

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Jurnal [4] tahun 2017 berjudul *A Hybrid C/Ku-band High Throughput Satellite Systems As An Optimal Design for Indonesia* oleh Dani Indra Widjanarko dan Dadang Gunawan, menjelaskan bahwa frekuensi *Ku-band* pada *High Throughput Satellite* memberikan peningkatan besar tanpa biaya berlebih pada dunia industri komunikasi. Hal ini dapat menjadikan keuntungan besar bagi operator dan pengguna layanan komunikasi satelit. *High Throughput Satellite* dengan frekuensi *ku-band* dapat menyediakan *coverage spot* sebesar $0,05^\circ$ dengan diameter antena sebesar 2 meter. Semakin kecil *spotnya*, semakin tinggi *throughput* yang dihasilkan, dan pada akhirnya dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan.

Jurnal[5] tahun 2017 *Research On Soft Frequency Reuse Technology Of Multi-Beams Satellite Communication System* oleh Chao Dai, Guangman Zou dan Bo Young membahas bahwa teknologi *soft frequency* pada jaringan terrestrial menggunakan *multi-beams* satelit dengan desain 24 *beams*. Pada simulasi tersebut disimpulkan bahwa teknologi *soft frequency reuse* dapat meningkatkan kapasitas sistem komunikasi dengan menambah efisiensi pada jaringan. Frekuensi *reuse* dan *polarization reuse* adalah dua parameter penting pada penggunaan teknologi *soft frequency reuse*.

Jurnal[6] tahun 2019 *Signal Processing for High Throughput Satellite: Challenges in new interference-limited scenarios*, oleh Ana I. Pérez-Neira, Miguel Ángel Vázquez, M.R. Bhavani Shankar, Sina Maleki, dan Symeon Chatzinotas membahas bahwa pemilihan frekuensi harus mempertimbangkan beberapa aspek, antara lain cakupan dan luas *beam*, kondisi atmosfer wilayah yang dilayani, dan ketersediaan teknologi perangkat yang digunakan di *ground segment*. Sinyal harus melewati atmosfer dan menggunakan frekuensi tinggi. Jika tidak, sinyal akan dipantulkan oleh atmosfer dan tidak bisa sampai ke satelit. Misalnya *High Throughput Satellite* pada orbit GEO ada yang menggunakan frekuensi *Ka-band* yang lebih sedikit penggunaannya daripada frekuensi *C-band* dan *Ku-band*.

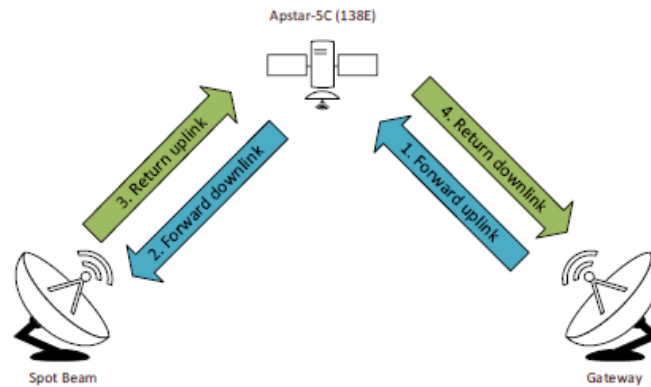
CPI Test Procedure for Apstar-5C HTS mengusulkan teknik *CPI test* pada HTS Apstar-5C dengan skenario sebagai berikut[2]:

1. *Co-pol* dan *Cross pol* pada frekuensi yang sama, tetapi berbeda polarisasi
2. *Co-pol* dan *Cross pol* pada polarisasi yang sama, tetapi berbeda frekuensi
3. *Co-pol* dan *Cross pol* pada frekuensi yang berbeda, dan polarisasi yang berbeda

2.2 DASAR TEORI

Satelit merupakan sebuah ungkapan yang mewakili suatu objek yang mengitari bumi. Objek-objek yang mengitari bumi antara lain seperti bulan, meteor dan benda ruang angkasa lainnya. Setiap planet mempunyai jumlah satelit yang berbeda-beda. Sistem telekomunikasi berkembang setelah perang dunia ke-2. Pada saat itu telekomunikasi masih menggunakan hamburan pada troposfer yang berfungsi sebagai media transmisi untuk menghubungkan daerah yang terpisah. Teknologi selanjutnya yang digunakan adalah gelombang mikro transmisi dilakukan secara terrestrial. Selanjutnya teknologi serat optik sebagai teknologi yang pada saat itu menjadi *backbone* untuk menghubungkan antar belahan dunia. Gagasan mengenai komunikasi satelit dicetuskan oleh Arthur C. Clarke yang merupakan seorang ilmiah dari Inggris dengan tulisannya yang terkenal mengenai *Extra Terrestrial Relay* pada tahun 1945. Ia berpendapat bahwa menempatkan satelit pada orbit ekuator dengan ketinggian tertentu dan mempunyai waktu periodik selama 24 jam. Letak posisi satelit tetap terhadap titik yang berada pada permukaan bumi, dengan itu disebut *geostationary satellite*. Arthur C. Clarke mengeluarkan gagasan bahwa satelit digunakan sebagai *repeater* untuk komunikasi dengan menggunakan tiga buah satelit berbeda 120° dari orbitnya [7].

Sistem komunikasi satelit terdapat beberapa elemen dasar yaitu stasiun bumi (*ground segment*) dan satelit (*space segment*). Stasiun bumi berfungsi mengirimkan sinyal informasi ke satelit dengan menggunakan frekuensi yang disebut frekuensi *uplink*, sedangkan satelit berfungsi sebagai repeater yang meneruskan sinyal informasi ke stasiun bumi dengan menggunakan frekuensi yang disebut frekuensi *downlink* [7].



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Komunikasi Satelit Apstar-5C[2]

2.2.1 Orbit Satelit

Tempat beredarnya satelit yang mengelilingi bumi disebut orbit. Orbit sebuah satelit dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu[7]:

1. Orbit berdasarkan ketinggian

Berdasarkan ketinggian orbit, satelit menempati orbit sebagai berikut:

a. *Low Earth Orbit (LEO)*, dengan karakteristik sebagai berikut :

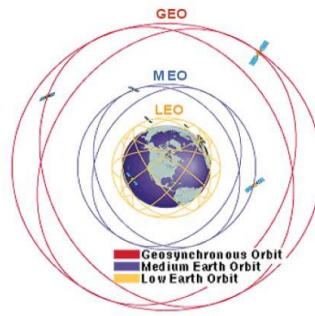
- 1) Berada pada ketinggian 320-800 Km
- 2) Periode orbit satelit 1,5 Jam
- 3) Kecepatan edar satelit 27.359 Km/Jam
- 4) Delay propagasi 10 ms
- 5) Penggunaan untuk satelit prediksi cuaca

b. *Medium Earth Orbit (MEO)*, dengan karakteristik sebagai berikut :

- 1) Berada pada ketinggian 10.000-12.000 Km
- 2) Periode orbit satelit 1 - 12 Jam
- 3) Kecepatan edar satelit 19.000 Km/Jam
- 4) Delay propagasi 60 - 80 ms

c. *Geostationary Earth Orbit (GEO)*, dengan karakteristik sebagai berikut :

- 1) Berada pada ketinggian 35.786 Km
- 2) Periode orbit satelit 24 Jam
- 3) Kecepatan edar satelit 11.000 Km/Jam
- 4) Delay propagasi 250 ms



Gambar 2.2 Orbit satelit LEO, MEO dan GEO[7]

2. Orbit polar

Satelit yang mengorbit pada orbit polar merupakan satelit yang mempunyai inklinasi (penyimpangan) sebesar 90° dari orbit geostasioner, atau dengan kata lain satelit ini mengitari bumi dari arah selatan ke arah utara. Jenis polar ini jarang digunakan karena arah perputarannya yang tidak sinkron dengan arah rotasi bumi.



Gambar 2.3 Orbit satelit polar[7]

3. Orbit elliptical

Satelit dengan orbit elips merupakan satelit yang mengorbit dengan bentuk orbit yang elips terhadap bumi. Dengan bentuk elips tersebut menghasilkan jarak yang tidak sama pada setiap posisi dengan permukaan bumi.



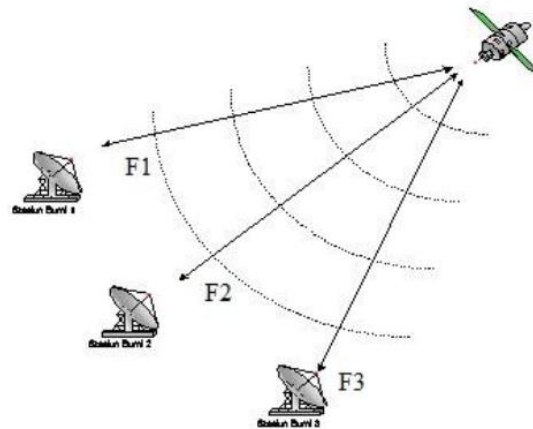
Gambar 2.4 Orbit elliptical[7]

2.2.2 Teknik *Multiple Access*

Sumber daya pada sistem komunikasi satelit yaitu *bandwidth* dan *power* harus dikelola secara efisien. Terkait hal tersebut banyaknya data yang dilalui pada jaringan memerlukan suatu konsep yang dapat memastikan data terkirim dengan baik, teknik tersebut adalah *multiple access*. Secara umum jenis *multiple acces* ada dua, yaitu *Frequency Division Multiple Access (FDMA)* dan *Time Division Multiple Access (TDMA)*[8].

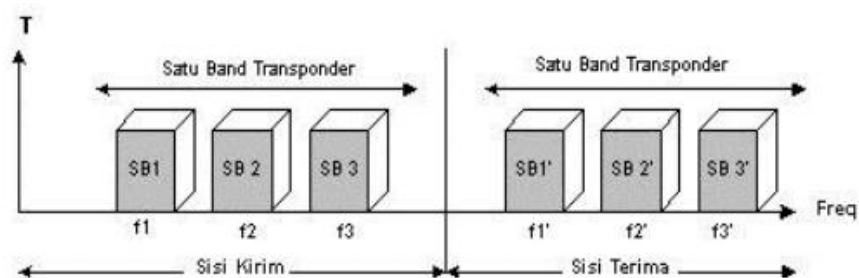
2.2.2.1 *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*

Prinsip kerja FDMA adalah mengirimkan data dengan frekuensi yang berbeda-beda sesuai kanal frekuensi yang telah ditentukan.



Gambar 2.5 Konsep FDMA pada Sistem Komunikasi Satelit[8]

Gambar di atas mengilustrasikan penggunaan skema FDMA bahwa setiap stasiun bumi menggunakan frekuensi yang berbeda-beda yaitu F1, F2 dan F3 sebagai jalur komunikasi.

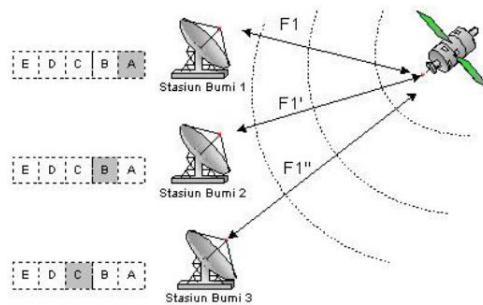


Gambar 2.6 Konfigurasi FDMA terhadap domain waktu[8]

Gambar di atas menyatakan bahwa dalam satu waktu yang bersamaan atau slot waktu tertentu dapat dikirimkan 3 frekuensi sekaligus.

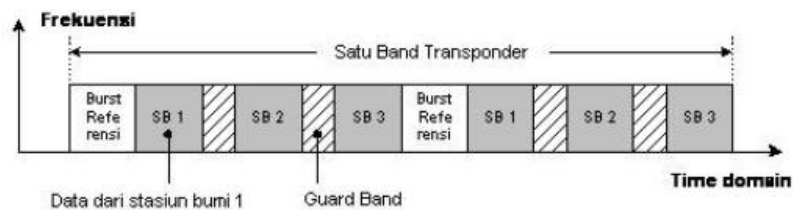
2.2.2.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

Sistem TDMA mengatur pengiriman sinyal informasi dari beberapa stasiun bumi dalam menduduki kanal transponder satelit. Konsepnya sinyal informasi yang telah dimodulasi tersebut dikirimkan pada *time slot* tertentu secara bergantian, sehingga antar stasiun bumi dibedakan atas *time slot* yang diduduki dengan penggunaan frekuensi yang sama[8].



Gambar 2.7 Konsep *Inbound* TDMA pada Sistem Komunikasi satelit[8]

Pada gambar tersebut menjelaskan bahwa konsep TDMA menggunakan frekuensi yang sama yaitu F1 tetapi masing-masing stasiun bumi menduduki kanal yang berbeda yaitu kanal A, kanal B dan kanal C[8].



Gambar 2.8 Konfigurasi TDMA[8]

Pada konfigurasi TDMA dapat dilihat burst stasiun bumi secara bergantian menempati transponder satelit berdasarkan waktu. Lamanya pendudukan waktu berbeda antara satu burst dengan burst lainnya tergantung dari besarnya kapasitas sinyal yang akan ditransmisikan. Antara burst diberikan jarak waktu tertentu yang disebut *guard band*, yang berfungsi untuk mencegah terjadinya interferensi sinyal antar burst. Sedangkan sinkronisasi dilakukan pada burst *reference*. Setiap burst dari stasiun bumi tersusun atas beberapa sub-burst. Oleh karena dalam sistem TDMA hanya ada satu frekuensi yang dipancarkan, *transponder* satelit hanya akan dibebani oleh satu frekuensi sehingga terhindar dari intermodulasi dan interferensi frekuensi[8].

2.2.3 Frekuensi Kerja Satelit

Berdasarkan ketentuan *International Telecommunication Union* (ITU), penggunaan frekuensi pada sistem komunikasi satelit dibedakan menjadi beberapa bagian antara lain[7]:

1. *C-band*

Rentang frekuensi yang digunakan pada *C-band* yaitu 5.9 – 6.4 GHz untuk *uplink* dan 3.4 – 4.2 GHz untuk *downlink*

2. *Ku-band*

Rentang frekuensi yang digunakan pada *Ku-band* yaitu 14 – 14.5 GHz untuk *uplink* dan 11.7 – 12.2 GHz untuk *downlink*

3. *Ka-band*

Rentang frekuensi yang digunakan pada *Ka-band* yaitu 27 - 30 GHz untuk *uplink* dan 17 – 20 GHz untuk *downlink*

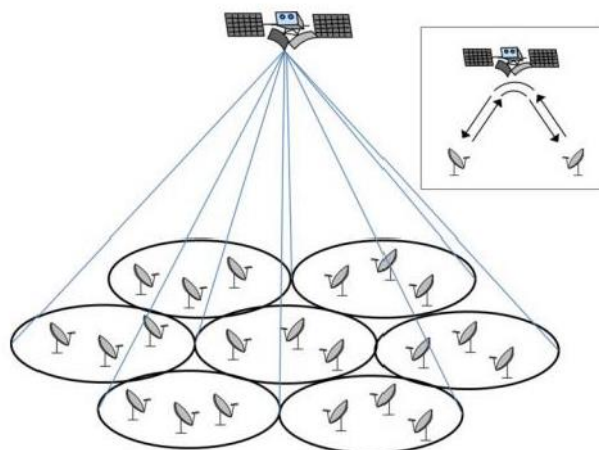
Rentang penggunaan frekuensi satelit berlaku secara seragam di seluruh Indonesia. Sama halnya dengan aplikasi komunikasi gelombang mikro, maka diperlukan pertimbangan pemilihan band frekuensi berdasarkan pada tingkat kebutuhan aplikasi satelit tersebut. Apabila sistem komunikasi yang dibangun membutuhkan *bandwidth* yang lebar, maka dapat menggunakan frekuensi yang besar seperti *Ku-band* atau *Ka-band*. Sedangkan apabila sistem komunikasi yang dibangun mengharuskan efisiensi daya, maka yang digunakan adalah *bandwidth* yang kecil, dalam hal ini frekuensi *C-band*[7].

High Troghput Satellite Apstar 5C yang digunakan di Indonesia saat ini menggunakan frekuensi kerja *Ku-band*. Secara umum pada alokasi frekuensi *Ku-band* terdiri sekitar 750 MHz untuk layanan *Fixed Satellite Service* (FSS) dan 800 MHz untuk layanan *Broadcast Satellite Service* (BSS). Frekuensi *Ku-band* dapat digunakan untuk dua polarisasi yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal. Karakteristik *High Troghput Satellite* menggunakan *spot beams* dengan pemisahan berdasarkan lokasi geografis frekuensinya dapat digunakan sebanyak 10 kali. Dengan pemisahan tersebut memiliki manfaat tambahan yaitu meningkatkan EIRP dan meningkatnya *Gain Thermal* (G/T)[3].

Beberapa perbedaan jaringan *High Throughput Satellite* dengan satelit tradisional antara lain :

1. Kapasitas *bandwidth* serta *data rate* yang besar pada tiap *beams*
2. Akses yang lebih cepat
3. Dapat menyediakan *multiple spot beams*

Secara umum pada *High Throughput Satellite* Apstar 5C yang diimplementasikan di Indonesia menggunakan topologi jaringan MESH. Pada topologi ini memungkinkan setiap pengguna dapat berkomunikasi secara langsung melalui satelit. Pada prosesnya topologi MESH mengizinkan setiap pengguna yang berada dalam *beam* maupun antar *beam* yang berbeda untuk saling berkomunikasi selama masih dalam jangkauan. Berikut gambaran dari topologi MESH pada sistem komunikasi satelit[9].

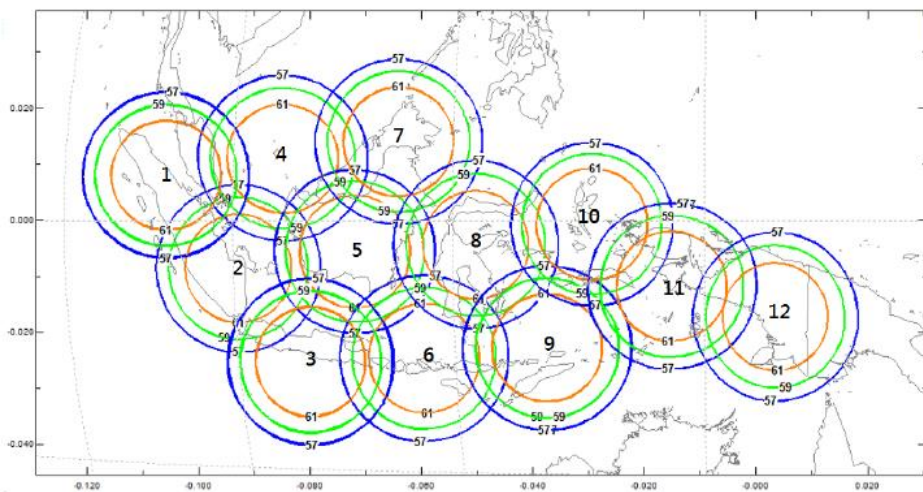


Gambar 2.9 Topologi Jaringan MESH pada Sistem Komunikasi Satelit[9]

2.2.4 Infrastruktur *High Throughput Satellite*

High Throughput Satellite merupakan sistem pada komunikasi satelit yang mempunyai *throughput* besar dan menggunakan skema *multi beams* dengan cakupan lebih luas untuk mendistribusikan layanan. HTS beroperasi pada frekuensi *Ku-band* karena kebutuhan *bandwidth* yang besar untuk meningkatkan kapasitas. Kapasitas HTS Apstar 5C terdapat 12 *beams* dengan *bandwidth* setiap *beam* mencapai 112,5 MHz, sedangkan satelit tradisional hanya dapat digunakan untuk 24 transponder dengan masing-masing transponder hanya memiliki kapasitas 36 MHz. Saat ini satelit telah masuk pada solusi yang terbaru yang menggabungkan *high density* dan *frequency reuse* [2].

Buku [10] *innovations in satellite communication technology* oleh Daniel Minoli menjelaskan bahwa *High Throughput Satellite* merupakan sistem satelit yang menggunakan *spot beams* dengan cakupan area yang luas agar dapat mendistribusikan layanan dengan baik. HTS memberikan jaminan *throughput* yang lebih besar dengan biaya per bit yang rendah. Sebagian besar satelit yang beroperasi saat ini menggunakan frekuensi *Ku-band*, terutama untuk layanan *video broadcasting*. Hal ini dirasa tepat dengan memanfaatkan teknologi *spot beams* agar cakupan area dapat diperluas pada HTS.

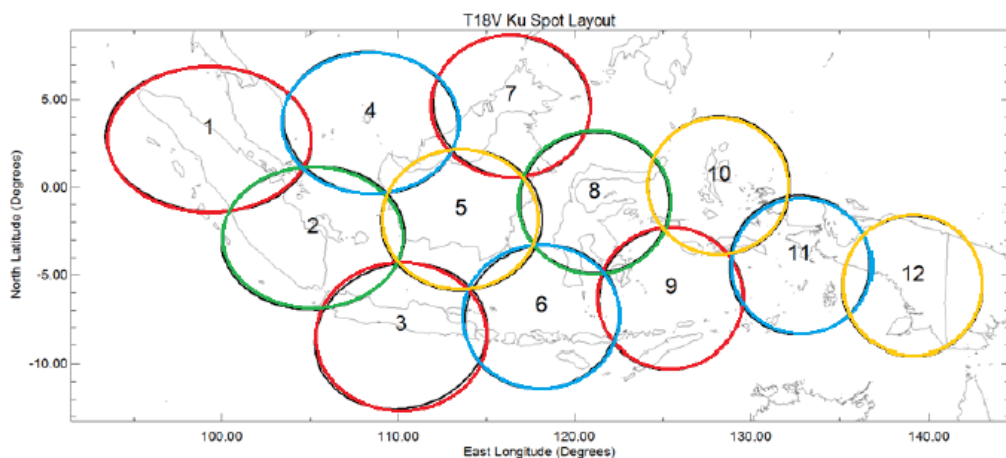


Gambar 2.10 *Spot Beam Coverage EIRP HTS Apstar 5C* [2]

Penggunaan *beams* dengan diameter *footprints* sebesar 100 – 250 Km menjadikan keuntungan dalam sistem komunikasi satelit, antara lain penggunaan *frequency reuse* serta dapat meningkatkan *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) transmit* dan *G/T receive*. Penggunaan *frequency reuse* pada *spot beam* mengizinkan beberapa *beam* untuk dapat menggunakan kembali frekuensi yang sama, dengan itu dapat meningkatkan kapasitas sistem yang diberikan pada alokasi frekuensi tersebut. Menurut riset ahli[3], sistem HTS dapat mentransformasikan *Quality of Service (QoS)* dari satelit *broadband* menjadi lebih baik. Hal ini sesuai fakta bahwa HTS dapat melayani pelanggan untuk memberikan akses internet dengan *data rates* dan *up stream* perbulan mencapai *gigabyte* yang bersaing dengan layanan terrestrial seperti jaringan 4G.

Para pengamat menyatakan bahwa konsumsi *bandwidth* pada skala global meningkat dua kali lipat setiap 2-3 tahun, oleh karena itu kemampuan penyebaran HTS merupakan sebuah peluang bisnis yang penting untuk penyedia satelit agar tetap kompetitif di pasar global. Presentasi dari populasi penggunaan internet di seluruh dunia saat ini adalah 33%, hal ini menunjukkan bahwa terdapat peluang pertumbuhan bagi penyedia layanan tersebut. HTS dapat memberikan akses *download* yang tinggi lebih dari 10 MBps untuk setiap pelanggan, hal ini dapat menjadikan HTS sebagai infrastruktur yang berperan penting pada saat ini dan masa mendatang.

Penggunaan warna yang berbeda diatur antar *beams*, baik untuk perbedaan warna dalam frekuensi maupun polarisasi. Setiap *beam* dapat mencegah gangguan pada transmisi sinyal informasi antar *beams*. Setiap *beam* dengan warna yang sama menggunakan frekuensi dan polarisasi yang sama, tetapi warna yang sama terisolasi secara spasial antara satu dengan yang lain. *Beam* yang memiliki warna yang sama dapat mendukung transfer data dari informasi yang berbeda. Secara umum digunakan empat warna di antara sistem kapasitas dan performansi. Beberapa *High Throughput Satellit* melakukan optimasi kapasitas total dengan mengorbankan cakupan area yang luas. Ilustrasinya yaitu *beam* dengan *bandwidth* sebesar 500 MHz akan dibagi menjadi dua bagian yang menghasilkan empat buah warna berdasarkan polarisasi dan frekuensi[10].



Gambar 2.11 *Spot Beams Assignment* HTS Apstar 5C[2]

Penggunaan skema *frequency reuse* sangat bermanfaat khususnya karena sumberdaya frekuensi sangat terbatas dan tidak dapat didaur ulang. Gambar 2.6 menunjukkan bahwa lingkaran merah (spot 1, 3, 7 dan 9) dan lingkaran hijau (spot 2 dan 8) menggunakan skema frekuensi *Ku-band* yang sama, tetapi berbeda polarisasi. Begitu juga dilakukan skema yang sama untuk lingkaran biru (spot 4, 6 dan 11) dan lingkaran kuning (spot 5, 10 dan 12)[2].

2.2.5 Aplikasi Penggunaan *High Troghput Satellite*

Saat ini penggunaan layanan pada teknologi *High Troghput Satellite* terbagi menjadi beberapa bagian antara lain [10]:

1. Akses internet

Penggunaan *High Troghput Satellite* dengan *multi spot beams* dapat menyediakan akses internet yang cepat serta biaya yang efektif pada layanan *broadband* pada area yang tidak terdapat infrastruktur terrestrial. Ketika desain *beams* tepat maka availibilitas link akan bejalan dengan baik.

2. Jaringan VSAT komersial

High Troghput Satellite pada frekuensi *Ku-band* dapat diandalkan untuk layanan ini. Dari segi bisnis fitur ini akan mencakup *troughput bandwidth* yang terjamin.

3. Akses mobilitas

Sebagai *terminal mobile* yang dapat berpindah dalam area *muli beams* dibutuhkan *multiple hand-off* antar *beams* khususnya apikasi *aeronautical*. Artinya layanan ini dapat digunakan untuk akses internet secara *mobile*.

4. 3G & 4G Backhaul

Sistem seluler 3G dan 4G mendukung *channel rates* yang tinggi. 3G menggunakan 10-20 MBps pada *outbond link* dan 5-10 MBps pada *inbond link*. Sedangkan 4G menggunakan 100 MBps pada *outbound link* dan 50 MBps pada *inbound link*.

5. Video Distribution

Layanan ini digunakan khususnya pada wilayah terpencil.

6. M2M

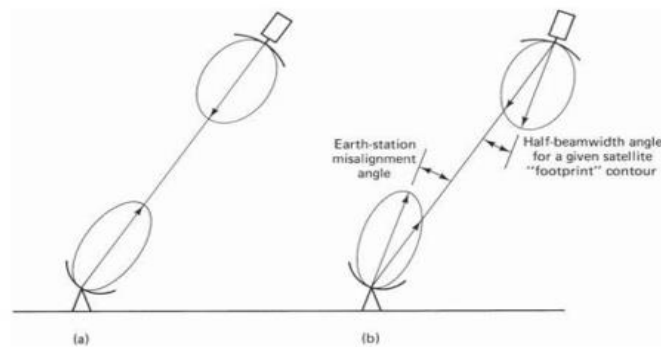
Menyediakan cakupan *global traffic* M2M seperti *telemetry*, sensor data dan *Internet of Things (IoT)*.

2.2.6 Perhitungan *Link Budget*

Link budget merupakan perhitungan level daya sinyal untuk memastikan level daya penerimaan lebih besar atau sama dengan level daya yang dikirimkan. Dalam perhitungan *link budget* ini besarnya power yang dipancarkan akan tergantung dari jenis carrier, ukuran antenna penerima, karakter propagasi dan lokasi stasiun bumi[11].

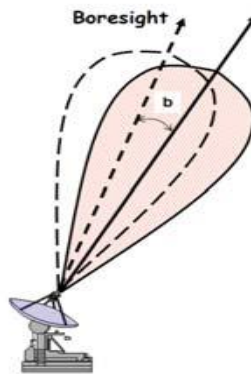
Beberapa tujuan menghitung *link budget*, antara lain[11]:

1. Menghitung *transmit level power* yang diperlukan baik dari stasiun bumi maupun dari satelit
2. Menyeimbangkan pemakaian *power* dan *bandwidth* untuk mengurangi biaya *space segment*
3. Mengalokasikan *link margin* yang cukup untuk mengantisipasi dampak propagasi
4. Menentukan perangkat yang diperlukan



Gambar 2.12 Kondisi Stasiun Bumi Yang Mengarah ke Satelit[7]

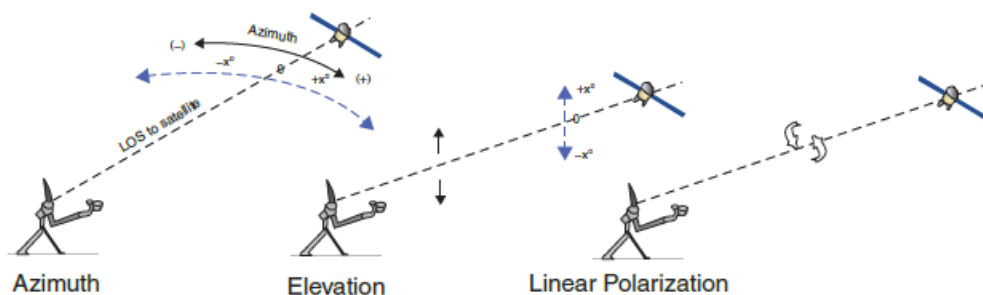
Pada gambar (a) kondisi antara antenna stasiun bumi dengan satelit saling terhubung secara maksimal, sehingga *gain* antenna stasiun bumi bisa sepenuhnya diarahkan untuk memancarkan sinyal ke satelit. Hal yang berbeda yang tidak diinginkan pada gambar (b), karena pointing antenna stasiun bumi tidak secara tepat mengarah ke satelit sehingga menimbulkan *earth station misalignment angle* atau yang disebut juga sudut *pointing error*. Apabila antenna stasiun bumi yang digunakan pada kondisi (b) bersifat *receive only*, yang akan mengalami kerugian ada di sisi stasiun bumi. Namun, apabila antenna stasiun bumi yang digunakan pada kondisi (b) bersifat dua arah *transmit* dan *receive*, hal ini dapat mengakibatkan kesalahan *transmit* menuju ke satelit tetangga.



Gambar 2.13 Ilustrasi Pointing Error Antena Stasiun Bumi[7]

Berdasarkan gambar di atas perlu diketahui beberapa istilah pada pointing antenna stasiun bumi, yaitu *pointing error* dan *pointing loss*. *Pointing error* menyatakan pergeseran arah pointing yang seharusnya jalur pointing antenna berada pada garis penuh, tetapi yang terjadi adalah jalur pointing antenna pada garis putus – putus yang mengakibatkan antara garis yang penuh dengan garis putus – putus terpisah beberapa derajat. Sedangkan *pointing loss* terjadi apabila arah pancar antenna bergeser, sehingga menghasilkan selisih *beamwidth* ketika arah pancar antenna tepat ke satelit dengan arah pancar antenna yang bergeser tersebut. *Pointing loss* terukur dalam satuan *desible* (dB)

High Troughput Satellite Apstar 5C terletak di orbit GEO yang terlihat tetap dari bumi. Untuk dapat berkomunikasi antara stasiun bumi dengan satelit diperlukan dilakukan pointing antenna, yaitu mengarahkan antenna terhadap satelit secara tepat. Hal yang perlu diperhatikan saat proses pointing adalah perhitungan sudut elevasi dan sudut azimuth. Sudut elevasi merupakan sudut yang dihasilkan oleh arah utara sebenarnya dari titik yang akan dipasang antenna dengan arah vertikal antara satelit dengan antenna. Sedangkan sudut azimuth merupakan sudut arah horizontal dari arah pancar antenna stasiun bumi yang berada antara 0 – 360°.



Gambar 2.14 Pointing Antenna[10]

Berikut adalah perhitungan untuk sudut elevasi dan sudut azimuth [7]:

Sudut elevasi (E)

$$E = \tan^{-1} \left[\frac{\cos l \cdot \cos L - 0,151}{\sqrt{1 - (\cos l \cdot \cos L)^2}} \right] \quad (1)$$

Keterangan :

E = elevasi (°)

l = *Latitude* stasiun bumi (°)

L = Selisih *longitude* satelit dan stasiun bumi (°)

Sudut azimuth didapat sebagai berikut :

Sebelah utara khatulistiwa

$$\text{Stasiun bumi berada di barat satelit : } A = 180^\circ - A' \quad (2)$$

$$\text{Stasiun bumi berada di timur satelit : } A = 180^\circ + A' \quad (3)$$

Sebelah selatan khatulistiwa

$$\text{Stasiun bumi berada di barat satelit : } A = A' \quad (4)$$

$$\text{Stasiun bumi berada di timur satelit : } A = 360 - A' \quad (5)$$

$$A' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan | \text{long SB} - \text{long Sat} |}{\sin \text{lat SB}} \right) \quad (6)$$

Keterangan :

A = sudut azimuth (°)

Long SB = *Longitude* stasiun bumi (°)

Long Sat = *Longitude* satelit (°)

Lat SB = *Latitude stasiun bumi* (°)

2.2.6.1 Prinsip Dasar Polarisasi

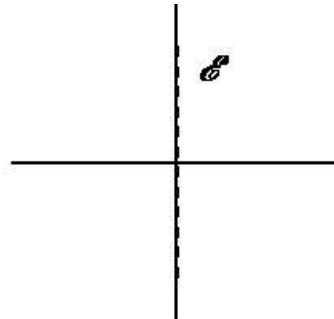
Buku [12] Antena dan Propagasi Gelombang menjelaskan bahwa polarisasi sebuah bidang gelombang didefinisikan dengan urutan penggambaran medan listrik sesaat pada sebuah titik observasi yang tetap. Polarisasi berlawanan arah secara umum banyak diikuti dengan asumsi pendekatan gelombang. Polarisasi pada arah yang diberikan antena didefinisikan sebagai polarisasi radiasi gelombang antena pada arah tertentu. Dengan catatan, bahwa setiap gambar polarisasi sebelumnya dapat berputar dengan nilai sudut sembarang.

Polarisasi merupakan orientasi perambatan gelombang listrik terhadap elektromagnetik yang dipancarkan suatu antena[13]. Polarisasi mencegah interferensi dengan satelit yang sama pada frekuensi yang sama tetapi berlawanan arah polarisasinya[10]. Terdapat beberapa jenis polarisasi antena, antara lain[13]:

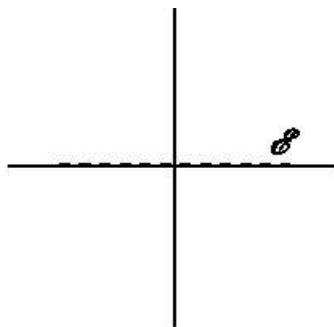
1. Polarisasi *linear*

Polarisasi *linear* terjadi jika medan listrik dan medan magnet merambat konstan. Secara umum polarisasi *linear* terbagi menjadi dua, yaitu polarisasi horizontal dan polarisasi vertical. Polarisasi horizontal terjadi apabila medan listrik merambat secara horizontal searah dengan medan magnet. Sedangkan polarisasi vertical terjadi apabila medan listrik merambat secara vertikal, tegak lurus terhadap medan magnet.

Dengan adanya perbedaan arah rambatan polarisasi sangat memungkinkan untuk dilakukan *re-use* frekuensi untuk efisiensi alokasi frekuensi. Proses perubahan arah rambatan polarisasi vertical dan polarisasi horizontal dapat dilakukan pada bagian antena yang disebut *feedhorn*. Dengan merubah posisi *feedhorn* maka arah rambatan polarisasi dapat dipilih secara maksimal pada salah satu arah saja, serta meminimalkan nilai polarisasi pada arah rambatan sebaliknya.



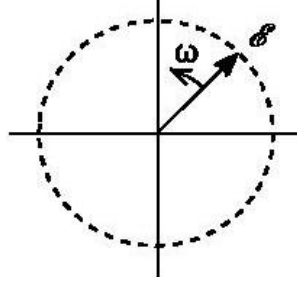
Gambar 2.15 Polarisasi vertikal[12]



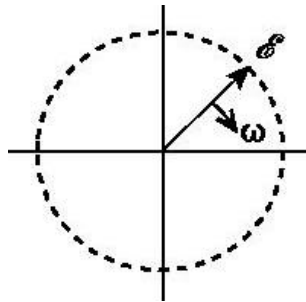
Gambar 2.16 Polarisasi horizontal[12]

2. Polarisasi *circular*

Adalah apabila gelombang listrik dan gelombang magnet bergerak melingkar setiap saat, dan mempunyai nilai *magnitude* yang tetap.



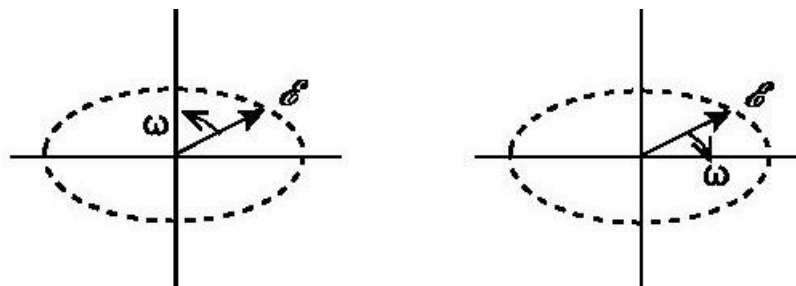
Gambar 2.17 Polarisasi RHCP[12]



Gambar 2.18 Polarisasi LHCP[12]

3. Polarisasi *elips*

Adalah apabila gelombang listrik dan gelombang magnet bergerak melingkar setiap saat, tetapi nilai *magnitude* yang dihasilkan tidak tetap.



Gambar 2.19 Polarisasi *elips*[12]

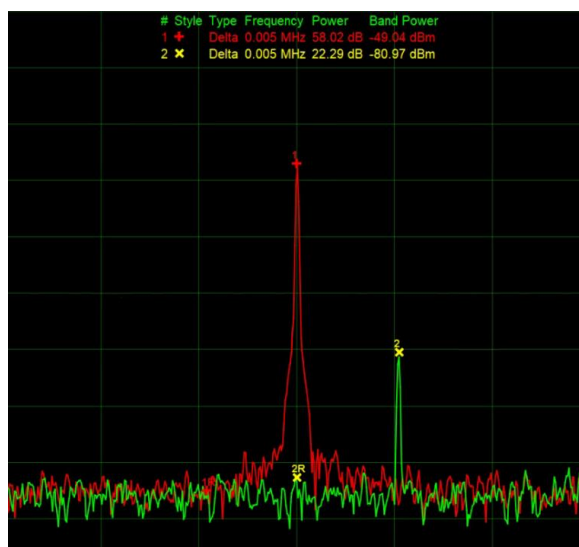
Pada antenna yang terpolarisasi *linear* apabila tidak sejajar dengan satelit akan menghasilkan *polarization mismatch loss*. Sistem komunikasi satelit menggunakan polarisasi linear dan polarisasi melingkar, tetapi tidak menutup kemungkinan mengubah menjadi polarisasi elips. *Cross polarization* dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat *carrier* yang dipancarkan antenna tidak tepat mengarah ke satelit yang dituju, atau karena posisi *polarizer* atau *horn* pada antenna tidak tepat[14].

Istilah – istilah dalam polarisasi yang umum dipergunakan antara lain sebagai berikut[10], serta lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.20:

1. *Main carrier* adalah sinyal yang sedang ditransmisikan. Pada gambar 2.20 ditandai dengan *marker 1*.
2. *Co polarized* adalah sinyal yang muncul pada polarisasi yang sama dengan sinyal yang sedang ditransmisikan. Letaknya berada di dalam *main carrier*.
3. *Cross polarized* adalah istilah untuk menggambarkan sinyal dari polarisasi yang berlawanan terhadap sinyal lain yang sedang ditransmisikan. Pada gambar 2.20 ditandai dengan *marker 2*.
4. *Cross polarization interference* adalah interferensi yang disebabkan oleh sinyal yang diterima dimana polarisasinya berlawanan dengan sinyal yang diinginkan.

Nilai CPI dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$CPI = Main\ carrier - Cross\ polarized \quad (7)$$



Gambar 2.20 *Cross polarization interference*

2.2.6.2 Noise

Noise secara umum didefinisikan sebagai bentuk sinyal yang tidak diinginkan pada sirkuit telekomunikasi. Ada 4 kategori noise yang perlu diketahui, yaitu : *thermal noise, intermodulation noise, crosstalk, impulse noise* [7].

1. *Thermal Noise*

Thermal noise merupakan *noise* yang muncul pada setiap transmisi dan setiap perangkat telekomunikasi sebagai akibat dari gerakan elektron secara acak. *Noise* ini mempunyai sifat menyebar merata ke seluruh *band* frekuensi.

Setiap komponen pada perangkat dan setiap media transmisi selalu memberikan kontribusi *thermal noise* pada sistem jika bekerja pada temperature di atas temperature mutlak.

2. *Intermodulation Noise*

Intermodulation noise ditimbulkan oleh *intermodulation product*. Sebagai contoh apabila dimasukkan 2 frekuensi, f_1 dan f_2 pada sebuah komponen *nonlinear*, maka pada output akan terdapat frekuensi spurious. Frekuensi spurious dapat muncul di dalam atau di luar frekuensi perangkat yang bersangkutan. *Intermodulation noise* muncul apabila level input terlalu tinggi. Beberapa akibat dari *intermodulation noise* antara lain : terjadi *crosstalk*, penurunan kualitas kanal dan gangguan pada transponder yang berdekatan.

3. *Crosstalk*

Crosstalk merupakan pengkopelan yang tidak diinginkan pada jalur sinyal. Terdiri dari dua macam, yaitu near end crosstalk, dan far end crosstalk. Beberapa penyebab terjadinya *crosstalk* antara lain :

- a. *Electrical coupling* antar kabel *voise*
- b. *Filter respon* yang kurang baik
- c. *Nonlinearity* pada sistem multi channel (FDM)
- d. *Signal to Noise Ratio* (S/N)

Signal to Noise Ratio (S/N) merupakan perbandingan level sinyal dengan level *noise* yang dinyatakan dalam satuan dB. Untuk memperbesar S/N dapat dilakukan dengan cara memperbesar daya sinyal, memperkecil tingkat *noise* dan memperbesar daya sinyal sekaligus memperkecil tingkat *noise*.

2.2.6.3 Menentukan Nilai *Slant Range*

Daerah kemiringan (*slant range*) antara stasiun bumi dengan satelit adalah jarak sebenarnya yang diukur dari stasiun bumi ditarik garis lurus menuju posisi satelit di orbit. Nilai *slant range* perlu dihitung untuk mengetahui lebih lanjut sudut *toposentris* antara dua satelit yang dilihat dari stasiun bumi.

Sudut *toposentris* berguna untuk menentukan besarnya *side lobe* antena yang mengarah ke satelit. Nilai *slant range* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut [7] :

$$D = \sqrt{h^2 + 2R_e(R_e + h)(1 - \cos \varphi_G \cos \Delta \lambda)} \quad (7)$$

Keterangan :

$D = \text{Slant range (km)}$

$h = \text{orbit satelit geostationer, yaitu 35.786 km}$

$R_e = \text{jari - jari bumi, yaitu 6.378 km}$

$\cos\phi = \text{selisih longitude stasiun bumi dengan satelit } (^\circ)$

$\cos \Delta = \text{nilai latitude dari stasiun bumi } (^\circ)$

$\lambda = \text{panjang gelombang}$

2.2.6.4 Menentukan Gain Antena

Gain atau penguatan adalah perbandingan antara daya pancar antena terhadap referensi antena itu sendiri. Mencari nilai *gain* antena dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik antena yang digunakan stasiun bumi [7].

$$G = 10 \log \eta \left(\frac{\pi \cdot D \cdot f}{c} \right)^2 \quad (8)$$

Keterangan :

$G = \text{gain antenna (dB)}$

$f = \text{frekuensi kerja (Hz), terdiri dari frekuensi uplink atau downlink}$

$D = \text{diameter antena stasiun bumi (m)}$

$\eta = \text{nilai efisiensi antena (\%)}$

$\pi = 3,14$

2.2.6.5 Menentukan Gain to Temperature (G/T)

Gain to Noise Temperature Ratio merupakan ukuran *performance* sistem penerimaan pada suatu antena stasiun bumi. Semakin besar G/T artinya semakin sensitive dan semakin baik kualitas penerimanya. Untuk mendapatkan nilai G/T yang besar dapat dilakukan dengan cara memperbesar *gain* antena dan atau menggunakan penerima dengan *temperature* derau yang rendah (semakin kecil *temperature* LNA semakin baik mutu penerimaannya). Secara matematik nilai G/T dirumuskan sebagai berikut [7] :

$$G/T = G - 10 \log T \quad (9)$$

Keterangan :

$G/T = \text{Gain to Temperature (dB/}^\circ\text{K)}$

$G = \text{Gain transmit antena}$

$T = \text{Temperature system. Untuk frekuensi Ku-band nilai T adalah } 160^\circ\text{K [11]}$

2.2.6.6 Menentukan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

EIRP menyatakan daya pengiriman dari stasiun bumi atau dari satelit. EIRP satelit umumnya sudah disertakan pada *design* awal dari karakteristik satelit tersebut, sedangkan EIRP [15] stasiun bumi dilambangkan dengan $EIRP_{SB}$ merupakan besarnya level daya efektif yang dipancarkan stasiun bumi ke satelit, dapat diketahui melalui perhitungan sebagai berikut [7].

$$EIRP = P_{out} + G - LOSS_{IFL} \quad (10)$$

Keterangan :

$EIRP = Effective Isotropic Radiated Power$ (dBW)

$P_{out} = Output power$ penguatan yang digunakan (dBW)

$G = gain transmit$ antena (dB)

$Loss_{IFL} = Loss$ pada jalur transmisi (dB)

2.2.6.7 Menentukan Lebar Berkas (*Beamwidth*)

Lebar berkas suatu antena sering disebut dengan *beamwidth* (Θ_{3dB}) yang merupakan penguatan posisi sudut sesuai pengarahannya dimana gain akan bernilai setengah dari nilai maksimumnya. Semakin lebar diameter antenanya, maka nilai *beamwidth* akan semakin kecil, artinya berkas sinyal yang dipancarkan akan semakin fokus. Hasil perhitungan besarnya lebar berkas berdasarkan diameter antena adalah sebagai berikut [7]:

$$\theta_{3dB} = 70 \left(\frac{c}{f \cdot D} \right) \quad (11)$$

Keterangan :

$\theta_{3dB} = Beamwidth$ ($^{\circ}$)

$c = Kecepatan cahaya$ (3×10^8) m/s

$f = Frekuensi$ (Hz)

$D = Diameter$ antena (m)

2.2.6.8 Menentukan Batas *Side Lobe* Antena Stasiun Bumi

Untuk menentukan besarnya level *side lobe* antena stasiun bumi, diasumsikan bahwa hasil perhitungan tidak boleh melebihi ketentuan dari Rec.ITU-T S.580-5, yaitu[7]:

$$G = 29 - 25 \log \theta \quad (12)$$

Keterangan :

θ = Sudut toposentris

Rumus di atas berlaku untuk nilai sudut toposentris lebih dari 1° , serta untuk antenna yang terpasang setelah tahun 1995. Besarnya nilai *side lobe* dicari pada setiap posisi stasiun bumi. Semakin kecil diameter antena yang dipakai, akan semakin besar nilai *side lobe* tersebut. Fenomena ini harus dihindari supaya tidak menimbulkan interferensi bagi satelit didekatnya[7].

2.2.6.9 Menentukan *Side Lobe* Antena Stasiun Bumi

$$G(\theta) = G - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \quad (13)$$

Keterangan :

G = Gain *transmit* antenna stasiun bumi

θ = Sudut toposentris

θ_{3dB} = *Beamwidth* ($^\circ$)

2.2.6.10 Menentukan *Free Space Loss*

Free space loss (FSL) merupakan redaman yang terjadi pada transmisi gelombang radio yang melintas ruang bebas dengan pada media transmisi atmosfer. FSL dapat dirumuskan sebagai berikut[15]:

$$FSL = 92,4 + 20 \log f + 20 \log D \quad (14)$$

Keterangan :

FSL = *Free space loss* (dB)

f = frekuensi kerja (GHz)

D = *Slant range* (km)

2.2.6.11 Menentukan Daya *Carrier Uplink*

Daya *carrier uplink* merupakan daya yang diterima oleh antena pada satelit, setelah daya *carrier* yang dikirim stasiun bumi mengalami redaman – redaman pada saat *uplink*. Nilai daya *carrier uplink* dapat dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$C_{UL} = EIRP_{UL} - L + 20 \log \left(\frac{4\pi \cdot f_{UL} \cdot D_{UL}}{c} \right) + G_{UL} \quad (15)$$

Keterangan :

C_{UL} = Daya *carrier uplink* (dB)

L = *Loss tracking + atmosphere attenuation* (1,2 dB)

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_{UL} = Frekuensi *uplink* (Hz)

D_{UL} = *Slant range uplink* (m)

G_{UL} = *Gain transmit antena* (dBi)

2.2.6.12 Menentukan *Bandwidth*

Perhitungan *bandwidth* berfungsi agar mengetahui nilai *bandwidth* yang dibutuhkan (BW_{occ}) serta berapa besar *bandwidth* yang tersedia (BW_{all}) pada transponder[15].

Bandwidth yang dibutuhkan :

$$BW_{occ} = \left(\frac{R_{info}}{fec} \right) \left(\frac{1+\alpha}{m} \right) \quad (16)$$

Keterangan :

BW_{occ} = *Bandwidth* yang dibutuhkan (Hz)

R_{info} = *Datarate* (bps)

α = *roll of factor* ($0 \leq \alpha \leq 1$)

m = jumlah bit untuk satu simbol

FEC = *Forward Error Control*. Yaitu metode mengontrol kesalahan yang menggunakan penambahan bit pada transmisi sinyal, sehingga apabila terjadi kesalahan pada saat pengiriman, nantinya di akhir pengiriman kesalahan tersebut akan diperbaiki[15].

Bandwidth yang tersedia dapat dihitung sebagai berikut :

$$BW_{all} = BW_{occ} (1 + guarband) \quad (17)$$

Keterangan :

BW_{occ} = *Bandwidth* yang dibutuhkan (Hz)

Guardband = untuk HTS Apstar 5C sebesar 4%

Sedangkan untuk menentukan *datarate* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$DR = SR \times bit \text{ per symbol} \quad (18)$$

Dimana, nilai *bit per symbol* dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$bit \text{ per symbol} = FEC \times Mod \text{ factor} \quad (19)$$

Keterangan :

DR = Datarate

SR = Symbolrate

Mod factor = 2 for QPSK, 3 for 8-PSK, 4 for 16-APSK

2.2.6.13 Menentukan C/N Uplink

Carrier to Noise Ratio (C/N) merupakan nilai perbandingan antara carrier yang diterima dengan sinyal noise yang dihasilkan dalam suatu link[7]. Persamaan uplink untuk transmisi ke satelit dapat ditulis dengan mensubstitusikan nilai – nilai parameter sistem komunikasi satelit ke dalam persamaan dasar link [15] :

$$(C/N)_{UL} = EIRP_{UL} - FSL_{UL} + (G/T)_{sat} - 10 \log k - 10 \log BW_{all} \quad (20)$$

Keterangan :

$(C/N)_{UL}$ = Nilai C/N uplink

FSL_{UL} = Free Space Loss uplink (dB)

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$) J/K

BW_{all} = Bandwidth yang tersedia (Hz)

$(G/T)_{sat}$ = Gain to Temperature satelit

2.2.6.14 Menentukan C/N Downlink

Nilai C/N downlink dapat dirumuskan sebagai berikut[15]:

$$(C/N)_{DL} = EIRP_{sat} - FSL_{DL} + (G/T)_{SB} - 10 \log k - 10 \log BW_{all} \quad (21)$$

Keterangan :

$(C/N)_{DL}$ = Nilai C/N downlink

FSL_{DL} = Free Space Loss downlink (dB)

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$) J/K

BW_{all} = Bandwidth yang tersedia (Hz)

$(G/T)_{SB}$ = Gain to Temperature stasiun bumi

2.2.6.15 Menentukan C/N Total

Setelah didapat nilai C/N di sisi uplink dan downlink, berikutnya nilai C/N total dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [15] :

$$[C/N_{Total}] = 10 \log \frac{1}{[C/N_{UL}]^{-1} + [C/N_{DL}]^{-1}} \quad (22)$$

2.2.6.16 Menentukan Eb/No

Dalam perhitungan performansi komunikasi satelit perlu dilakukan perhitungan Eb/No, yang merupakan perhitungan dari *bit energy* (Eb) dengan *noise power density* (No) [3] :

$$Eb/No = (C/N)_{Total} + \frac{BW_{occ}}{R_i} \quad (23)$$

Keterangan :

BW_{occ} = *Bandwidth* yang dibutuhkan

R_i = *bit rate* informasi

C/N = *Carrier to noise ratio total*

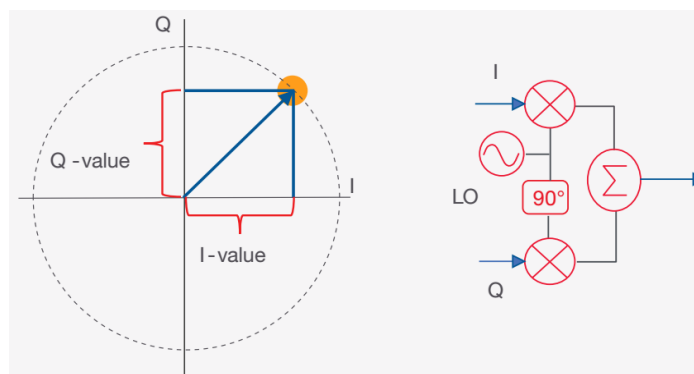
2.2.6.17 Menentukan BER

Sebagai perbandingan jumlah bit informasi yang terdapat error dengan total keseluruhan jumlah bit informasi yang ditransmisikan, dinyatakan dalam daya yang bernilai 0 sampai dengan 1. Nilai BER yang tinggi berarti terjadi adanya keterlambatan data rate terhadap waktu keseluruhan transmisi data. BER dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [3]:

$$BER = \frac{e^{-Eb/No}}{\sqrt{4\pi \frac{Eb}{No}}} \quad (24)$$

2.2.7 Modulasi Digital Pada Sistem Komunikasi Satelit

Pada sistem modulasi terdapat tiga komponen sinyal yang dijadikan acuan yaitu amplitude, frekuensi dan fase untuk digabungkan dengan sinyal pembawa kemudian dikirimkan. Pada teknologi modulasi merupakan sinyal yang kompleks, yaitu dalam bentuk polar terbagi dalam magnitude dan fase. Dalam modulasi digital terdapat dua bagian, yaitu I (*in-phase*) dan Q (*quadrature*). Bagian tersebut dapat di ketahui setelah proses melepaskan frekuensi pembawanya[16].



Gambar 2.21 *In-phase & Quadrature Modulation*[16]

2.2.7.1 Skema Modulasi Digital *Constant Envelope*

Pada teknologi modulasi digital terdapat dua tipe *constant envelope* dan *non constant envelope*. *Constant envelope* berarti bahwa sinyal yang sifatnya konstan, dan titik simbol (*constellation points*) memiliki jarak yang sama terhadap titik tengah. Karena jaraknya sama dengan titik tengah, maka *constant envelope* dikatakan memiliki modulasi yang paling bagus serta cocok untuk sistem komunikasi satelit, karena dengan jarak yang sama tersebut meminimalisasi efek *non linear amplification* pada HPA. Contoh modulasi yang bersifat *constant envelope* adalah modulasi yang berbasis *Frequency Shift Keying* (FSK) dan *Phase Shift Keying* (PSK)[16].

Untuk dapat mencapai sistem komunikasi yang memiliki *datarate* yang tinggi perlu dipilih tipe modulasi yang tinggi, tetapi konsekuensinya adalah sinyal tersebut akan sensitif terhadap *channel impairments* atau disebut juga ketidak sesuaian kanal.

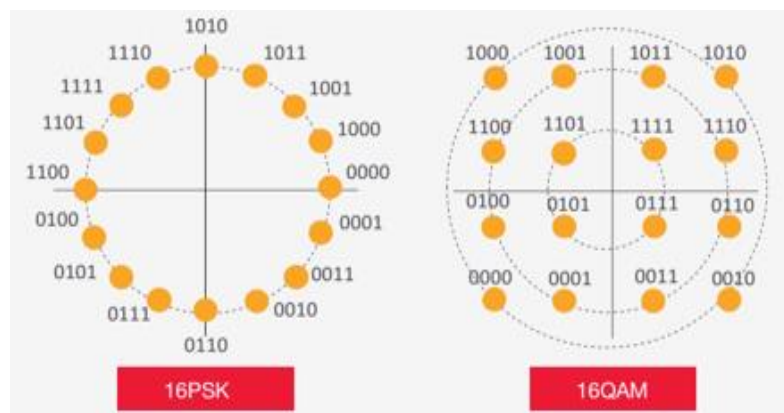


Gambar 2.22 Diagram Konstelasi Modulasi Digital[16]

Pada modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) menggunakan representasi bit sebanyak 1. Masing – masing bit yaitu bit 0 dan bit 1 terpisah sejauh 180° . Pada modulasi QPSK dalam satu konstelasi diagram terdapat 4 simbol atau disebut juga kumpulan bit, dimana masing – masing simbol merepresentasikan 2 bit, sehingga antar masing – masing symbol terpisah sejauh 90° . Sedangkan pada modulasi 8-PSK terdapat simbol, dimana masing – masing simbol merepresentasikan 3 bit. Semakin banya bit yang digunakan, maka jarak antar symbol akan semakin kecil, sehingga kemungkinan interferensi yang ditimbulkan semakin besar[16].

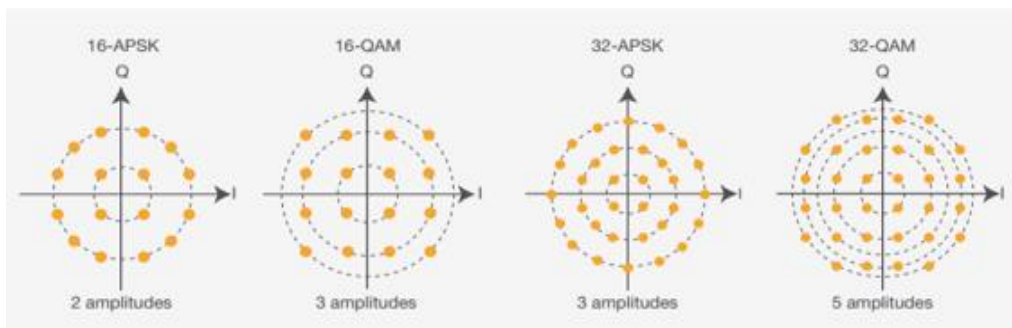
2.2.7.2 Skema Modulasi Digital Non Constant Envelope

Modulasi digital yang berbasis *non constant envelope* sebagai contoh adalah *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*. *Non constant envelope* berarti bahwa sinyal yang sifatnya tidak konstan Titik simbol (*constellation points*) memiliki jarak yang berbeda terhadap titik tengah. Modulasi 16PSK apabila dibandingkan dengan modulasi 16QAM akan berbeda pola konstelasinya. Modulasi 16QAM akan meningkatkan jarak antar titik konstelasi, karena posisi titik konstelasi di masing – masing region dibagi menjadi jumlah bit yang lebih sedikit. Modulasi 16QAM juga meningkatkan nilai amplitudo sebanyak tiga tingkat[16].



Gambar 2.23 Diagram Konstelasi 16PSK dan 16QAM[16]

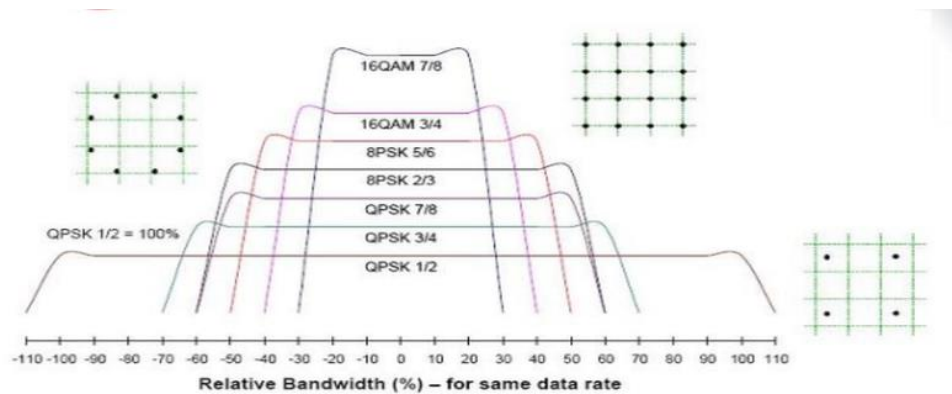
Terdapat jenis modulasi gabungan antara modulasi ASK dengan modulasi PSK, yaitu modulasi APSK. Pada modulasi APSK terdapat dua ring amplitudo, berbeda dengan 16QAM yang memiliki 3 ring amplitudo. Semakin dekat jarak ring pada sistem konstelasi, maka efek *non* linearitasnya akan semakin sudah untuk diatasi. Dapat diartikan juga semakin jauh jarak antar ring amplitudo modulasi tersebut semakin bagus[16].



Gambar 2.24 Diagram Konstelasi APSK dan QAM[16]

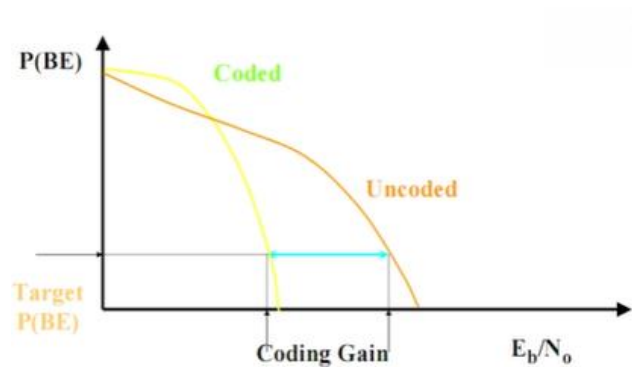
Antara pemilihan level modulasi serta pemilihan *coding* akan menghasilkan *trade off*, yaitu suatu kondisi yang terbaik antara dua pilihan. Pilihan tersebut adalah apabila yang dipilih adalah modulasi tinggi, maka *bandwidth* yang digunakan akan kecil, tetapi membutuhkan daya yang besar. Sebaliknya apabila menggunakan modulasi rendah, maka *bandwidth* yang digunakan akan semakin lebar, tetapi daya yang dibutuhkan semakin kecil[16].

2.2.8 Channel Coding



Gambar 2.25 Perbandingan Penggunaan Jenis Modulasi dan FEC[16]

Nilai FEC $\frac{1}{2}$ berarti setiap 2 bit yang dikirimkan terdapat 1 bit *error correction*. Apabila nilai FEC $\frac{3}{4}$ maka setiap 4 bit yang dikirimkan terdapat 1 bit *error correction*. Apabila nilai FEC $\frac{7}{8}$ maka setiap 8 bit yang dikirimkan terdapat 1 bit *error correction*. Salah satu fungsi *coding* adalah untuk mendeteksi *error* dan mengoreksi *error*[16].



Gambar 2.26 Pengaruh *Coding Gain* Terhadap BER dan E_b/N_0 [16]

Apabila suatu sistem komunikasi satelit yang menggunakan FEC, maka nilai E_b/N_0 yang dihasilkan lebih rendah dengan nilai BER yang dihasilkan sama dengan sistem komunikasi satelit *uncoded*. Selisih nilai E_b/N_0 pada titik yang sama antara *coded* dan *uncoded* disebut *coding gain*.

Fungsi dasar *channel coding* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu[16]:

1. *Error detection* :

- a. Mendeteksi kesalahan untuk selanjutnya akan meminta kirim ulang informasi
- b. Digunakan pada sistem *non latency sensitive*, sebagai contoh sistem komunikasi terrestrial.

2. *Error correction* :

- a. Memberikan tambahan bit sebelum proses transmisi
- b. Jika terjadi *error*, *decoder* akan mendeteksi dan selanjutnya akan memperbaikinya.
- c. Digunakan pada sistem *latency sensitive*, sebagai contoh sistem komunikasi satelit, maupun sistem komunikasi data yang kompleks.
- d. Macam – macam FEC
 - 1) *Block code* (sebagai contoh *Reed Solomon*, *BCH*, *Hamming*). Jenis FEC ini digunakan untuk memperbaiki *burst error*
 - 2) Konvolusional (sebagai contoh *Viterbi*). Jenis FEC ini digunakan untuk memperbaiki *random error*.
 - 3) *Turbo code*, yang digunakan untuk memperbaiki *random error* & *burst error*. Namun, karena memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi menimbulkan *latency* yang tinggi.