

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini berfokus pada pembuatan *model* dan simulasi sistem OFDM dengan *coherent detection* menggunakan modulasi digital 4-QAM pada *Inter-Satellite Optical Wireless Communication*. Informasi yang dikirim diasumsikan berupa data digital, dengan jumlah data yang dikirim sebanyak 20 Gbps. Dari sistem yang dibuat, akan diamati juga pengaruh parameter dari *aperture diameter* dan *wavelength* terhadap kinerja sistem. Desain model dan simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan *software Optisystem 19*.

*Optisystem* merupakan perangkat lunak untuk mendesain, menguji, dan menyimulasikan sistem komunikasi optik. Perangkat lunak *optisystem* hadir dengan instrumen virtual yang memungkinkan penulis melakukan pengukuran dengan mudah tanpa dibatasi oleh keterbatasan perangkat.

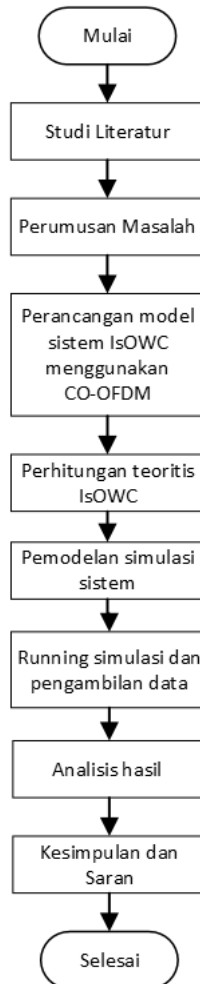
Adapun parameter yang digunakan sebagai pengukur unjuk kerja sistem yaitu *Bit Error Rate (BER)*, *Symbol Error Rate (SER)*, *Error Vector Magnitude (EVM)* dan *Received Optical Power*. Hasil pengujian yang didapatkan dari sistem yang dirancang akan diolah kebentuk tabel menggunakan *Microsoft excel* dan dalam bentuk grafik dengan menggunakan *software Matlab*.

#### **3.1 ALUR PENELITIAN**

Pada bagian ini menjelaskan sistematika dalam melakukan penelitian. Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu, pemerolehan data dan masalah dengan studi literatur, perancangan model sistem sistem yang mengintegrasikan berbagai komponen penelitian, perhitungan teoritis yang mendukung landasan konseptual, *setting* parameter yang digunakan.

Setelah tahap-tahap awal tersebut diselesaikan, langkah berikutnya adalah pemodelan sistem berdasarkan kerangka model yang telah dirancang sebelumnya. Selanjutnya, tahapan simulasi dan pengambilan data, di mana model yang telah dibangun akan diuji melalui berbagai skenario dan kondisi yang telah ditetapkan.

Setelah itu, kesimpulan dan saran berdasarkan analisis yang telah dilakukan. Gambar 3.1 menampilkan tahap-tahap penelitian dalam bentuk *flowchart*.



**Gambar 3.1 Flowchart Penelitian**

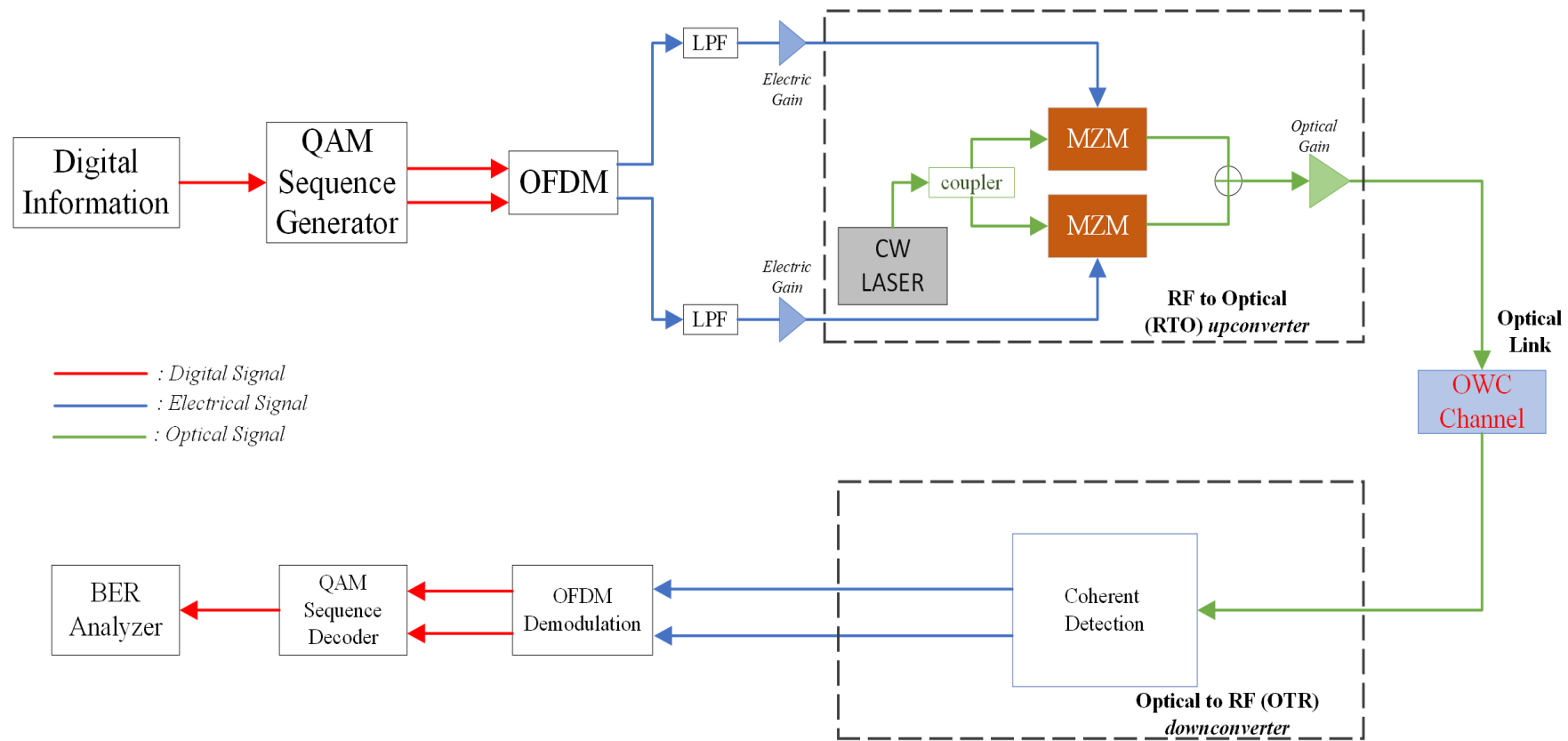
Tahapan pertama yang dilakukan yaitu studi literatur, dengan melakukan *literature review* dan mencari referensi teori dari berbagai sumber yang berkaitan dengan topik yang diteliti. Sumber-sumber yang digunakan berupa *paper*, jurnal, *ebook* dan *textbook*. Tahap ini dilakukan sebagai bahan dan acuan untuk memahami konsep dari topik yang dibahas, serta untuk menemukan perbedaan pada setiap penelitian yang dilakukan sehingga dapat dijadikan sebagai referensi penelitian. Kemudian dari referensi tersebut akan diperoleh masalah yang dapat diteliti. Dimana penelitian ini akan menganalisis kinerja sistem Is-OWC menggunakan teknik *multiplexing* OFDM dan teknik deteksi *coherent*, dengan modulasi 4-QAM.

Perancangan sistem dilakukan dengan membuat blok diagram sistem CO-OFDM dengan modulasi digital 4-QAM dan peletakan pada tiap-tiap komponen yang digunakan, dengan mengacu pada jurnal-jurnal penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Sistem yang dibuat dibagi menjadi 3 sisi, yaitu sisi pengirim, kanal, dan penerima. Setelah melakukan perancangan selanjutnya melakukan perhitungan teoritis terhadap parameter yang akan digunakan. Hasil dari perhitungan ini akan dibandingkan dengan hasil simulasi untuk memverifikasi apakah simulasi yang dilakukan benar atau tidak. Melalui perbandingan dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi, akan dapat diketahui jika simulasi yang dilakukan sudah benar atau tidak. Jika hasil dari perhitungan tidak jauh beda dari hasil simulasi, maka dapat dikatakan bahwa simulasi yang dilakukan sudah benar.

Pembuatan sistem dilakukan dengan cara simulasi menggunakan *software Optisystem* versi 19. Pada sistem yang sudah dirancang kemudian akan ditentukan parameter yang akan digunakan dan setelah itu akan disimulasikan. Namun sebelum melakukan simulasi, dari parameter yang dimasukkan akan dilakukan perhitungan secara teoritis terlebih dahulu, yang akan dibandingkan dengan simulasi menggunakan *software*. Setelah simulasi dan perhitungan teoritis, maka akan didapatkan hasil data yang akan dianalisis, yaitu terhadap kinerja sistem dan pengaruh variasi parameter yang diajukan. Hasil parameter yang diuji berupa nilai BER, SER, EVM dan *Received Optical Power*. Setelah itu melalui hasil yang diperoleh akan diberi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

### **3.2 DIAGRAM SISTEM**

Model awal sistem berbentuk blok diagram sebagai acuan dasar, yang nantinya akan dibuat *layout* simulasinya menggunakan *software optisystem* 19. Skema perancangan blok diagram sistem CO-OFDM Is-OWC dapat dilihat pada Gambar 3.2. Skema sistem ini akan mendemonstrasikan pengiriman *bit rate* sebesar 20 Gbps pada sistem Is-OWC menggunakan teknik *multiplexing* OFDM dan deteksi *coherent* dengan modulasi 4-QAM. Jarak antar satelit diasumsikan memiliki jauh 3500 km berdasarkan jarak terjauh pada komunikasi antar satelit orbit LEO/LEO atau komunikasi antar satelit pada orbit LEO/MEO [19].

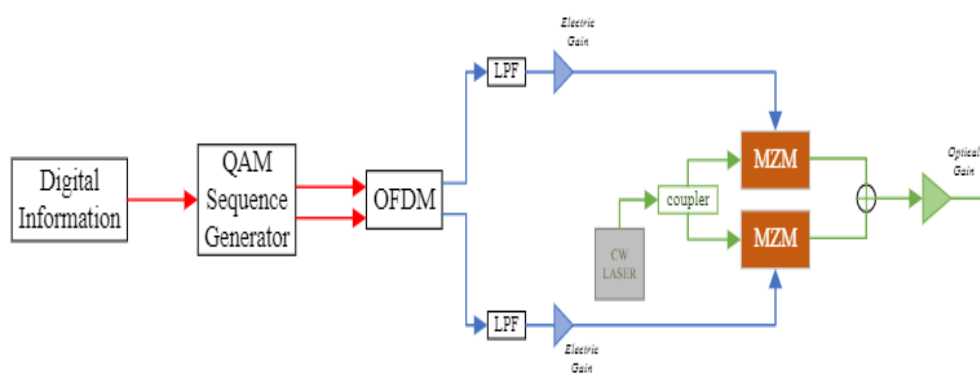


**Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem CO-OFDM 4-QAM Is-OWC**

Pada sistem ini dibagi menjadi 3 sisi, yaitu sisi pengirim, kanal, dan penerima. Pada penelitian ini juga akan mengukur bagaimana performansi sistem terhadap pengaruh dari perubahan besar *aperture diameter* dan *wavelength*.

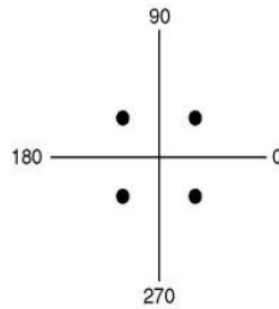
### 3.2.1 Sisi Pengirim

Sisi pengirim pada sistem ini bekerja sebagai pemrosesan data untuk dikirimkan ke penerima. Sisi pengirim pada pemodelan sistem CO-OFDM Is-OWC menggunakan beberapa komponen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Blok Diagram Sisi Pengirim**

Pada penelitian ini sumber data yang diterima diasumsikan sudah dalam bentuk digital. Sinyal yang dikirim sebesar 20 Gbps, menggunakan daya pancar sebesar 0 dB. Pertama sinyal informasi berupa sinyal digital akan diteruskan ke perangkat modulasi digital, dimana pada penelitian ini menggunakan format modulasi 4-QAM yang berdasarkan standar ITU-T G.9903 mengenai penggunaan modulasi pada sistem OFDM. Modulasi ini digunakan karena keunggulannya yang mampu mengirimkan sinyal pada jarak jauh. Pada modulasi 4-QAM sinyal yang diterima akan dipetakan pada setiap titik konstelasi yang terdiri dari 2bit data per simbol yang terdiri dari 4 titik, sehingga kesalahan bit pada pengiriman lebih sedikit. Hal ini dapat meningkatkan kualitas sinyal yang diterima. Modulasi 4-QAM juga memerlukan sedikit daya sehingga cocok untuk diterapkan pada komunikasi *inter-satellite*, dimana salah satu tantangan utama pada sistem komunikasi satelit yaitu sumber daya yang terbatas. Berikut gambar konstelasi diagram modulasi 4-QAM.



**Gambar 3.4** Konstelasi diagram 4-QAM

Pada Gambar 3.4 menunjukkan hasil konstelasi diagram modulasi 4-QAM. Kemudian hasil dari sinyal termulasi akan diteruskan ke OFDM dengan jumlah *subcarrier* 128. Pada blok OFDM sinyal akan dibentuk secara *orthogonal* pada masing-masing *subcarrier*. Pembentukan sinyal secara *orthogonal* ini bertujuan untuk menghemat *bandwidth*, sehingga dapat meningkatkan performansi pengiriman. Saat pembentukan secara *orthogonal* sinyal akan diubah ke domain frekuensi-waktu dengan menerapkan metode *Inverse Fast Fourier Transform* untuk mencegah terjadinya interferensi. Sinyal keluaran dari OFDM ini berupa sinyal elektrik yang akan difilter menggunakan *Low Pass Filter* (LPF). LPF bekerja dengan meloloskan sinyal sesuai dengan frekuensi *cut-off*, sehingga sinyal-sinyal yang tidak di inginkan akan dihilangkan.

Setelah sinyal elektrik difilter, kemudian sinyal tersebut akan dikuatkan menggunakan *electric gain*, setelah itu sinyal akan dikonversi dari elektrik menjadi sinyal *optical*. Proses pengkonversian sinyal dari elektrik ke optik dilakukan secara eksternal, dimana membutuhkan *modulator* tambahan untuk mengubah sinyal elektrik tersebut menjadi sinyal optik. Pada sistem ini menggunakan dua buah perangkat *mach zehnder modulator* (MZM), karena sinyal dikirim secara paralel. Perangkat (MZM) disini berfungsi sebagai *modulator* eksternal untuk menumpangkan sinyal elektrik ke sinyal optik. Dimana sinyal optik disini berfungsi sebagai sinyal *carrier* dan sinyal elektrik merupakan sinyal informasi. Sumber cahaya sinyal optik berasal dari *CW Laser*. Cahaya laser kemudian diteruskan ke *coupler* untuk dibagi, sehingga sumber cahaya menjadi dua bagian, yang kemudian diteruskan ke perangkat MZM. Sinyal dari MZM tersebut kemudian diubah ke bentuk serial, dengan cara digabungkan menggunakan *coupler*. Sinyal diubah ke

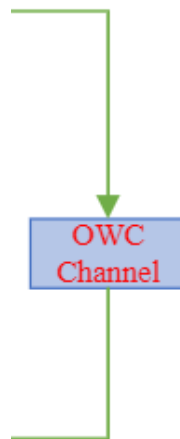
bentuk serial untuk ditransmitkan menggunakan kanal OWC setelah dilakukannya penguatan. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Parameter sisi pengirim**

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
<i>Bit rate</i>	20	Gbps
<i>Bis per simbol</i>	2	bits
<i>Total subcarrier</i>	128	
<i>Cutoff frequency</i>	0,75*symbol rate	Hz
<i>Wavelength</i>	850, 1550	nm
<i>Tx Power</i>	0	dB
<i>Gain</i>	30	dB

### 3.2.2 Sisi kanal

Sisi kanal berfungsi sebagai media yang digunakan untuk mengirimkan data. Komponen yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Blok Diagram Sisi Kanal**

Pada bagian ini sinyal yang diterima berupa sinyal optik akan dikuatkan terlebih dahulu menggunakan *optical gain*. Kemudian sinyal tersebut ditransmisikan dalam bentuk *optical wireless* menuju penerima. Pada sisi ini nilai dari *aperture diameter* akan divariasikan untuk melihat pengaruh dari parameter tersebut terhadap sistem. Lensa pada sistem optik digunakan sebagai antena untuk memancarkan dan menerima cahaya. Lensa juga berfungsi untuk memfokuskan

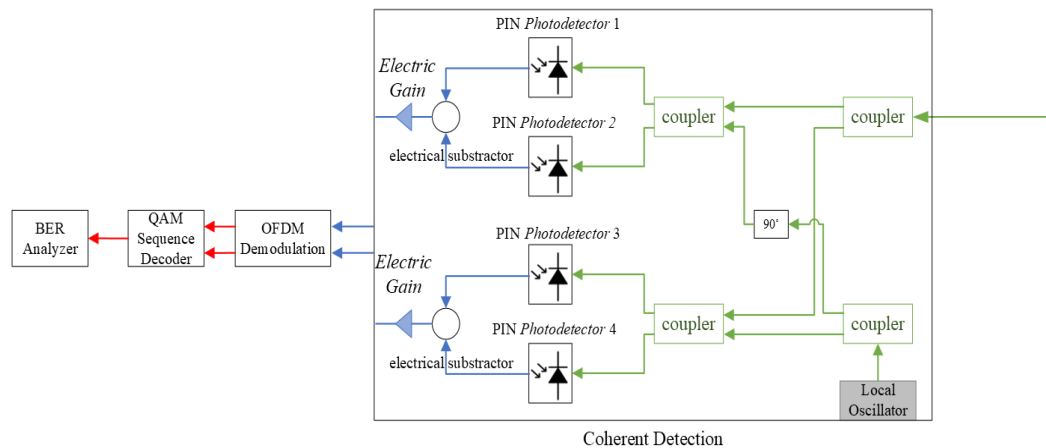
cahaya optik dari pengirim ke sisi penerima. Oleh karena itu besar dari diameter lensa pada sistem akan mempengaruhi kinerja dari sistem tersebut. Diameter yang digunakan sebesar 10-30 cm pada sisi pengirim dan penerima. Tabel 3.2 merupakan parameter pada sisi kanal.

**Tabel 3.2 Parameter sisi kanal**

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Linewidth</i>	0,1	MHz
<i>Range</i>	3500	km
<i>Tx aperture diameter</i>	10-30	cm
<i>Rx aperture diameter</i>	10-30	cm
<i>Tx pointing error angle</i>	0,8	$\mu$ rad
<i>Rx pointing error angle</i>	0,8	$\mu$ rad
<i>Tx/Rx optical efficiency</i>	0,8	$\eta$
<i>Additional Loss</i>	2	dB

### 3.2.3 Sisi Penerima

Pada bagian penerima berfungsi untuk menerima sinyal yang ditransmisikan oleh pengirim menggunakan kanal *optical wireless*.



**Gambar 3.6 Blok Diagram Sisi Penerima**

Gambar 3.6 merupakan blok diagram yang digunakan pada sisi penerima. Sinyal yang ditransmisikan diterima menggunakan deteksi koheren. Jenis deteksi koheren yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis *homodyne*. Prinsip kerja



jenis ini yaitu melakukan penggabungan antara sinyal informasi optik dengan sinyal referensi optik, yang memiliki *wavelength* atau frekuensi yang sama. Dimana sinyal referensi berasal dari *local oscillator* (LO). Sehingga terdapat dua jalur, yaitu jalur referensi optik dan jalur sinyal informasi optik. Dari sinyal tersebut akan diukur perbedaan salurannya, yaitu saluran I sebagai sinyal yang sejajar dengan fase sinyal referensi dan sinyal *input* yang akan dideteksi, dan saluran Q yang merupakan sinyal *quadratur* (yaitu sinyal di mana dua pembawa bergeser secara fase sebesar 90 derajat) terhadap sinyal referensi. Sehingga amplitudo dan fase dari kedua sinyal dapat diukur secara akurat. Kemudian sinyal-sinyal tersebut diteruskan ke sebuah *photodetector* dan menghasilkan sinyal *output* berupa sinyal listrik. Sinyal tersebut kemudian digabung menggunakan *electrical subtractor* untuk menggabungkan kembali *phasa* dan *amplitude* dari sinyal yang dipisah sebelumnya untuk diukur, yang kemudian diperkuat menggunakan *electrical gain*.

Selanjutnya sinyal diteruskan ke OFDM *demodulation* untuk melakukan pemulihan data dengan mengubah kembali domain sinyal ke bentuk waktu-frekuensi menggunakan *fast fourier transform* (FFT). Dimana, nilai parameter yang digunakan sama dengan OFDM *Modulator*. Kemudian sinyal di demodulasi sesuai jenis modulasi yang digunakan pada sisi pengirim, yaitu 4-QAM. Hasil sinyal keluaran lalu akan diukur menggunakan BER *analyzer* untuk mendapatkan hasil BER. Tabel 3.3 menunjukkan parameter yang digunakan pada sisi pengirim.

**Tabel 3.3 Parameter Sisi Pengirim**

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
LO <i>Power</i>	10	dBm
LO <i>wavelength</i>	850, 1550	nm

### **3.3 SKENARIO PENELITIAN**

Pada penelitian ini akan melakukan beberapa eksperimen penelitian untuk menganalisis serta mengetahui kinerja sistem CO-OFDM berbasis Is-OWC terhadap pengaruh variasi *aperture diameter* dan operasi *wavelength* sumber optis yang digunakan. Besar *aperture diameter* lensa akan divariasikan pada sisi pengirim dan penerima sistem, dengan besar yang digunakan adalah 10, 15, 20, 25,

dan 30 cm. Kemudian operasi *wavelength* yang akan digunakan yaitu 850 nm dan 1550 nm.

Eksperimen pertama yaitu menganalisis pengaruh perubahan besar *aperture diameter* yang digunakan pada sisi pengirim dan penerima, dengan menggunakan operasi *wavelength* sumber optis sebesar 850 nm. Adapun parameter ukur yang akan diamati sebagai bahan analisis pada penelitian ini adalah BER, SER, EVM dan *received optical power*. Berikut tabel hasil pengukuran variasi besar *aperture diameter* menggunakan *wavelength* 850 nm. Tabel 3.4 menunjukkan variasi besar *aperture diameter* menggunakan operasi *wavelength* 850 nm.

**Tabel 3.4 Hasil pengukuran variasi besar *aperture diameter* menggunakan operasi *wavelength* 850 nm**

<i>Wavelength</i>	<i>Aperture diameter</i> Tx/Rx	Parameter Uji			
		BER	SER	EVM	<i>Received Optical Power</i>
850 nm	10 cm				
	15 cm				
	20 cm				
	25 cm				
	30 cm				

Eksperimen kedua menganalisis pengaruh perubahan besar *aperture diameter* yang digunakan pada sisi pengirim dan penerima, dengan menggunakan operasi *wavelength* sumber optis sebesar 1550 nm. Adapun parameter ukur yang akan diamati sebagai bahan analisis pada penelitian ini adalah BER, SER, EVM dan *received optical Power*. Berikut tabel hasil pengukuran variasi besar *aperture diameter* menggunakan *wavelength* 1550 nm. Berikut Tabel 3.5 menunjukkan variasi besar *aperture diameter* menggunakan operasi *wavelength* 1550 nm.

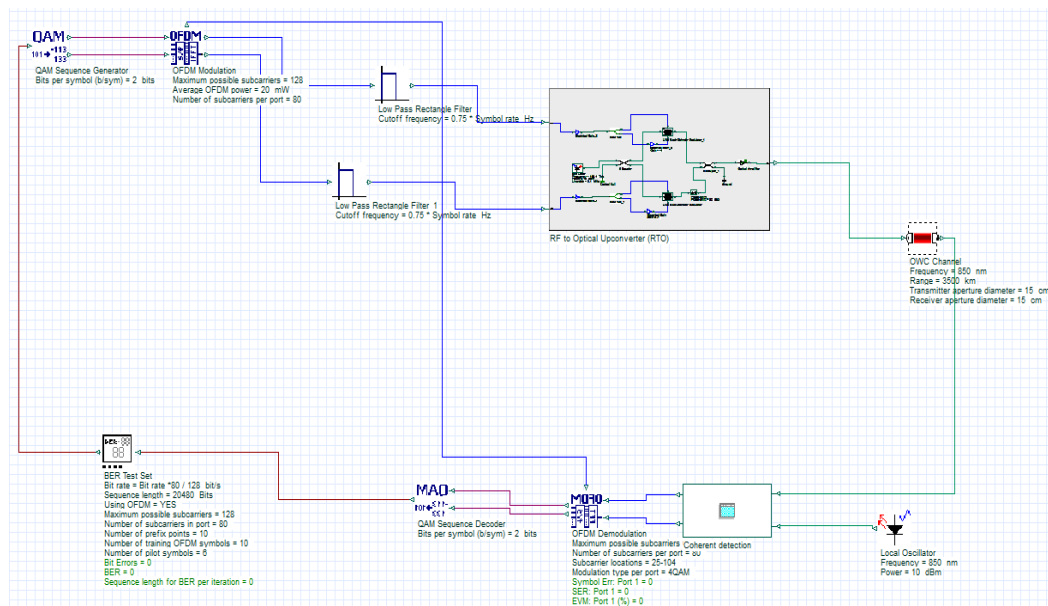
**Tabel 3.5 Hasil pengukuran variasi besar *aperture diameter* menggunakan operasi *wavelength* 1550 nm**

<i>Wavelength</i>	<i>Aperture diameter</i> Tx/Rx	Parameter Uji			
		BER	SER	EVM	<i>Received Optical Power</i>
1550 nm	10 cm				
	15 cm				

Wavelength	Aperture diameter Tx/Rx	Parameter Uji			
		BER	SER	EVM	Received Optical Power
	20 cm				
	25 cm				
	30 cm				

### 3.4 LAYOUT SIMULASI

Terdapat beberapa perangkat yang digunakan pada *layout* simulasi, sesuai pada diagram blok yang telah dibuat sebelumnya pada Gambar 3.2. Metode transmisi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu skema tertutup secara berulang. Dimana sumber data yang dikirim adalah data yang sebelumnya sudah diolah dan didemodulasi, dalam hal ini modulasi yang digunakan adalah 4-QAM. Oleh karena itu, sumber data yang diterima bersifat data digital. Pada *layout* simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.7, menunjukkan *input* yang diterima perangkat QAM *sequence generator* merupakan *output* dari QAM *sequence decoder* yang sudah diukur menggunakan BER *test set*.



**Gambar 3.7 Layout Simulasi 4-QAM CO-OFDM Berbasis Is-OWC**

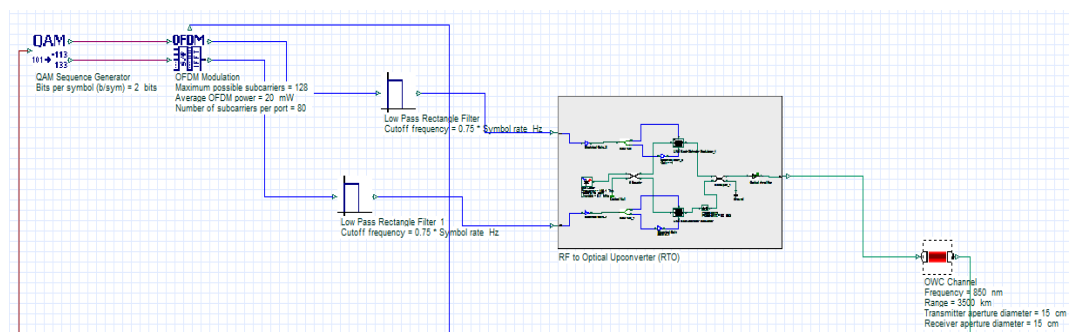
Gambar 3.7 merupakan hasil *layout* simulasi. Penelitian ini menggunakan modulasi 4-QAM, sehingga QAM *sequence decoder* menggunakan 2 bits *per symbol*. Setiap simbol pada modulasi QAM mengandung amplitude dan fase, setiap

simbol pada modulasi ini merepresentasikan 2bit informasi. Jumlah bit per simbol tersebut dapat mempresentasikan 4 kombinasi yang berbeda yaitu: 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing kombinasi tersebut diwakili oleh sebuah titik pada diagram konstelasi 4-QAM. *Output* berupa sinyal m-ary yang sudah dipetakan yang kemudian diteruskan ke perangkat OFDM.

Perangkat OFDM menggunakan total *maximum subcarriers* sebanyak 128 dengan jumlah *subcarrier* yang dapat digunakan sebanyak 80 port. OFDM *power* yang digunakan sebesar 20 mW. *Output* sinyal dari perangkat ini berupa sinyal elektrik yang saling *orthogonal* sehingga dapat menghemat *bandwidth*. Setelah itu sinyal difilter, yang kemudian dikonversi ke bentuk optik untuk ditransmitkan.

Skema konversi sinyal elektrik ke bentuk sinyal optik dilakukan secara eksternal, dengan menggunakan dua buah perangkat *mach zehnder modulator*. Sumber sinyal optik berasal dari CW Laser, menggunakan daya sebesar 0 dBm dan operasi *wavelength* yang akan divariasikan merujuk sesuai tabel skenario penelitian pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

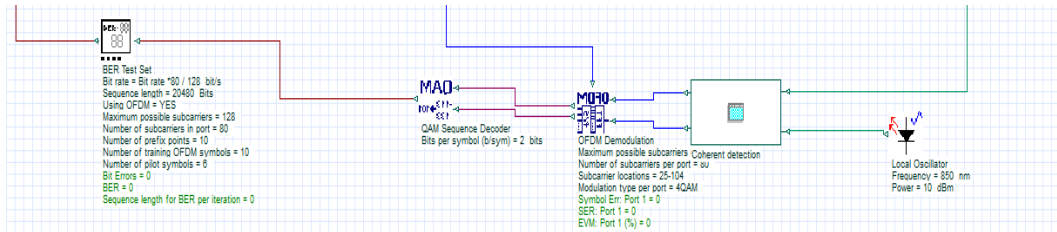
Sinyal yang sudah dikonversi kemudian ditransmitkan menggunakan OWC *channel*. Sifat sinyal pada bagian ini sudah berupa cahaya laser. Cahaya dipancarkan di luar angkasa yang sifatnya ruang vakum, sehingga atenuasi yang disebabkan atmosfer tidak berlaku pada kanal ini. Berikut gambar *layout* pada sisi pengirim.



**Gambar 3.8 Perangkat Pada Sisi Pengirim**

Gambar 3.8 merupakan perangkat yang digunakan pada sisi pengirim. Sinyal yang dikirim kemudian diterima menggunakan *coherent detection*. Dalam hal ini, jenis *coherent detection* yang digunakan adalah *homodyne*. Sehingga frekuensi pada *local oscillator* akan diatur sesuai dengan frekuensi yang digunakan

pada CW laser. Daya yang digunakan pada *local oscillator* sebesar 10 dBm. Pada *coherent detection* terdapat 4 buah PIN *photodetector* yang digunakan untuk menerima sinyal optik dan mengubahnya bentuk elektrik.



**Gambar 3.9 Perangkat Pada Sisi Penerima.**

Gambar 3.9 merupakan *layout* perangkat yang digunakan pada sisi penerima. Setelah itu sinyal diteruskan ke perangkat OFDM *demodulation* untuk mengambil informasi dari setiap *subcarrier* dan mengubah bentuk sinyal ke bentuk semula. Parameter yang digunakan pada OFDM *demodulation* harus disinkronkan dengan OFDM *modulation*. *Output* sinyal dari perangkat ini berupa sinyal m-ary yang akan didemodulasi menggunakan QAM *sequence decoder*. Setelah itu sinyal akan diukur menggunakan BER *test set*.