

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian *Modeling and simulation of OFDM Scheme for Radio Over Fiber (ROF)* yang dilakukan oleh Fauza Khair dkk (2018) mensimulasikan pemodelan Radio over Fiber dengan menggunakan skema OFDM 16 QAM. *Subcarrier* 512 dan daya laser yang dilewatkan sebesar -5 dbm. Penelitiannya menggunakan media *transmitter* berupa *fiber optic* jarak dari 10 km sampai 50 km batas jarak sampai 100 km. Dua sistem OFDM *low pass cosine roll off filter (LP-CROF)* digunakan sebagai keluaran, dan dua *LiNbMach Zehnder Modulator (LiNb-MZM)* sebagai modulator optik. Parameter yang diujikan pada keluaran dari *spectrum signal* sesudah di filter dengan *LP-CROF* untuk nilai sebesar 0, 0,5 dan saat 1. Keluaran dari *spectrum signal* sebelum dilakukan filter dan sesudah dilakukan filter. Penelitian ini menggunakan sistem deteksi *Coherent* dan keluaran dari *Constellation Visualizer Received* untuk jarak *fiber optic* sejauh 10 km, 50 dan pada jarak 100 km. Hasil dari penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan peningkatan nilai faktor, dalam transisi pita filter, pada jarak serat hingga 100 km menggunakan sistem OFDM 16 QAM, pada daya amplifikasi listrik sebesar 71.617 dBm, dan dan amplifikasi optik *signal* data sebesar 10 Gbps [1].

Pada penelitian *Dithering analysis in an Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Radio over Fiber Link* yang dilakukan oleh Fakhriy Hario dkk (2017) menggunakan pemodelan OFDM 16 QAM. Pemodelan ini memiliki *subcarrier* 512 dan daya laser yang dilewatkan sebesar 9 dbm dengan media *transmitter* berupa *fiber optic* jarak dari 5 km sampai 10 km batas jarak sampai 50 km. Dua sistem OFDM *low pass cosine roll off filter (LP-CROF)* sebagai keluaran, dan dua *LiNbMach Zehnder Modulator (LiNb-MZM)* sebagai modulator optik. Parameter yang diujikan pada keluaran dari *spectrum signal* sesudah di filter dengan hasil pengukuran Optical Power meter (OPM) setelah output dari Modulator MZM dengan nilai konstan-6,426 dBm. Frekuensi tinggi diproses oleh dua sistem OFDM *low pass cosine roll off filter (LP-CROF)* sebagai keluaran, dan dua *LiNbMach Zehnder Modulator (LiNb-MZM)* sebagai modulator optik. Parameter yang diujikan pada keluaran dari *spectrum signal* sesudah di filter

dengan hasil pengukuran Optical Power meter (OPM) setelah output dari Modulator MZM dengan nilai konstan-6,426 dBm. Frekuensi tinggi telah diterapkan dalam sistem ini, outputnya menggabungkan dua modulator yang diberikan sinyal sinus menggunakan generator sebagai sumber sinyal. Kemudian sinyalnya akan digabungkan pada modulator MZM. Hasil pengukuran *dithering*-nyasebesar 6,420 dBm pada frekuensi 100 THz, 3,578 dBm ~ 193,1 THz dan 6,396 dBm ~ 200 THz. Meskipun menggunakan daya yang sama tidak akan memiliki pengaruh signifikan karena disebabkan oleh interferensi antara frekuensi yang mana interferensi ini mengakibatkan pengurangan dan saling inter-frekuensi atenuasi sehingga ada beberapa saluran yang hilang. Selain itu, sinyal dither berperan sebagai nilai fase akumulator sebelum kuantisasi lebih lanjut dari hasil akumulasi. *Dithering* ini tidak berpengaruh dalam kualitas dari frekuensi optik yang tersedia sepanjang serat optik[3].

Pada penelitian *A Novel Scheme for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radio Over Fiber Based on Modulator and Dithering Technique Impact of Self Phase Modulation and Group Velocity Dispersion* yang telah dilakukan oleh Fakhriy Hario dkk. membahas rancangan OFDM-RoF menggunakan *LTE (Long Term Evolution)*, *RoF (Radio opti Fiber)*, *Nonlinear Compensation*, *optical OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*, dan metode DMFD (*Direct Modulation based Frequency Dithering*) dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM dan 64-QAM, QPSK. Berdasarkan hasil pembahasan dinyatakan transmisi rate pada sinyal LTE adalah 33, 66, dan 100 Mb/s untuk QPSK, sedangkan 16QAM dan 64-QAM masing-masing dikonfigurasi sesuai dengan standar LTE. Baseband sinyal OFDM dirubah menjadi 26 GHz. Metode DMFD yang digunakan layak untuk memiliki rentang transmisi hingga 50 km karena EVM berkurang dari ~12,5% (~14,8%) untuk kompensasi tanpa kompensasi hingga ~8% (~9%) dengan kompensasi daya peluncuran dsengan memvariasikan daya peluncuran optik pada kisaran daya input pada kisaran -8 dBm sampai dengan 10 dBm. Hario (2017) Dengan hasil yang menunjukkan nilai rata-rata kenaikan sebesar 18,5%, pada linewidth 1 MHz, 3 MHz, dan 7 MHz di jarak sejauh 50 Km dengan log BER (Bit Error) -2.407, BER 0.003, dan SNR (Sinyal ke Noise Ratio) 43,8 sepanjang 100 Km dengan log BER -2.471, BER 0.003, dan SNR 49,14[4].

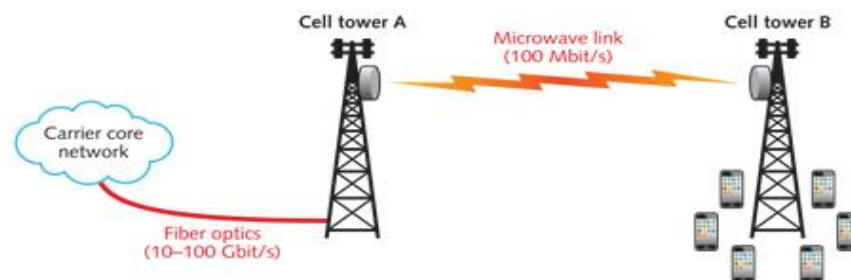
2.2 RADIO OVER FIBER

Radio Over Fiber adalah suatu proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Media serat optik digunakan sebagai medium perantara, sehingga akan diperoleh kecepatan transmisi yang lebih besar dibandingkan ketika dilakukan transmisi secara langsung dan kualitas sinyal yang ditransmisikan tetap bagus bisa dikatakan gangguan yang timbul selama proses transmisi kecil, sehingga sinyal yang dibawanya tetap bagus. Selain itu dengan menggunakan kabel serat optik dapat menghemat biaya serta menambah performansi untuk *high speed fiber* berdasarkan akses *nirkabel*.

Radio Over Fiber (ROF) adalah suatu sistem hibrida yang mempunyai dua jalur transmisi, serat optik dan jalur bebas radio. Dalam sistem ROF, gelombang mikro pita sinyal data dimodulasikan pada pembawa optikal di pemancar utama dan kemudian dikirimkan ketempat yang berjauhan atau ke pemancar lainnya dengan menggunakan serat optik. Kemudian pemancar tersebut mentransmisikan sinyal Rf untuk area yang lebih kecil dengan menggunakan antenna gelombang mikro[5].

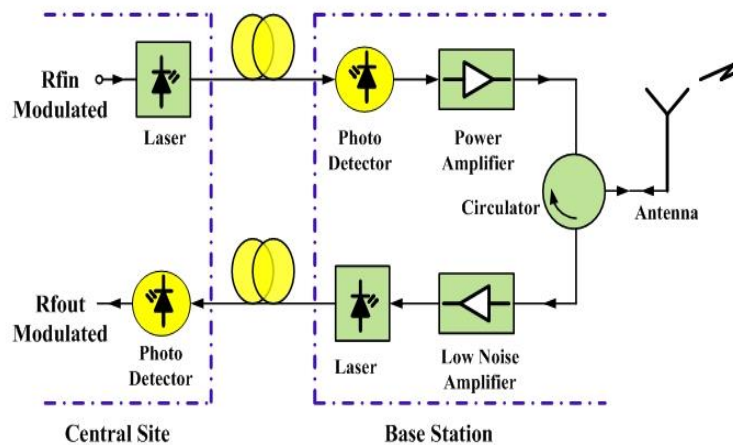
Sistem yang seperti ini sangat penting dalam banyak aplikasi, termasuk komunikasi bergerak dan satelit, WLANs, dan layanan pita lebar bergerak lainnya. Teknik modulasi OFDM mendistribusikan data melalui banyak pembawa yang dipisahkan dengan frekuensi yang akurat dengan pita yang saling berdekatan. Penggunaan FFT pada modulasi memberikan *orthogonality* untuk setiap pembawa yang dapat menghindarkan demodulator dalam membaca frekuensi yang bukan miliknya. Penggabungan OFDM dan sistem ROF dapat digunakan untuk transmisi jarak dekat maupun jauh dengan kecepatan data yang tinggi.

Radio Over Fiber merupakan teknologi baru dalam transmisi yang mengintegrasikan teknik transmisi *wireless* dan *wireline*. Dengan ROF sinar laser dimodulasi oleh sinyal radio dan dikirimkan melalui media serat optik[5].



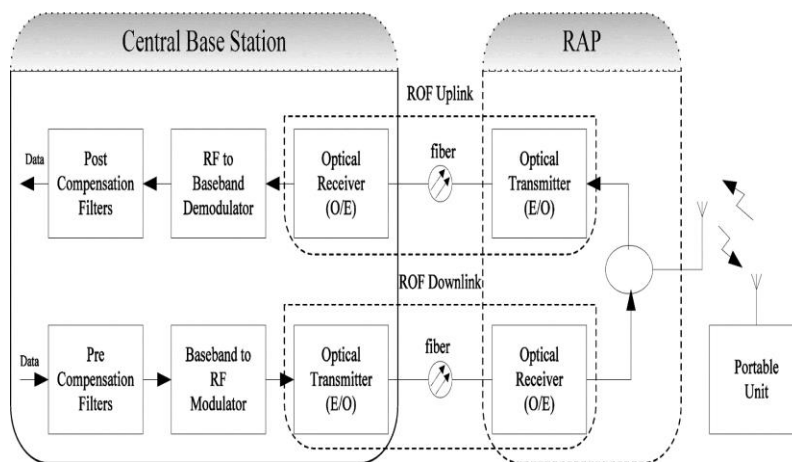
Gambar 2.1 Penggambaran Sederhana *Radio Over Fiber* (ROF)[3].

Radio Over Fiber bekerja berdasarkan prinsip penggabungan dari serat optik dan *nirkabel*. Tujuannya agar pengguna dapat menikmati performansi yang lebih bagus dari pada *nirkabel* tetapi tidak semahal pada instalasi kabel serat optik. Dalam cakupan daerah area *nirkabel*, dapat dipasang *link radio over fiber* antar *Radio Access Point (RAP)* untuk memancarkan sinyal sebesar daerah sel mikro.



Gambar 2.2 Sistem Komunikasi Radio over Fiber

Prinsip kerja Radio Over Fiber adalah sinyal microwave yang termodulasi sebagai sinyal pemodulasi dengan sumber optik, yang kemudian didistribusikan dalam jaringan serat optik. Serat optik digunakan sebagai media transmisi sinyal cahaya dari *central base station* ke suatu *radio access point*.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Radio over Fiber

2.2.1 Kelebihan *Radio Over Fiber*

a. Rugi – Rugi Rendah

Elektrikal sinyal gelombang mikro dengan frekuensi tinggi dalam ruang bebas mengalami rugi-rugi akibat penyerapan serta pemantulan memiliki nilai impedansi saluran yang nilainya berbanding lurus dengan frekuensi, sehingga pengiriman sinyal pengiriman sinyal radio frekuensi tinggi secara elektrik untuk jarak yang jauh membutuhkan peralatan regenerasi. Solusi untuk masalah ini adalah mendistribusikan sinyal baseband atau *intermediate frequencies* (IF) dari *Switching center* (SC) menuju *base station* (BS). Sinyal tersebut kemudian dikonversi untuk memenuhi frekuensi gelombang mikro atau millimeter pada setiap BS dikuatkan kemudian diradiasikan. Sistem ini memiliki persyaratan khusus untuk penguat, *repeater*, *equalizers*, serta osilator yang digunakan. Solusi alternatifnya adalah menggunakan serat optik yang menawarkan rugi-rugi yang lebih rendah.

b. Bandwidth yang lebar

Serat optik memiliki bandwidth yang lebih lebar dibandingkan media wireless. Bandwidth yang dapat disediakan oleh serat optik mencapai 1.6 THz.

c. Tahan Terhadap Interferensi Radio Frekuensi

Komunikasi serat optik memiliki imunitas terhadap interferensi elektromagnetik karena sinyal di transmisikan dalam bentuk cahaya melalui serat optik bukan dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

d. Instalasi dan Perawatan yang Mudah

Radio Over Fiber menghilangkan kebutuhan osilator lokal dan peralatan lain pada remote stations (RS) karena peralatan modulasi dan switching di simpan di SC dan digunakan bersama oleh beberapa RS. Hal ini menyebabkan RS yang lebih ringan dan kecil, mengurangi biaya instalasi dan perawatan.

e. RoF menggabungkan alat pengkonversi AM ke FM menjadi alat yang sederhana, berkualitas tinggi, dan hanya dengan proses saja.

f. RoF mengurangi kontaminasi noise dan meningkatkan kualitas pelayanan.

g. RoF meningkatkan komunikasi nirkabel dan kapasitas data.

2.2.2 Kekurangan *Radio Over Fiber*

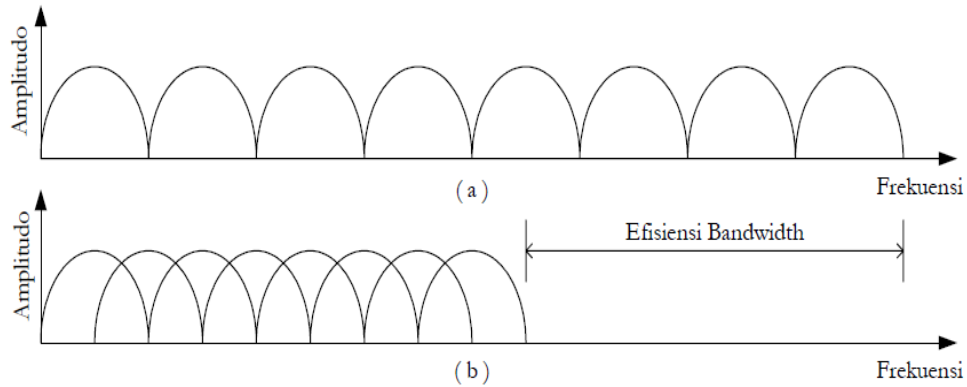
RoF melibatkan modulasi analog dengan deteksi cahaya yang merupakan dasar transmisi analog, sehingga noise dan distorsi yang terjadi pada komunikasi analog terjadi juga pada ROF. Hal ini membatasi *noise figure* (NF) dan rentang dinamik jaringan ROF, rentang dinamik ini penting untuk sistem komunikasi bergerak seperti GSM karena daya yang diterima pada *base stations* dari *mobile* unit yang dekat dengan *base stations* lebih tinggi dibandingkan yang diterima oleh *mobile* unit yang lebih jauh[1].

2.3 OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan kasus khusus pada transmisi pembawa jamak, dengan aliran data tunggal yang ditransmisikan menggunakan beberapa subpembawa sehingga mempunyai kecepatan yang lebih rendah dan lebar bidang subkanal yang lebih sempit[6].

Pada sistem data paralel konvensional, total lebar frekuensi sinyal dibagi menjadi sejumlah N subkanal frekuensi yang tidak saling tumpang tindih (*non-overlapping*) Setiap subkanal dimodulasi dengan simbol terpisah dan N subkanal tersebut kemudian dimultiplekskan berdasarkan frekuensi. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya tumpang tindih (*overlapping*) spektrum dari kanal sehingga dapat menghilangkan interferensi antarkanal. Namun bagaimanapun, ini dapat menyebabkan ketidakefisienan penggunaan spektrum frekuensi yang tersedia. Untuk menanggulanginya maka diperkenalkan teknik penggunaan data paralel dan penjamakan berdasarkan pembagian frekuensi (FDM) tetapi dengan subkanal yang dapat saling tumpang tindih[7].

Gambar 2.4 menunjukkan perbedaan antara teknik pembawa jamak tidak tumpang tindih (*multi-carrier non-overlapping*) yang konvensional (FDM) dan teknik pembawa jamak tumpang tindih (*multi-carrier overlapping*) yang orthogonal (OFDM). Pada sistem FDM, beberapa pembawa terpisah jarak supaya sinyal dapat diterima menggunakan tapis (*filter*) dan demodulator konvensional. Pemisah antara satu pembawa dengan pembawa yang lain dalam kawasan frekuensi dikenal dengan istilah bidang pengaman (*guard band*). Adanya bidang pengaman ini akan menurunkan efisiensi spektrum.



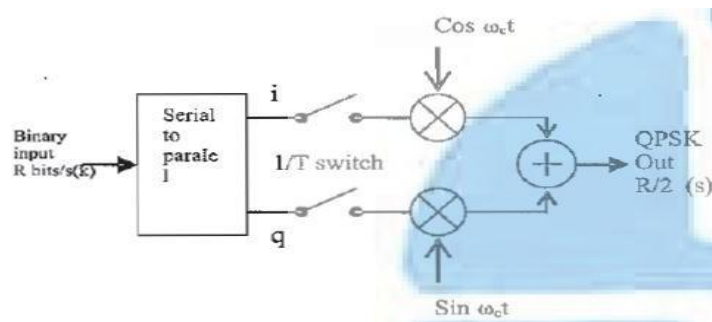
Gambar 2.4 Spektrum sinyal pembawa jamak[7].
(a) pembawa jamak konvensional (FDM)
(b) pembawa jamak ortogonal (OFDM)

2.4 MODULASI QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING (QPSK)

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) adalah pengembangan dari modulasi PSK. Sesuai dengan namanya, QPSK memiliki empat buah bentuk sinyal termodulasi. Sinyal termodulasi QPSK didapatkan dari empat macam sinyal masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 11 dan 10. Setiap dua bit biner diwakili satu simbol. Keempat buah bentuk sinyal termodulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90 satu sama lain. Teknik modulasi digital dapat dirumuskan dengan persamaan umum yang mempunyai bentuk *quadrature*:

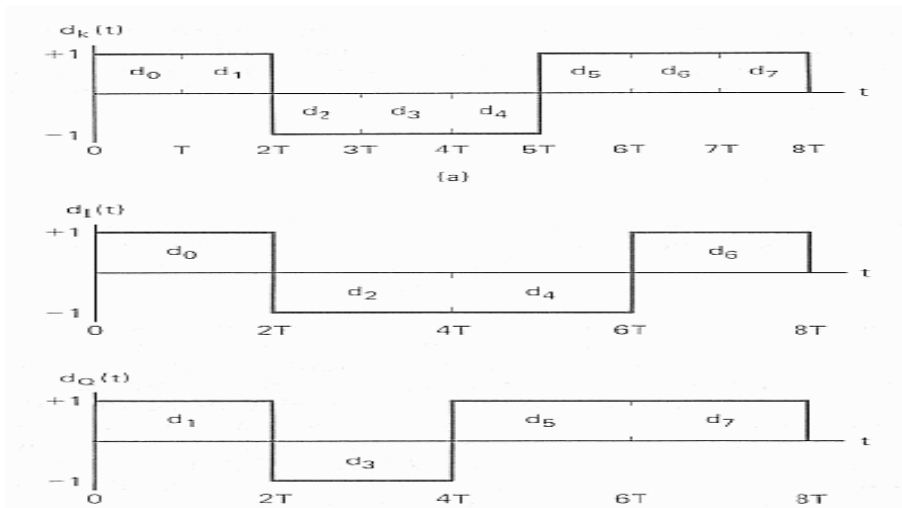
$$s(t) = A(t) \cos(\omega_c t) + B(t) \sin(\omega_c t) \tag{2.1}$$

$s(t)$ adalah sinyal hasil proses modulasi dengan frekuensi pembawa, sedangkan $A(t)$ dan $B(t)$ adalah dua sinyal pemodulasi.



Gambar 2.5 Sistem dasar modulasi QPSK

Konsep dasar sistem QPSK ditunjukkan pada gambar 2-6 , yang menunjukkan bahwa sistem QPSK sinyal termulasi ini mempunyai 4 kemungkinan kondisi fasa tertentu. Kondisi fasa ini dibangkitkan oleh pola pemetaan yang unik dari dua bit yang berurutan menjadi satu simbol. Kondisi fasa yang sesuai dijaga selama interval T_s , yang mempunyai durasi 2 bit ($T_s = 2T_b$).



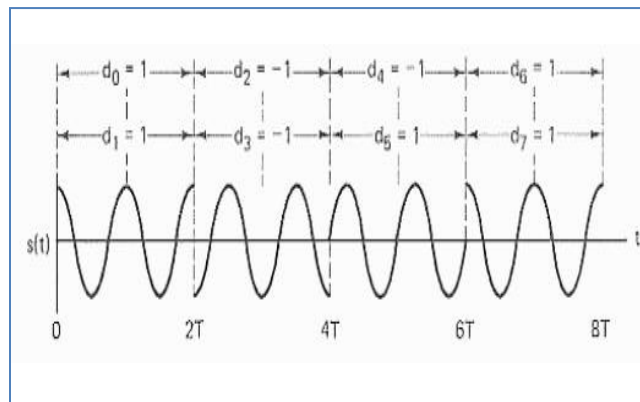
Gambar 2.6. Stream data Input QPSK

Datadalambentuk NRZ (*No Return to Zero*) dengan kecepatan f_b (bit per detik) diubah oleh *serial to parallel converter* menjadi dua aliran bit data I dan data Q yang berlevel 1 dan 0 dengan kecepatan $f/2$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Kemudian sinyal $I(t)$ dikalikan dengan $\cos(\omega ct + \theta_0)$ dan $Q(t)$ dikalikan dengan $\sin(\omega ct + \theta_0)$.

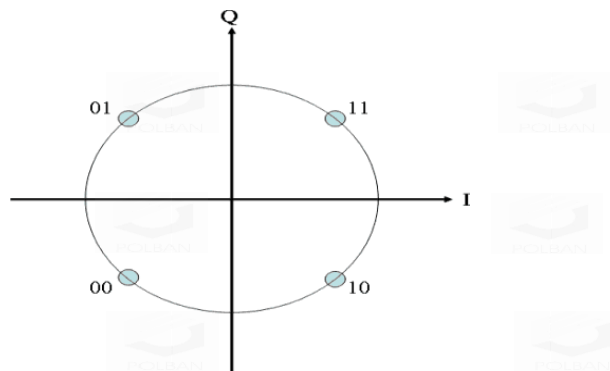
Gambar 2.7 menunjukan bahwa gelombang QPSK mengalami perubahan setiap $2T_b$ detik, gelombang ini tidak mempunyai selubung yang konstan, karena dengan adanya pergeseran 180° akan menyebabkan amplitude kembali ke nol. Perubahan fasa 180° ini akan terjadi ketika sinyal $I(t)$ dan $Q(t)$ berubah secara bersamaan. Fasa akan berubah 90° atau -90° jika hanya salah satu sinyal $I(t)$ atau $Q(t)$ yang berubah[8].

Tabel 2.1 Pergeseran Fasapada QPSK

| I | Q | S(t) |
|----|----|--------------------------|
| 1 | 1 | $+\text{Cos}(\omega ct)$ |
| 1 | -1 | $-\text{Sin}(\omega ct)$ |
| -1 | -1 | $-\text{Cos}(\omega ct)$ |
| -1 | 1 | $+\text{Sin}(\omega ct)$ |



Gambar 2.7 Bentuk Gelombang QPSK



Gambar 2.8. Konstelasi QPSK

2.5 MODULASI DIGITAL QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

Modulasi digital merupakan teknik pengkodean sinyal dari sinyal analog ke dalam sinyal digital (bit-bit pengkodean). Pada teknik ini sinyal informasi digital yang akan dikirimkan dipakai untuk mengubah frekuensi dari sinyal pembawa. Dalam komunikasi digital, sinyal

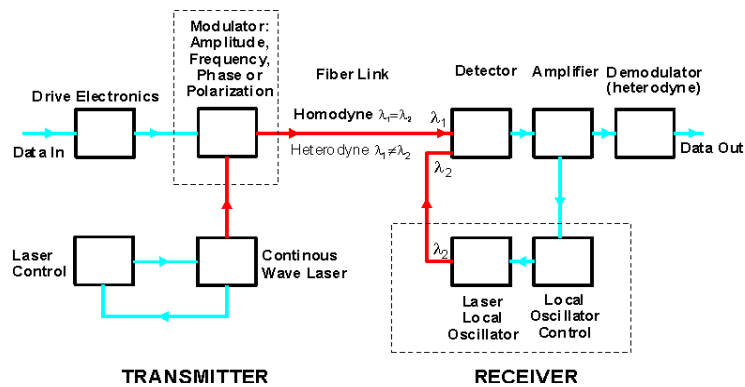
informasi dinyatakan dalam bentuk digital berupa biner “1” dan “0” , sedangkan gelombang pembawa berbentuk sinusoidal yang termodulasi disebut juga modulasi digital[5].

Quadrature Amplitudo Modulation atau QAM adalah suatu cara pentransmisian pada laju bit-bit yang lebih tinggi pada saluran atau kanal dengan lebar pita yang terbatas. QAM merupakan kombinasi ASK dan PSK. Modulasi yang membawa data dengan mengubah (termodulasi) amplitude dari dua gelombang pembawa. Kedua gelombang pembawa tersebut biasanya sinusoida, berbeda *fase* dengan yang lainnya sebesar 90 derajat dan oleh karena itu disebut dengan pembawa kuadrat.

Sinyal *Quadratur amplitude Modulation*(QAM) mempergunakan dua pembawa kuadrat $\cos 2\pi fct$ dan $\sin 2\pi fct$, masing – masing dimodulasikan oleh bit informasi. Metode dari transmisi sinyal memakai *Quadrature Carrier Multiplexing*[9].

2.6 COHERENT DETECTION

Pada penerima optik terdapat teknik pendeteksian. Teknik pendeteksian yang digunakan pada penelitian ini adalah *coherent detection*. Pada *Coherent Detection*, sumber optik dimodulasi dengan sintensitas, frekuensi atau fasa oleh sinyal input *analog*. Setelah dimodulasi dengan *external modulator*, sinyal dilewatkan ke serat optik sampai ke *receiver* dimana kemudian sinyal digabung dengan output dari laser osilator lokal. Gabungan sinyal tersebut pada *photo* dioda dikonversikan menjadi sinyal elektrik yang terpusat pada frekuensi diantara sumber optik yang tidak termodulasi dengan laser lokal osilator. Sinyal ini kemudian diproses menjadi sinyal analog.



Gambar 2.9 *Principle Coherent Detection Transmitter dan Receiver*

Sistem pendeteksian *coherent detection* mempunyai 3 keunggulan utama dibandingkan dengan *direct detection* yaitu:

1. *Shot noise* sangat kecil, walaupun daya sinyal sangat kecil. Hal ini karena kita bisa mengubah daya lokal osilator.
2. Sistem koheren dapat menggunakan 3 jenis modulasi, yaitu intensitas, frekuensi dan fasa, sedangkan deteksi langsung hanya bisa menggunakan intensitas saja.
3. Pada sistem koheren, selektivitas frekuensi sangat baik, karena adanya *post photodetector filter*.

Metode IM/DD menawarkan sistem yang sederhana dan relatif murah, tetapi memiliki kelemahan seperti sensitifitas/kepekaan yang terbatas dan tidak dapat menggunakan keuntungan secara maksimal dari kemampuan bandwidth yang besar dari serat optik[8].

2.7 LiNb-MZM (LITHIUM NIOBATE MACH-ZEHNDER)

LiNb-MZM (*Lithium Niobate Mach-Zehnder*) merupakan *modulator* optik yang terdiri dari sebuah cabang *input* optik, yang membagi cahaya yang masuk menjadi dua, diikuti dua optik independen, yang kemudian digabungkan menggunakan cabang optik *output*. Penerapan sinyal listrik ke salah satu optik mengontrol derajat *noise* di cabang optik *output* yang mengontrol intensitas *output* [10]. *Output optical field* dari LiNb MZM dapat ditentukan sebagai berikut :

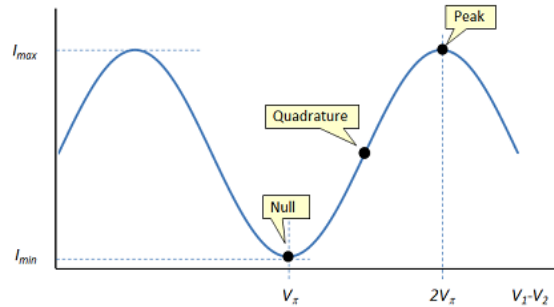
$$E_o(t) = \frac{E_{in}(t)}{10^{(IL/20)}} \left[\gamma e^{(j\pi v_2(t)/V_{RF} + j\pi v_{bias2}/V_{DC})} + (1-\gamma) e^{(j\pi v_1(t)/V_{RF} + j\pi v_{bias1}/V_{DC})} \right] \quad (2.2)$$

dimana $E_{in}(t)$ adalah *input* (sinyal optik), IL adalah *parameter insertion loss*, $v_1(t)$ dan $v_2(t)$ adalah *input electrical voltage* untuk *upper* (1) dan *lower* (2) lengan *modulator*, $v_{bias1}(t)$ dan $v_{bias2}(t)$ adalah pengaturan bias tegangan 1 dan bias tegangan 2, v_{DC} adalah modulasi *switching* dan tegangan bias, dan γ dilambangkan oleh *power splitting ratio* dari *Y-Branch waveguide* (diasumsikan simetris), dan diberikan berdasarkan persamaan berikut :

$$\gamma = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \right) / 2 \quad \epsilon_r = 10^{ExtRatio/10} \quad (2.3)$$

dimana $ExtRatio$ terkait dengan rasio parameter *Extinction*.

Mach-Zehnder *modulator* biasanya dioperasikan pada tiga poin bias: *peak* (puncak), *quadrature* dan *null* seperti pada Gambar 2.1 [10], dimana untuk *null setting*, *operating bias* ($V_1 - V_2$) diset pada V_π , untuk *peak setting*, *operating bias* ($V_1 - V_2$) di-set 0, dan untuk *quadrature setting*, *operating bias* ($V_1 - V_2$) di-set menjadi $0.5 \times V_\pi$.



Gambar 2.10 MZ Modulator Transmittance Function[10]

2.8 Error Vector Magnitude (EVM)

Error Vector Magnitude (EVM) pengukuran sering dilakukan pada vektor sinyal analisis (VSAs), analisis *real-time* atau instrumen lainnya yang menangkap catatan waktu dan internal melakukan *Fast Fourier Transform* (FTT) untuk mengaktifkan frekuensi domain analisis. Sinyal turun dikonversi sebelum EVM perhitungan dibuat. Karena berbeda modulasi sistem yakni QPSK, 4-QAM, harus tingkat berbeda amplitudo, dihitung dan membandingkan EVM pengukuran efektif normalisasi beberapa biasanya dilakukan. Normalisasi diturunkan sehingga amplitudo rata-rata dari semua simbol yang mungkin ada di konstelasi apapun skema modulasi adalah satu. Oleh sebab itu, EVM adalah didefinisikan sebagai nilai *root mean square* (rms) dari perbedaan antara koleksi yang diukur simbol dan simbol ideal. Perbedaan ini dirata-ratakan di atas yang diberikan, biasanya besar jumlah simbol dan sering ditunjukkan sebagai persen dari rata-rata daya per simbol dari konstelasi, batas nilai EVM 8%, dengan demikian, EVM secara matematis diberikan sebagai berikut :

$$EVM_{RMS} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |S_n - S_{0,n}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |S_{0,n}|^2}, \quad (2.4)$$

Dimana S_n adalah simbol nth yang dinormalisasi di Aliran simbol terukur, S_0 , n adalah ideal. Titik konstelasi yang dinormalisasi dari nth Simbol dan N adalah jumlah simbol yang unik di rasi bintang. Ekspresi dalam Persamaan 2.3 tidak dapat digantikan oleh ketidakteraturan mereka nilai sejak konstanta normalisasi untuk konstelasi diukur dan ideal konstelasi tidak sama.

$$|A| = \sqrt{\frac{1}{\frac{P_v}{T}}} = \sqrt{\frac{T}{P_v}}, \quad (2.5)$$

Dimana P_v adalah kekuatan total yang diukur konstelasi simbol T , tegangan RMS tingkat komponen inphase dan quadrature, V_I Dan V_Q dan untuk $T \gg N$, bisa ditunjukkan bahwa P_v dapat dinyatakan sebagai

$$P_v = \sum_{t=1}^T [(V_{I,t})^2 + (V_{Q,t})^2] (W), \quad (2.6)$$

Faktor normalisasi untuk kasus ideal bisa Langsung diukur dari N ideal yang unik titik konstelasi dan diberikan oleh

$$|A_0| = \sqrt{\frac{N}{\sum_{n=1}^N [(V_{I0,n})^2 + (V_{Q0,n})^2]}}. \quad (2.7)$$

Oleh karena itu Persamaan 2.4 dapat diperpanjang lebih lanjut Menggunakan faktor normalisasi pada Persamaan 2.6 dan 2.7 sebagai

$$EVM_{RMS} = \left[\frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |I_t - I_{0,t}|^2 + |Q_t - Q_{0,t}|^2}{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |I_{0,t}|^2 + |Q_{0,t}|^2} \right] \quad (2.8)$$

Dimana $it = (VI_t) | A |$ Adalah normal dalam fase Tegangan untuk simbol terukur dan $I_0, t = (VI_0, t) | A_0 |$ Adalah tegangan fase-dinormalkan untuk Simbol ideal di rasi bintang, $Qt = (VQt) | A |$ adalah tegangan kuadratur normal untuk Diukur simbol dan $Q_0, t = (VQ_0, t) | A_0 |$ adalah Tegangan kuadratur dinormalisasi untuk simbol ideal Di rasi bintang. Inilah definisi yang mana Sekarang digunakan sebagai definisi standar EVM di IEEE 802.11a 1999TM[10].

2.9 DITHERING

Teknik Dithering adalah suatu proses injeksi dimana suatu sinyal periodik pada sistem linear, atau nonlinear untuk mendapatkan beberapa tujuan menambahkan suatu karakteristik linear. Teknik dithering dapat menyempurnakan saat terjadi hamburan sinyal digital pada saat

proses transmisi sehingga suatu sistem dapat menghasilkan sinyal yang lebih baik, karena scattering yang merupakan penghamburan akan mengakibatkan fenomena yang disebut efek nonlinear atau karakteristik nonlinear.

Sistem dithering sangat membantu meminimalkan hamburan sinyal yang terjadi saat proses transmisi dan sangat dapat berguna kinerjanya pada daya inputan yang besar[3].

2.10 OPTISYSTEM 14.0.2

OptiSystem adalah *software* desain lisensi *Optiwave* yang inovatif, cepat berkembang, dan *powerfull* yang memungkinkan setiap pengguna (*user*) dapat merencanakan, tes, dan mensimulasikan hampir setiap jenis link optik di lapisan transmisi dengan spektrum yang luas dari jaringan optik.

OptiSystem dapat meminimalkan kebutuhan waktu dan biaya penurunan terkait dengan desain sistem optik, link, dan komponen lainnya. *OptiSystem* dapat berintegrasi dengan *software Optiwave* lainnya seperti *OptiFiber* yang digunakan untuk mendesain dan mengetahui nilai parameter-parameter dari karakteristik fiber[3].



Gambar 2.11 OptiSystem 14.2.2

