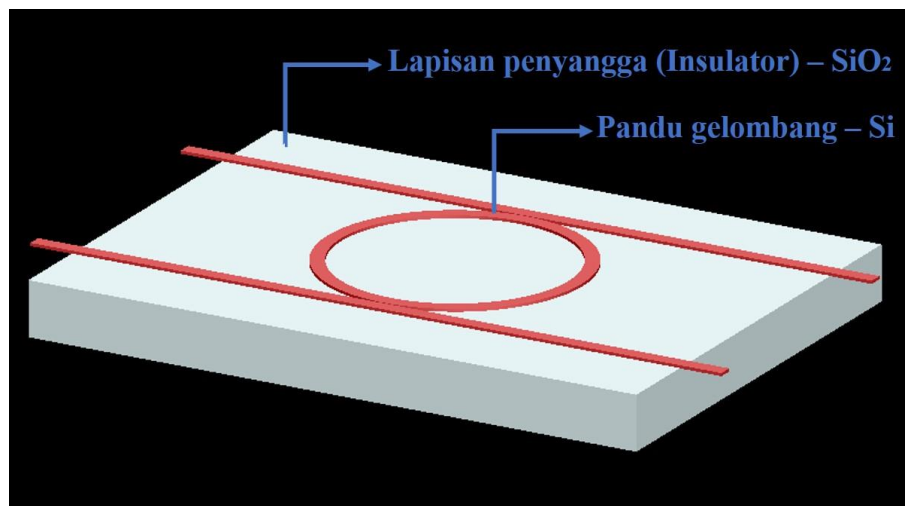
3.3 Pemrograman Simulasi *Microring Resonator* dengan Metode 2D dan 3D *Finite Difference Time Domain (FDTD)*

Pada penelitian ini perangkat lunak Lumerical FDTD Solutions® digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan divais MRR. Lumerical FDTD Solutions® merupakan perangkat lunak yang bekerja berdasarkan prinsip *Computer Aided Design (CAD)* yang menggunakan grafik berbasis vektor atau raster untuk menggambarkan objek dari suatu perancangan, namun CAD sendiri lebih dari hanya membuat bentuk saja. CAD harus menyampaikan berbagai macam informasi seperti bahan, proses, dimensi, toleransi, dan performa.

Hal pertama yang dilakukan adalah membuat lapisan penyangga dan pandu gelombang yang merupakan struktur geometris dari MRR. Lapisan penyangga dapat dibuat dengan memilih jenis *rectangle* pada menu *structure*, sedangkan struktur pandu gelombang MRR dapat dibuat dengan memilih *ring resonator* pada menu *components: integrated optics*. Jenis bahan yang dipilih dalam memodelkan divais disesuaikan dengan yang digunakan pada saat fabrikasi dan ukuran struktur geometris MRR dibuat berdasarkan desain awal MRR yang telah ditentukan untuk difabrikasi. Struktur geometris yang digunakan pada tahap pemodelan ditampilkan pada Tabel 3.2. Adapun struktur geometris MRR yang telah dibuat kemudian ditampilkan pada Gambar 3.7.

Tabel 1.2 Struktur geometris MRR yang telah ditentukan untuk difabrikasi dan digunakan untuk mensimulasikan divais MRR pada penelitian ini

Struktur geometris	Ukuran (μm)
Radius cincin (R)	4,50
Gap (g)	0,05
Lebar pandu gelombang (W)	0,50
Tinggi pandu gelombang (h)	0,22

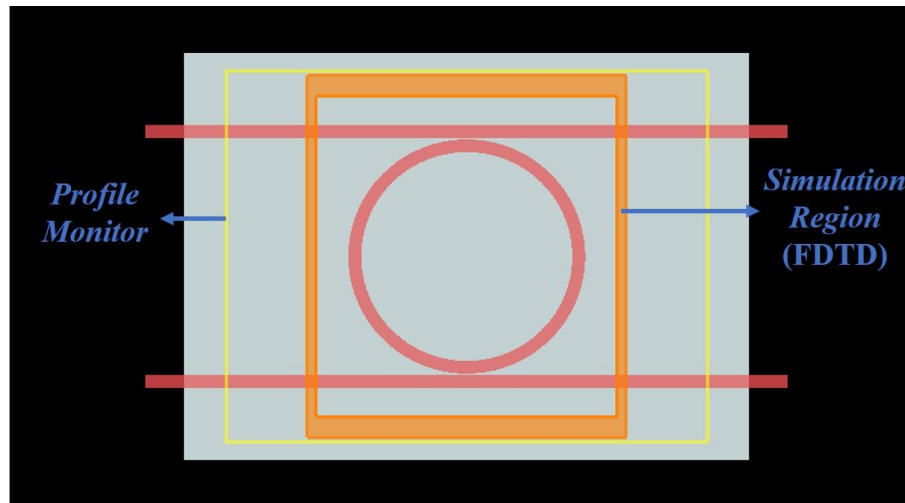


Gambar 1.7 Pemodelan geometris MRR dengan lapisan penyangga SiO_2 dan pandu gelombang Si

Tahap berikutnya adalah penambahan *profile monitor* dan *simulation region* (FDTD) pada model yang dibuat sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 3.8. Tahap pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Lumerical FDTD Solutions® pada komputer berspesifikasi intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz dengan sistem operasi 64-bit dan RAM internal 8GB. Komputer dengan spesifikasi yang baik dipilih agar mampu mengerjakan proses simulasi secara efektif dan efisien. Untuk memberikan hasil simulasi yang optimal maka berbagai parameter simulasi dioptimasi. Parameter simulasi yang dioptimasi adalah *mesh*, *simulation time*, dan profil *Perfectly Matched Layer* (PML). *Mesh* bernilai 3 dipilih untuk memberikan hasil yang cukup baik, namun tetap meminimalisasi waktu simulasi dan kebutuhan *memory*.

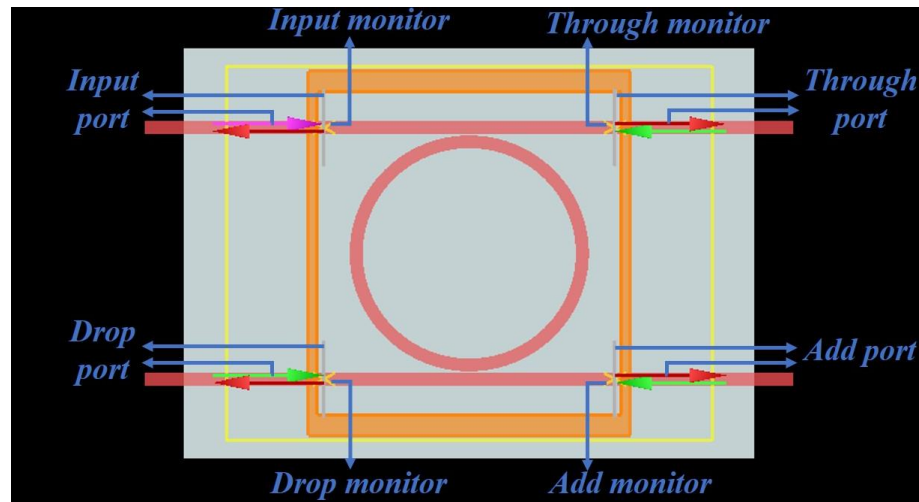
Simulasi dimulai dengan memasukkan pulsa optik ke dalam *simulation domain* sampai sinyal optik melewati *simulation domain* sepenuhnya. Dengan demikian, simulasi harus dilakukan dengan waktu yang cukup besar sehingga cahaya dari sumber dapat mencakup seluruh jarak dari sumber ke ujung wilayah simulasi. Pada simulasi ini *simulation time* yang digunakan adalah 50000 fs. Selanjutnya, profil PML yang dipilih adalah model *standard* yang didesain untuk menghasilkan penyerapan cahaya secara keseluruhan yang baik dengan jumlah lapisan yang relatif sedikit sehingga waktu simulasi yang diperlukan dapat direduksi. Kondisi lingkungan dengan temperatur 295 K dan indeks bias udara ($n = 1$) dipilih untuk menyesuaikan dengan kondisi eksperimen yang dilakukan sebelumnya, selain itu

pengaturan dimensi FDTD yang digunakan juga dapat diatur menjadi 2D FDTD atau 3D FDTD pada bagian *Simulation region* (FDTD).



Gambar 1.8 Penambahan *simulation region* (FDTD) dan *profile monitor* pada struktur yang telah dibuat di Gambar 3.9

Pada Gambar 3.9 dapat dilihat bahwa *ports* dan *time monitors* ditambahkan pada empat lokasi yang berbeda, yaitu *input*, *through*, *add*, dan *drop*. *Port group* merupakan objek yang berfungsi untuk membuat *port* MRR dan mode yang digunakan pada simulasi serta rentang dan jumlah frekuensi yang akan dikumpulkan oleh *profile monitor*. *Time monitor* atau *time-domain monitor* berfungsi untuk memberikan informasi untuk komponen medan dalam domain waktu pada setiap bagian *simulation region* (FDTD) untuk keperluan ekstraksi lebar struktur resonansi melalui analisis Fourier.



Gambar 1.9 Bentuk akhir dari model MRR yang dibuat menggunakan Lumerical FDTD Solutions®

Jika tahap pemodelan divais MRR telah selesai maka tahap selanjutnya, yaitu simulasi dapat dikerjakan. Simulasi dilakukan dengan memilih menu *running simulation*. Dengan begitu proses perhitungan persamaan Maxwell menggunakan metode FDTD untuk melakukan analisis terhadap perambatan cahaya di dalam pandu gelombang MRR dikerjakan oleh Lumerical FDTD Solutions®. Proses simulasi tersebut akan memerlukan waktu dan kapasitas penyimpanan komputer dalam pengerjaannya. Lumerical FDTD Solutions® akan mencacah divais MRR yang telah dibangun ke dalam bentuk kisi Yee dan menentukan setiap komponen medan yang terdistribusi di dalam model MRR yang telah dibuat. Setelah proses simulasi maka transmitansi yang terjadi pada *through port* dapat diketahui dengan memplot hasil simulasi yang berupa data transmitansi yang terjadi *through port*. Transmitansi yang terjadi berupa pulsa-pulsa resonansi yang berada pada panjang gelombang tertentu. Data tersebut kemudian dapat disimpan ke dalam format *text document* untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut. Nilai FWHM dan *quality factor* masing-masing dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3.