

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Buku *innovations in satelit communications technology* oleh Daniel Minoli menjelaskan bahwa *High Throughput Satellite* atau yang biasa disebut dengan HTS dapat diartikan sebagai sistem satelit yang menggunakan *spot beams* dengan *cover area* yang luas untuk mendistribusikan layanan pada area-area yang *tercover* oleh *Spot-beams* tersebut. HTS memberikan pelayanan *service area* pada daerah-daerah yang *tercover* dengan *throughput* yang besar dan biaya per bit yang lebih rendah. Sebagian besar satelit di orbit yang beroperasi pada frekuensi *Ku-band* saat ini menyediakan cakupan yang besar untuk layanan-layanan *video broadcasting*, untuk itu merupakan sebuah peluang pasar yang berkembang untuk satelit yang menyediakan layanan data *broadband* yang memanfaatkan teknologi *spot beams* pada HTS [5].

Buku *Satellite Communications Systems Engineering second edition* oleh Louis J. Ippolito, Jr. Frekuensi *re-use* pada *Spot-beams* digunakan untuk mencakup area layanan yang diizinkan pada beberapa *beams* untuk menggunakan kembali *band* frekuensi yang sama, hasilnya adalah peningkatan kapasitas sistem yang diberikan untuk alokasi *band* frekuensi. Semakin sempit *beams antenna*, menyediakan sistem *beams* yang menghasilkan nilai transmisi dan penerimaan *antenna* yang lebih tinggi pada *satelit link*, hasil yang lebih tinggi untuk *beams* yang lebar dapat mencakup jaringan yang lebih luas. Hal ini dinyatakan dalam *effective radiated power* (EIRP) pada sisi transmit yang tinggi dan G/T pada sisi *receiver* yang tinggi. *Link performance* yang baik juga memungkinkan untuk mengizinkan jaringan beroperasi dengan level *interference* yang tinggi dari jaringan atau sumber daya yang lain [6].

Jurnal dengan judul *Research On Soft Frequency Reuse Technology Of Multi-Beam Satellite Communication System* oleh Chao Dai, Guangman Zou, dan Bo Young menjelaskan bahwa teknologi *soft frequency reuse* pada jaringan terestrial menggunakan *multi-beam* satelit dengan desain beam sebanyak 24 beam. Pada simulasi didapatkan bahwa teknologi *soft frequency reuse* dapat meningkatkan kapasitas dari sistem komunikasi dengan menambahkan efisiensi

pada jaringan spectral. *Frequency reuse* dan *polarization reuse* adalah dua parameter penting pada penggunaan teknologi *soft frequency reuse* [7].

Jurnal 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 HTS memberikan peningkatan besar tanpa biaya berlebih pada dunia industri komunikasi. Hal ini dapat menjadikan keuntungan besar untuk operator dan pengguna layanan FSS bermigrasi kedalam perencanaan layanan kedepannya. HTS dengan frekuensi *ku-band* dapat menyediakan *coverage spot* sebesar $0,05^\circ$ dengan *parabolic* reflektor sebesar 2.0 meter. Semakin kecil *spotnya*, semakin tinggi *throughput* yang dihasilkan, dan pada akhirnya dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan [2].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Alokasi Frekuensi

Berdasarkan alokasi yang telah ditetapkan oleh *International Telecommunication Union* atau ITU [8], alokasi frekuensi dibedakan menjadi beberapa bagian diantaranya yaitu *C-band* dengan *range* frekuensi 4-6 GHz, yang masih banyak digunakan untuk sistem FSS. Sejumlah sistem komunikasi juga beroperasi pada frekuensi *Ku-band* dengan alokasi frekuensi *uplink* sebesar 14 GHz serta *downlink* sebesar 11-12 GHz. Untuk kedepannya sistem telekomunikasi menggunakan satelit akan banyak menggunakan frekuensi *Ka-band* dengan alokasi *range* frekuensi sebesar 20-30 GHz, yang dapat dilihat dalam Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 *Band* frekuensi [8]

<i>Frequency Band</i>				<i>Typical utilization</i>
<i>Band</i>	<i>Current denomination</i>	<i>Uplink GHz</i>	<i>Downlink GHz</i>	
C	6/4	5.72 - 7.02	3.4 - 4.8	<i>Fixed Satellite Service (FSS), fixed service terrestrial microwave</i>
Ku	14/12	12.7 – 14.5	10.7 – 12.7	<i>FSS, Broadcast Satellite Service (BSS)</i>

Ka	30/20	27.5 – 30.0	17.7 – 20.2	FSS, <i>Fixed service terrestrial microwave, local multichannel distribution service</i> (LMDS)
----	-------	-------------	-------------	---

2.2.2 Frekuensi *Ku-Band*

Alokasi frekuensi pada *Ku-band* memiliki frekuensi yang lebih tinggi daripada *C-band*. *Ku-band* memiliki frekuensi *uplink* sebesar 12.7 – 14.5 GHz dan *downlink* sebesar 10.7 – 12.7 GHz. *Ku-band* terdiri dari kurang lebih sebesar 750 MHz untuk *Fixed Satellite Service* (FSS) dan 800 MHz *Broadcast Satellite Service* (BSS), *Ku-band* dapat digunakan dalam dual posisi polarisasi dengan jarak terpisah sejauh 2°. Satelit yang berbeda diimplementasikan untuk mengcover daerah yang berbeda. *Spot-beams* dengan pemisahan berdasarkan lokasi geografis frekuensinya dapat digunakan sebanyak 10 kali. Dengan pemisahan tersebut juga memiliki manfaat tambahan yaitu meningkatkan EIRP, peningkatan tersebut menggunakan daya pancar yang sederhana, selain itu G/T (*Gain Thermal*) juga meningkat karena penggunaan *spot-beams*. Spektrum maksimum pada *Ku-band* yang tersedia dapat berjumlah lebih dari 4 THz [9].

Dalam desain arsitektur *transmitter* dari *Ku-band* dibagi dalam 3 blok yaitu, modulator, *converter* frekuensi, serta *output power amplifier*. Dasar pengoperasian dari *transmitter* nya adalah sebagai berikut, data digital yang pertama kali *ter-encoded*, serta I dan Q *channel* dari data dikombinasi oleh modulator yang sama, hasil dari sinyal termodulasi dikombinasi ke frekuensi RF dengan frekuensi *up-converter block*. Kemudian, setelah beberapa kali penyaringan, sinyal yang dikonversi berubah menjadi *power amplifier* (PA), yang kemudian hasil keluaran sinyal dipancarkan melalui *antenna*. *Antenna* yang memancarkan hasil filterisasi sinyal, kemudian transmisi selesai dilakukan.

Akurasi modulasi merupakan sesuatu yang penting dalam mendesain sebuah modulator untuk frekuensi *Ku-band*. Performansi chanel modulasi dari *quadrature phase shift keying* (QPSK) membuat sistem komunikasi satelit dapat digunakan. Dalam QPSK, transmisi digital dipetakan menjadi empat fase pembawa

pemancar yang didistribusikan dalam *interval* $[0, 2\pi]$. *Phase shift keying* (PSK) atau pengiriman sinyal melalui pergeseran fase. Metoda ini merupakan suatu bentuk modulasi fase yang memungkinkan fungsi pemodulasi fase gelombang termodulasi di antara nilai-nilai diskrit yang telah ditetapkan sebelumnya.

Sinyal termodulasi yang keluar dari *transmitter* memiliki bentuk formulasi yang konstan, maka dari itu format modulasi ini disebut sebagai skema modulasi konstan. Keuntungan dalam memiliki modulasi sinyal yang konstan adalah berkurangnya sensitifitas terhadap *amplifier non-linier* daripada skema modulasi yang *fluktuatif*. Keuntungan berikutnya adalah modulasi sinyal yang konstan lebih tahan terhadap *adjacent channel interference* (ACI) karena memiliki spektrum yang lebih *compact* daripada sinyal yang tidak konstan.

Dalam proses perubahan frekuensi, kriteria desain utama yang digunakan adalah *spectral emission*. Dalam perubahan ini, penekanan pada *local oscillator* (LO) dan sinyal *sideband* merupakan hal yang harus diperhatikan untuk desain *up-converter*. Parameter untuk konversi dalam *up-converter* adalah *gain*, *noise figure*, dan penolakan sinyal yang tidak diinginkan seperti *sideband* dan *intermediate frekuensi* (IF). Konfigurasi yang paling tepat untuk *up-conversion* adalah topologi FET [10].

Regulasi yang lebih progresif pada frekuensi *Ku-band* juga mendukung penggunaan layanan interaktif dua arah seperti komunikasi suara dan data. Berada diatas frekuensi *C-band*, untuk VSAT dan *receiver* DTH harus mengantisipasi terjadinya redaman hujan. Penurunan kapasitas layanan pengguna dalam frekuensi *Ku-band* dapat diatasi dengan meningkatkan EIRP satelit. Selain itu juga perbaikan dalam modulasi dan *error section* dalam satelit membuat terminal lebih kecil dan lebih dapat menjangkau penggunaan yang lebih luas [9].

2.2.3 High Throughput Satellite

High Throughput Satellite atau yang biasa disebut dengan HTS dapat diartikan sebagai sistem satelit yang menggunakan *spot beams* dengan *cover area* yang luas untuk mendistribusikan layanan pada area-area yang *tercover* oleh *Spot-beams* tersebut. HTS memberikan pelayanan *service area* pada daerah-daerah yang *tercover* dengan *throughput* yang besar dan biaya per bit yang lebih rendah. Sebagian besar satelit di orbit yang beroperasi pada frekuensi *Ku-band* saat ini

menyediakan cakupan yang besar untuk layanan-layanan *video broadcasting*, untuk itu merupakan sebuah peluang pasar yang berkembang untuk satelit yang menyediakan layanan data *broadband* yang memanfaatkan teknologi *spot beams* pada HTS.

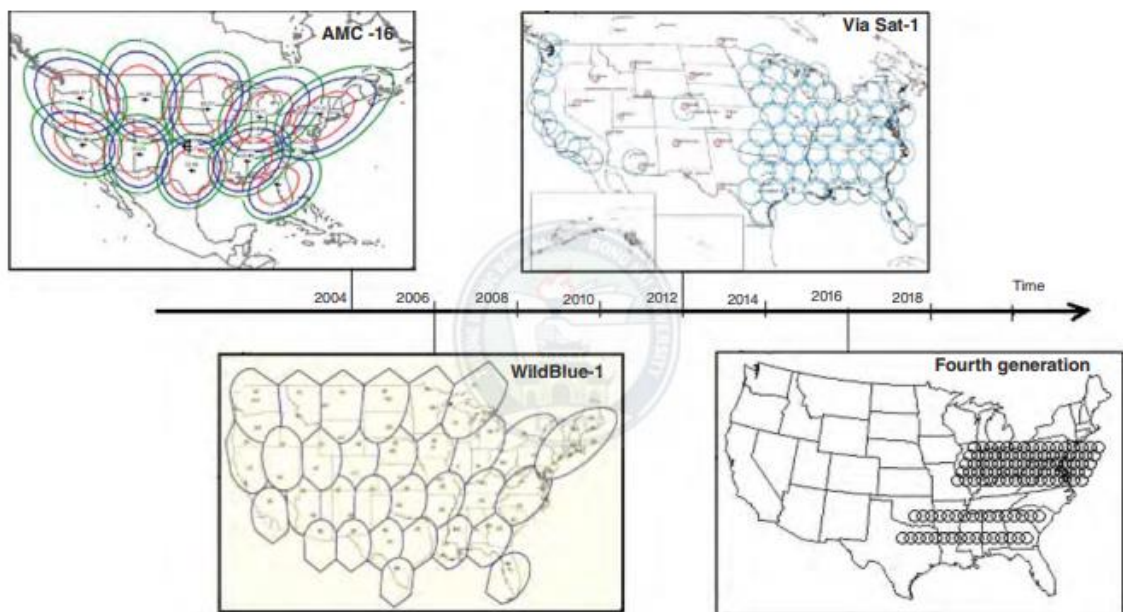
Menurut para ahli, sistem satelit dengan kapasitas tinggi dapat mentransformasikan *quality of service* (QoS) dari satelit *broadband* menjadi lebih baik. Faktanya, HTS dapat melayani *providers* untuk memberikan akses service internet dengan *data rates* dan kuota pengunggahan data perbulannya dapat mencapai bergigabyte yang umumnya bersaing dengan layanan nirkabel 4G/LTE. Pada saat ini, kemajuan implementasi dan penyebaran dari peningkatan teknologi yang secara spesifik mengenai peningkatan pada *spot-feeds* dan *spacecraft* dengan berbagai desain satelit. Kemajuan ini didasari oleh pertumbuhan permintaan akses layanan internet dari seluruh dunia, khususnya dalam lingkup mobilitas, dan dengan *availability* spektrum orbital yang diberikan oleh *Ku-band* pada batas tertentu untuk aplikasi terkait lainnya.

Satelit tradisional dapat menyediakan cakupan yang regional pada *C-band* dan *Ku-band* menggunakan satu atau keseluruhan dari *service-supporting beams*. Kebutuhan *bandwidth* yang meningkat pada DTH untuk layanan Vidio yang *High Definition* (HD), atau akses internet (termasuk dalam *streaming video*) membawa satelit ke dalam “*new solution*” yang menggabungkan *high-density* frekuensi *re-use* dan *new* frekuensi, menyebabkan berkurangnya orbit *band* yang tersumbat khususnya pada frekuensi *Ka-band* bersama dengan spektrum transponder yang lebih lebar. Satelit tradisional hanya dapat mensupport 24 *C-band* transponder (dengan spektrum 36 MHz) dan 24 *Ku-band* transponder (dengan spektrum 36 MHz), hanya memberikan total kapasitas sebesar 1.7 GHz pada 48 transponder (48x36) dalam skema geografis yang bersusunan. Diasumsikan bahwa 36 MHz transponder dapat mensupport hingga akses data 70 Mbps dengan DVB-S2, kemudian kapasitas sebesar 1.7 GHz akan mendaapat sekitar 3 Gbps dari total digital kapasitas.

Dalam aplikasinya, HTS diharapkan dapat memiliki konektivitas internet berkecepatan/*broadband* yang tinggi untuk penggunaan masyarakat umum. Para pengamat menyatakan bahwa konsumsi *bandwidth* 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 diseluruh dunia adalah sekitar 33% saat ini, yang mana menunjukkan bahwa terdapat peluang pertumbuhan bagi penyedia layanan. Satelit HTS terbaru dapat memberikan kecepatan download lebih dari 10 Mbps untuk tiap *customer*. Oleh karenanya, HTS dapat menjadi peran penting dalam beberapa tahun mendatang, sebagai infrastruktur terrestrial berkembang.

Sejak 2004, ketika HTS pertama kali beroperasi, banyak operator satelit yang meluncurkan atau menyusun rencana untuk meluncurkan HTS berbasis *Ka-band*. Dalam beberapa tahun belakangan, terdapat beberapa jenis HTS yang dapat dilihat dalam Gambar 2.1. Untuk layanan HTS secara global, riset menyatakan bahwa permintaan kapasitas HTS akan meningkat mencapai 900 Gbps atau lebih pada tahun 2022, sementara dalam segmen *Medium Earth Orbit* (MEO) HTS (MEO-HTS) permintaan kapasitas akan bertambah mencapai 100 Gbps atau lebih pada tahun 2022. Aplikasi yang dapat digunakan dengan HTS dijelaskan pada Tabel 2.2.



Gambar 2.1 Contoh Aplikasi HTS [5]

Tabel 2.2 Beberapa Aplikasi Penggunaan HTS [5]

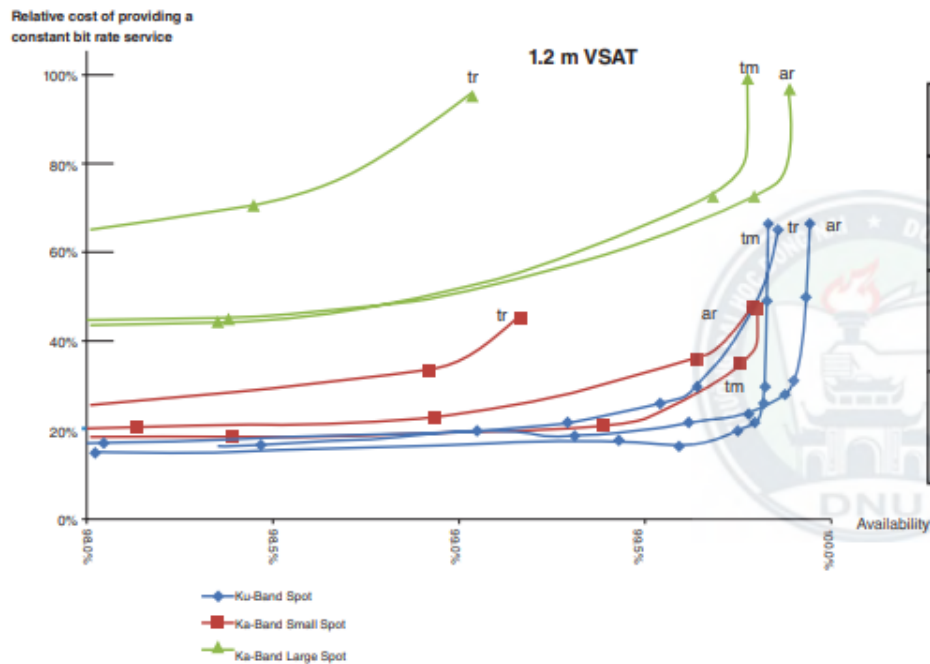
Aplikasi	Deskripsi	Consideration
Akses internet	Menyediakan akses internet berkecepatan tinggi untuk pelengkap pengguna. Berkembang pada HTS <i>Ka-band</i> multi <i>spot beams</i> yang dapat menyediakan biaya yang efektif dalam layanan <i>broadband</i> pada area yang tidak <i>terdeveloped</i> infrastruktur terrestrial.	Desain <i>beams</i> yang tepat, yaitu <i>link availability</i> yang dipertimbangkan, sebagai tambahan, hub harus di desain dengan sumberdaya (kapasitas) secara efektif.
Commercial VSAT Networking	Menyediakan servis VSAT berkualitas tinggi	Saat ini, HTS <i>Spot beams Ku-band</i> lebih baik digunakan pada aplikasi ini, dalam frekuensi <i>Ka-band</i> juga bisa digunakan di daerah berkapasitas hujan sedang. Untuk aplikasi bisnis, fitur ini akan mencakup <i>throughput bandwidth</i> yang terjamin.
Mobility	Menyediakan layanan akses internet yang dapat digunakan secara mobilitas.	Sebagai terminal <i>mobile</i> yang dapat dibawa kemana-mana dalam area <i>multiple beams</i> , dibutuhkan untuk <i>multiple</i> “hand-off” dari <i>beams</i> ke <i>beams</i> , khususnya aplikasi aeronautical
3G/4G backhauling	Menyediakan layanan trunking untuk memperluas jangkauan ke daerah pedesaan dan negara berkembang	Sistem seluler 3G dan 4G mendukung <i>lchannel rates</i> yang tinggi (10-20 Mbps untuk <i>outbound link</i> dan 5-10 Mbps untuk <i>inbound link</i> untuk 3G, dan 100 Mbps untuk <i>outbound</i> dan 50 Mbps untuk <i>inbound link</i> untuk LTE) yang mana lebih tinggi <i>bandwidth backhaul channel</i>)
Vidio Distribution	servis DTH, khususnya pada wilayah yang terpencil	<i>Link availability consideration</i>

M2M	Menyediakan cakupan <i>global traffic</i> M2M, seperti telemetry, sensor data, <i>Internet of Things</i> (IoT), dan <i>Unmanned Aerial Vehicles</i> (UAVs)	-
-----	--	---

2.2.3.1 Sistem Hts Berbasis *Ku-Band*

Hampir seluruh sistem HTS yang digunakan sampai saat ini telah dirancang untuk penggunaan secara masal dan beroperasi pada *Ka-band* dimana diameter *antenna* berskala kecil dapat menyediakan *link closure* dalam *spot beams* yang kecil. Namun, saat ini operator satelit juga mengaplikasikan HTS dengan *Spot-beams* kedalam satelit berfrekuensi *Ku-band*. Seperti yang diketahui sistem HTS sekarang berkembang pesat, operator jaringan VSAT akan mendapatkan teknologi terbaru ketika mengimplementasikan solusi yang disesuaikan dengan lingkungan aplikasi spesifik yang ada. Penggunaan *Spot-beams* dengan frekuensi *re-use* memungkinkan sistem komunikasi satelit *Ku-band* dan *Ka-band* untuk mendapatkan spektrum yang efisien dan sistem HTS di kedua *band* tersebut menggunakan transponder UWB. Pendekatan pada frekuensi *Ku-band* membuat sistem frekuensi *Ka-band* terkadang mengorbankan *link performance* (*availability*) nya untuk mendukung cakupan *spot beams* yang lebih besar, sistem *spot beams* biasanya terbatas dalam mencakup wilayah yang akan *tercover*, namun beberapa HTS menyediakan wilayah yang cukup luas untuk *spot beams* dapat *mengcover* keseluruhan daerah.

Ku-band Spot-beams dan *Ka-band Spot-beams* memiliki kesamaan dalam hal *beamwidth* dan secara umum sebanding dalam cakupan sistem. *Ka-band* dengan *Spot-beams* yang kecil hanya dapat *mengcover* sekitar 10% - 15% area yang dicakup oleh *spot beams* yang luas. Perbandingan efisiensi HTS antara *Ku-band* dan *Ka-band* dalam layanan komersial ditunjukkan Gambar 2.2 dan Tabel 2.3. Berdasarkan data dari penelitian yang menunjukkan biaya relative yang menyediakan *servis constant bit rate* (CBR) sebagai fungsi *availability*, dibawah iklim yang berbeda untuk tiga kemungkinan dari sistem HTS yaitu, *Ku-band spot-beams*, *Ka-band small spot-beams*, *Ka-band large spot-beams*.



Gambar 2.2 Perbandingan *high availability* servis CBR pada *Ku-band* dan *Ka-band* [5]

Tabel 2.3 Perbandingan Performansi Frekuensi *Ku-band* dan *Ka-band* [5]

Region	Performansi
Arid Region (daerah yang kering)	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ku-band spot beams</i> menyediakan performansi yang baik 2. <i>Ka-band small Spot-beams</i> menyediakan <i>availability</i> yang baik dalam keadaan yang lebih rendah
Temperate Region	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ku-band Spot-beams</i> menyediakan performansi yang baik 2. <i>Ka-band small Spot-beams</i> dapat beroperasi dengan <i>availability</i> sebesar 99.5%
Tropical Region (daerah tropis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Performansi <i>Ka-band</i> cenderung tidak kompetitif di daerah dengan keadaan tropis 2. <i>Ku-band Spot-beams</i> menyediakan performansi yang baik.

Dari data tersebut, dapat diasumsikan bahwa perbedaan antara HTS *Ka-band* dan HTS *Ku-band* adalah semakin berkurangnya *availability* maka biaya yang

disediakan juga semakin sedikit, dan semakin besarnya *availability* maka semakin banyak biaya yang disediakan, selain itu juga *Ka-band small spot beams* memiliki kesamaan dengan sistem *Ku-band* ketika *availability*-nya kurang dari sekitar 90%. HTS *Ku-band* memiliki keunggulan dalam hal keandalan layanan ketika melayani permintaan customer berskala tinggi. Sinyal radio pada *Ka-band* sangat terpengaruh oleh intensitas hujan dan kondisi propagasinya lebih rendah pada sinyal frekuensi, akibatnya *link Ka-band* membutuhkan *fade margin* yang lebih tinggi untuk layanan *availability*, dan HTS *Ka-band* didesain untuk menyediakan layanan pada kondisi ini [5].

2.2.3.2 Dasar Infrastruktur Sistem HTS

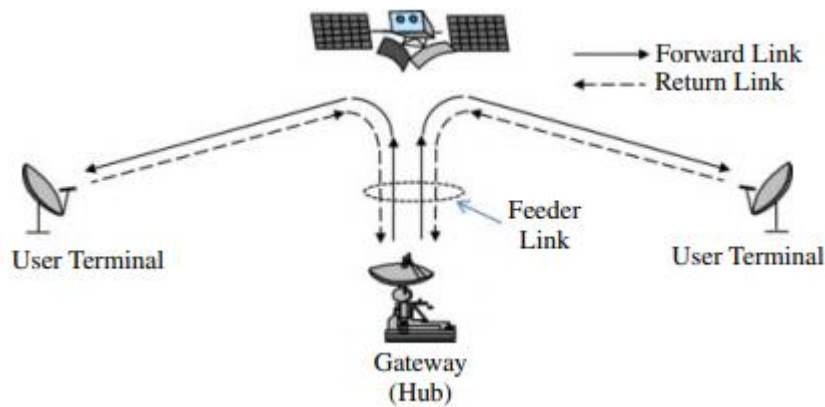
Jaringan HTS memiliki beberapa faktor perbedaan dengan satelit tradisional lainnya antara lain : 1) memiliki kapasitas *bandwidth* yang besar pada tiap *beams* nya, yang terkait dengan *data rates* yang tinggi, 2) terminal pengguna beroperasi pada kecepatan data yang jauh lebih besar, 3) *terminal feeder link* mensupport *multiple spot-beams*, 4) teknik mitigasi penyebaran gelombang energi radio untuk pencegahan gangguan hujan, khususnya pada frekuensi *Ka-band*. Tiap faktor akan berdampak pada desain dan performa dari elemen jaringan pada dasar infrastruktur jaringan HTS, dengan terminal pengguna dan terminal *feeder link* (atau biasa disebut dengan *gateways*) *throughput* dari area *multi-beams*.

Jaringan HTS beroperasi dengan dua dasar topologi dari jaringan satelit yang tidak menggunakan *antenna multi-beams* dalam jumlah besar. Jika jaringan HTS menggunakan *gateways*, lokasi satelit akan terintegrasi ke dalam struktur *multi-beams* untuk melayani beberapa *beams* dengan total kapasitas yang diizinkan. Dua jenis topologi dasar dari jaringan satelit adalah, topologi jaringan STAR dan, topologi jaringan MESH.

2.2.3.3 Topologi Jaringan STAR

Topologi jaringan STAR menyediakan dua jalur data komunikasi (duplex) antara terminal pengguna dengan *gateway* atau terminal hub. Pada Gambar 2.3 menunjukkan konfigurasi dari jaringan tradisional topologi satelit STAR untuk dua terminal pengguna dalam satu jaringan. Transmisi antara dua terminal pengguna harus melewati *gateway*. *Link* yang keluar dari *gateway* ke terminal pengguna adalah *forward link*, dan *link* yang menuju ke *gateway* adalah *return link*. *Link* yang

keluar dari maupun masuk ke *gateway* disebut dengan *feeder link* jaringan. Topologi STAR tidak menyediakan transmisi secara langsung dari pengguna ke pengguna, transmisinya membutuhkan *double hop* melalui satelit untuk saling menghubungkan.



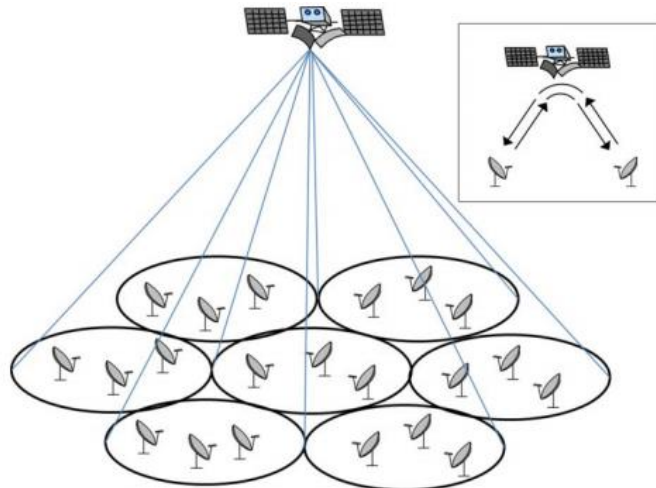
Gambar 2.3 Topologi Jaringan STAR [6]

Layanan dan aplikasi yang mendapatkan keuntungan dari konektivitas topologi STAR adalah :

1. Akses internet *broadband*,
2. *Streaming* dan *webcasting*,
3. Servis DTH,
4. Servis layanan komunikasi.

2.2.3.4 Topologi Jaringan MESH

Topologi jaringan satelit yang kedua yaitu topologi jaringan MESH, dimana tiap terminal pengguna dapat berkomunikasi secara langsung melalui satelit. Tidak dibutuhkan *gateway* dalam topologi ini untuk berkomunikasi antar terminal pengguna. Gambar 2.4 menunjukkan konfigurasi dari topologi MESH untuk jaringan dari terminal pengguna yang beroperasi menggunakan *multiple-beams antenna*. Konfigurasi MESH menyediakan transmisi layanan *single hop* untuk terminal pengguna ke pengguna. Dalam prosesnya konfigurasi MESH mengizinkan tiap *user* yang berada dalam *beams* yang sama untuk saling berkomunikasi dengan sesama *beams* atau dengan *beams* lain yang masih dalam jangkauan satu *arrays*. Terminal pengguna pada jaringan MESH memiliki beberapa kelebihan dari topologi STAR diantaranya adalah memiliki *antenna* yang lebih besar, memiliki EIRP dan G/T yang lebih baik [6].



Gambar 2.4 Topologi Jaringan MESH [6]

Layanan yang menggunakan topologi jaringan MESH antara lain :

1. Keamanan jaringan dan VPN (*Virtual Private Network*),
2. M-to-M (*Machine to Machine*) *supervisory control* dan transfer data,
3. Pembelajaran jarak jauh dan jaringan perawatan kesehatan jarak jauh.

2.2.4 *Spot Beams*

Perpindahan komunikasi satelit ke generasi HTS menyediakan peningkatan kapasitas penanganan data dan *throughput* yang signifikan untuk semua komunikasi satelit utama, FSS, BSS, dan MSS. Penambahan mendasar pada arsitektur dari HTS dibandingkan dengan generasi sebelumnya adalah digunakannya sistem antena *Spot-beams* untuk menyediakan cakupan yang luas ke semua servis area. Penggunaan *beams* dengan diameter *footprints* sebesar 100 – 250 Km, membawa dua keuntungan kedalam jaringan satelit, yang pertama adalah penggunaan frekuensi *re-use* dan yang kedua adalah lebih tingginya EIRP pada sisi *transmit* dan lebih tingginya G/T pada sisi *receiver*.

Frekuensi *re-use* pada *Spot-beams* digunakan untuk *cover* area layanan yang diizinkan pada beberapa *beams* untuk menggunakan kembali *band* frekuensi yang sama, hasilnya adalah peningkatan kapasitas sistem yang diberikan untuk alokasi *band* frekuensi. Semakin sempit *beams antenna*, menyediakan sistem *beams* yang menghasilkan nilai transmisi dan penerimaan *antenna* yang lebih tinggi pada satelit *link*, hasil yang lebih tinggi untuk *beams* yang lebar dapat mencakup jaringan yang lebih luas. Hal ini dinyatakan dalam *effective radiated power* (EIRP)

pada sisi transmit yang tinggi dan G/T pada sisi *receiver* yang tinggi. *Link performance* yang baik juga memungkinkan untuk mengizinkan jaringan beroperasi dengan level *interference* yang tinggi dari jaringan atau sumber daya yang lain [6].

Sistem HTS dapat diklasifikasikan menjadi sistem *Ka-band small spot beams*, sistem *Ka-band large spot beams*, sistem *Ku-band spot beams*. Untuk mendapatkan tingkat frekuensi *re-use* yang lebih tinggi, wilayah yang lebih luas tidak dapat lagi *tercover* hanya dengan *large single beams*, tetapi menggunakan tambahan sedikit *overlapping* untuk *gain* yang tinggi pada *Spot-beams* (menggunakan *dual-hop* dari *gateway* untuk komunikasi antar pengguna). Sebagai hasilnya, biaya dari pengiriman data per bit untuk HTS secara signifikan lebih rendah dari optimisasi satelit untuk *broadcast* yang lebih besar cakupannya. Masing-masing *spot beams* menggunakan frekuensi yang tersedia (*and/or* polarisasi), sehingga *single* HTS *spacecraft* dapat menyediakan kapasitas hingga sekitar 10 kali lebih besar dari satelit tradisional. Muatan HTS memiliki besaran 5 – 10 GHz dari total keseluruhan transponder *bandwidth* untuk mendukung *throughput* gabungan.

Teknik *beams-forming* lebih canggih digunakan daripada teknik *static arrangements*, dimana *multiple feed horn* diberikan daya melalui sinyal yang dibangun pada sebuah jaringan, yang biasa disebut dengan *beams-forming network* (BFN). Secara spesifik, ada dua buah implementasi yang dapat digunakan pada *antenna* satelit HTS yaitu, *Single Feed per Beams* (SFB), dan *Multiple Feed per Beams* (MFB). Pada Gambar 2.5 mengilustrasikan beberapa *footprint* dari *spot beams*, dengan penurunan EIRP karena pembelokan pada *antenna* melalui satelit, dalam beberapa kasus pembelokan ini dapat ditangani, namun tidak semua satelit dapat melakukan hal tersebut [5].



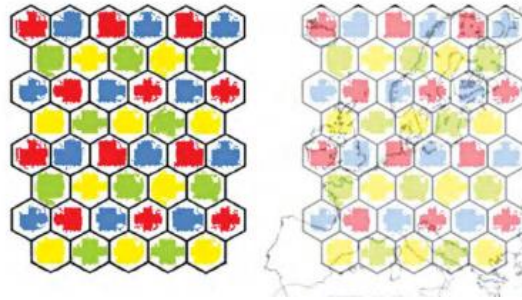
Gambar 2.5 footprint spot beams pada sistem HTS [5]

2.2.4.1 Warna Frekuensi

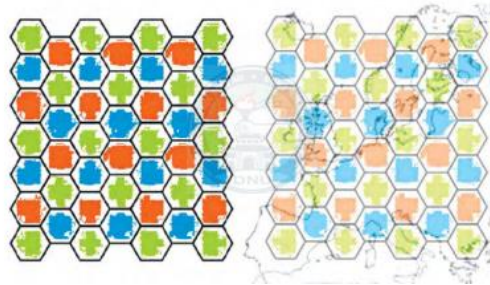
HTS memiliki beberapa buah *beams* yang menggunakan frekuensi *re-use*, konsep penggunaan frekuensi *re-use* sebagian mirip dengan konsep telpon seluler small-cell. *Beams* dapat diatur menjadi sebuah “sarang lebah” untuk menyediakan servis pada area yang tercakup. Perbedaan frekuensi dan perbedaan polarisasi dapat digunakan diantara *beams* yang bersebelahan. Sebagai contoh, *beams* dapat menggunakan sistem $f_1 = \text{first quarter bandwidth}$, $f_2 = \text{second quarter bandwidth}$, $f_3 = \text{third quarter bandwidth}$, $f_4 = \text{fourth quarter bandwidth}$. Atau dapat menggunakan sistem $f_1 = \text{first half quarter bandwidth}$ dan *right-hand* polarisasi *circular*, $f_2 = \text{second half quarter bandwidth}$ dan *right-hand* polarisasi *circular*, $f_3 = \text{third quarter bandwidth}$ dan *left-hand* polarisasi *circular*, $f_4 = \text{fourth quarter bandwidth}$ dan *left-hand* polarisasi *circular*. Frekuensi *re-use* yang lain dapat menggunakan skema yang menyesuaikan pada basis spektrum yang tersedia dan jumlah spektrum yang diberikan pada masing-masing area.

Spot yang bersebelahan memiliki warna yang berbeda, perbedaan warna dalam frekuensi atau polarisasi. Oleh karena itu, tiap *beams* dapat mendukung transmisi dari sinyal informasi yang berbeda tanpa terjadi gangguan antara satu dengan yang lain. *Spot beams* dengan warna yang sama menggunakan frekuensi dan polarisasi yang sama, tetapi warna yang sama terisolasi secara spasial antara satu dengan yang lain, *spot* yang memiliki warna sama dapat mendukung transfer data dari informasi yang berbeda. Pada banyak kasus, sistem empat warna banyak

digunakan diantara sistem kapasitas dan performansi, beberapa sistem HTS mengoptimisasi kapasitas total dengan mengorbankan cakupan area yang luas. Sebagai contoh *beams* dengan *bandwidth* sebesar 500 MHz akan dibagi menjadi dua, yang nantinya akan menghasilkan empat buah warna (berdasarkan polarisasi). Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 menunjukkan contoh sistem *spot beams* dengan jumlah *beams* sebanyak 48, yang dibagi menjadi empat warna dan tiga warna.



Gambar 2.6 Skema *spot beams* dengan 4 warna [5]



Gambar 2.7 Skema *spot beams* dengan 3 warna [5]

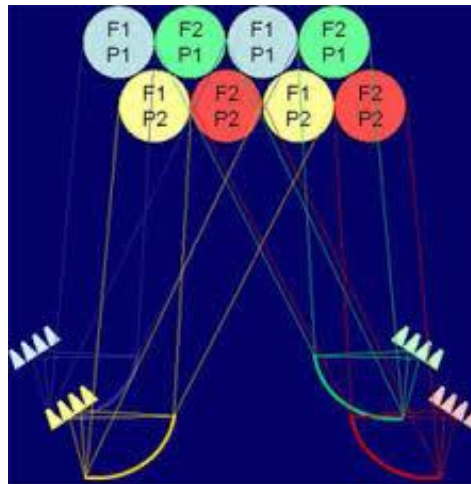
faktor frekuensi *re-use* dari *antenna spot beams* adalah nomor dari *spot* yang dapat mendukung pembagian nomor berdasarkan warna. Karena terjadinya penumpukan *beams* dan berbagai gangguan teknis lainnya, faktor frekuensi *re-use* sebenarnya dapat berkurang hingga 50 – 70% dari nilai teoritis. HTS dengan 48 *spot beams* dengan skema empat warna memiliki faktor frekuensi *re-use* sebanyak 12, tetapi karena pertimbangan praktis maka yang digunakan hanya sebanyak 8. Skema tiga warna pada HTS dengan 48 *spot beams* memiliki faktor frekuensi *re-use* sebanyak 16. *Spot beams* pada HTS biasanya memiliki *beamwidth* sebesar 3 dB dengan diameter biasanya diantara 0.4° dan 1.5° [5].

2.2.4.2 Single Feed Per Beams (SFB)

SFB didesain menggunakan satu buah *feed horn* untuk tiap *spot* nya, implementasi SFB dapat digunakan dengan perangkat keras yang lebih sederhana dan menggunakan pemanfaatan listrik yang lebih baik dari MFB, hal tersebut dapat

terjadi dengan mengorbankan peningkatan jumlah dari bukaan *reflector*. Untuk menyediakan *spot* yang bersusunan, beberapa bukaan *reflector* (biasanya empat buah) diizinkan untuk digunakan. Penumpukan *spot beams* diperlukan untuk menghindari jarak yang terjadi pada cakupan area *ground*.

Penumpukan SFB didapatkan menggunakan *reflector* tunggal yang besar, atau dengan *passive and/or active lenses*. Desain SFB biasa digunakan untuk mendapatkan penumpukan yang sesungguhnya menggunakan sebuah *reflector antenna*, satu *reflector* digunakan untuk memancarkan satu warna frekuensi, tiap bukaan *reflector* menghasilkan satu warna yang dipancarkan dan tidak bersusunan seperti Gambar 2.8. Dibutuhkan delapan buah *reflector* untuk satu SFB, empat buah *reflector* untuk *transmitter* (Tx) dan empat buah lagi untuk *receiver* (Rx). SFB juga dapat menggunakan hanya dengan empat buah *reflector* yang menjadi Tx/Rx secara sekaligus. Secara spesifik, karena diameter *reflector* ditentukan berdasarkan frekuensi *transmitter*, maka *reflector* akan sangat besar nantinya ketika digunakan sebagai frekuensi *receiver*.

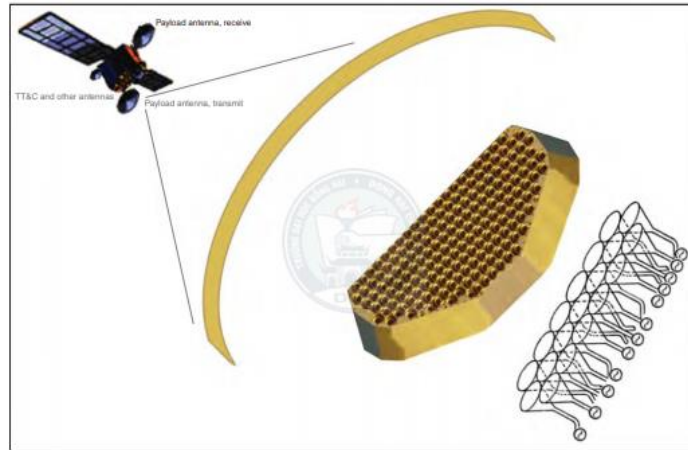


Gambar 2.8 Reflektor pada *Single Feed per Beams* [5]

2.2.4.3 Multiple Feed Per Beams (MFB)

MFB menghasilkan *beams* menggunakan *arrays* dengan *horn* yang lebih kecil dan dengan konsep BFN. *Beams* yang berdekatan akan saling berbagi *horn* karena adanya penumpukan pada lubang *feed*, susunan *spot* pada *ground* didapat menggunakan hanya dengan satu lubang *reflector*. Pada area yang lebih luas, beberapa fasa dan sekrup harus didesain dan di akomodasi dalam layer yang

berbeda pada BFN. Pemisahan *antenna* dibutuhkan pada *transmitter* dan *receiver*, agar diameter pada *reflector* dapat berukuran optimal untuk frekuensi dan diameter *spot*. Keuntungan dalam penggunaan desain MFB adalah hanya memerlukan dua buah *reflector* untuk desain yang kompleks sekalipun, satu untuk *transmitter* (Tx) dan satu untuk *receiver* (Rx) [6].



Gambar 2.9 Reflektor pada *Multiple Feed per Beams* [5]

2.2.4.4 Total *Bandwidth* Yang Tersedia

Mempertimbangkan ketersediaan *bandwidth* yang ada pada jaringan satelit dari total *beams* array. Untuk mengoperasikan *array* menggunakan dual polarisasi pada tiap *beams* nya, dan alokasi total *bandwidth* (b_a), maka total *bandwidth* yang tersedia (b_{TOT}) dari *beams array* dipersamakan menjadi [6] :

$$b_{TOT} = N_B \times \left(\frac{2b_a}{N} \right) \quad (2.1)$$

Dimana,

N_B = Total *beams* yang tersedia dalam *array* satelit

N = Jumlah warna yang tersedia

b_a = *Bandwidth* yang dialokasikan untuk satu jaringan satelit, dalam MHz

2.2.4.5 Frekuensi *Re-Use*

Frekuensi *re-use* (F_R) untuk *array* satelit dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$F_R = \frac{b_{TOT}}{b_a} = \frac{2N_B}{N} \quad (2.2)$$

Dimana,

- F_R = Frekuensi *Re-use*
 N_B = Total *beams* yang tersedia dalam *array* satelit
 b_a = *Bandwidth* yang dialokasikan untuk satu jaringan satelit, dalam MHz
 N = Jumlah warna yang tersedia
 b_{TOT} = Total *Bandwidth* yang tersedia

Jika tidak terjadi perbedaan pada polarisasi, faktor 2 pada persamaan (2.1) tidak digunakan [6].

2.2.4.6 *Bandwidth Dan Capacity Yang Digunakan*

Beberapa perhitungan penunjang untuk mengetahui kapasitas (*capacity*) yang di ambil dan digunakan oleh Stasiun Pengendali Utama (SPU) pada satu *beams* satelit, menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_{terpakai} = \text{inroute capacity} + \text{outroute capacity (MHz)} \quad (2.3)$$

Dimana ,

Inroute *capacity* = *Bandwidth* dari *remote* – hub

Outroute *capacity* = *Bandwidth* dari hub – *remote*

$B_{terpakai}$ = Total *bandwidth* yang terpakai

Untuk mengetahui seberapa besar *carrier* yang dibawa dalam satu transponder, maka dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini [11]:

$$\text{Jumlah Carrier} = \frac{BW_{xpndr}}{B_{All}} \quad (2.4)$$

Sedangkan untuk presentase *bandwidth* yang terpakai dalam sebuah *beams* dapat di rumuskan dengan persamaan berikut [11]:

$$\% \left(\frac{\text{Bandwidth}}{\text{Carrier}} \right) = \left(\frac{B_{terpakai}}{B_{xpdr}} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

Salah satu kriteria performansi dari *link* radio frekuensi (RF) adalah kemampuan dalam mengirimkan informasi untuk *bandwidth* tertentu, yang di definisikan dalam satuan bps/Hz. Semakin efisien sistemnya, semakin baik bit data yang ditransmisikan dalam sebuah *bandwidth*. Kapasitas sebuah transmisi media pada *link* radio frekuensi, berdasarkan teorema shannon-hartley yang similar dengan *signal-to-noise power rasio* (S/N) dirumuskan dengan persamaan berikut ini [12]:

$$C = B_{terpakai} \log_2(1 + S/N) \quad (2.6)$$

Dimana,

Berdasarkan penggunaan *link budget* satelit dengan jenis frekuensi menengah dan menggunakan sinyal *baseband*, maka penggunaan S/N dapat diubah kedalam *carrier-to-noise power ratio* atau C/N. Maka untuk mengetahui *capacity* dari sebuah satelit HTS dapat menggunakan persamaan [2] :

$$C = B_{\text{terpakai}} \log_2(1 + C/N) \quad (2.7)$$

B_{terpakai} = Total *bandwidth* yang terpakai (MHz)

B_{xpdr} = Bandwidth Transponder

B_{All} = Bandwidth Allocation

S/N = *Signal-to-noise power ratio*

C/N = *Carrier-to-noise ratio*

2.2.4.7 Pengukuran Nilai Power

Besarnya *power* pada suatu *carrier* dapat ditentukan dengan perhitungan *link* yang beroperasi. Perhitungan *link* nantinya akan memperlihatkan berapa besar kapasitas *power* tersedia yang dibutuhkan untuk *carrier*. Desain yang paling baik jika kapasitas *bandwidth* mendekati nilai kapasitas *power*. Perhitungan *power* untuk satu transponder dapat ditentukan dengan persamaan berikut [11]:

$$P_{W_{\text{tersedia}}} = 10^{\frac{EIRP_{\text{saturasi-OBO}}}{10}} \quad (2.8)$$

Jumlah *power* terpakai untuk sebuah transponder yang digunakan, dapat ditentukan dengan persamaan berikut [11] :

$$P_{W_{\text{terpakai}}} = 10^{\frac{EIRP_{\text{sat/beam}}}{10}} \quad (2.9)$$

Berdasarkan jumlah *power* yang terpakai dan *power* yang disediakan, maka presentase penggunaan *power* pada tiap-tiap *carrier*-nya dapat ditentukan dengan persamaan berikut [11]:

$$\% \left(\frac{\text{power}}{\text{carrier}} \right) = \left(\frac{P_{W_{\text{terpakai}}}}{P_{W_{\text{tersedia}}}} \right) \times 100\% \quad (2.10)$$

2.2.4.8 Availability

Availability merupakan sebuah presentase dari waktu service yang mengacu pada berjalannya spesifikasi sistem satelit [12]. *Availability* adalah waktu satelit mengalami downtime atau terjadi sebuah gangguan. Dalam sebuah sistem satelit,

lama waktu terjadinya gangguan ditentukan berdasarkan besaran *availability* nya. *Availability* dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut [13] :

$$Availability = (100 - unavailability) \% \quad (2.11)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari *unavailability* dalam sebuah sistem satelit dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [13]:

$$unavailability = \frac{unavailable\ time}{required\ time} \times 100\% \quad (2.12)$$

2.2.5 Perhitungan *Link Budget* Satelit

Perhitungan *link budget* pada satelit sebenarnya adalah jumlah *loss* antara *transmitter* dan *receiver*, begitu juga sebaliknya, itu sebabnya *link budget* satelit tidak jauh dari mencari nilai *uplink* (*transmitter* pengguna dan *receiver* satelit) dan *downlink* (*transmitter* satelit dan *receiver* pengguna). *Loss* adalah pengurangan dari jumlah komponen yang ada pada *gain* satelit. Hasil yang didapat harus diatas level kritis agar kinerja dari satelit dapat mencapai fungsi yang sesuai, dalam hal ini salah satunya dalam *signal-to-noise* (S/N), *signal-to-interference* (S/I), atau yang lebih kompleks seperti *signal-to-noise and interference ratio* (S(N+I)).

Pada sistem satelit, *effective isotropic radiated power* (EIRP) merupakan level daya yang dipancarkan setelah *gain* dan *loss* antara *transmitter output* dan elemen radiasi *antenna* didapatkan. *Gain* yang dimaksud merupakan *gain* dari *receiver* dan *transmitter antenna*. Karena *antenna* bersifat timbal balik, *gain* yang sama berlaku untuk transmisi satelit dan *receiver antenna* pada *link budget*, sama halnya dengan perangkat *transmitter* dan *receiver antenna* dari *link budget*, kecuali terdapat perbedaan frekuensi antara *receiver* dan *transmitter*. Semakin besar *antenna*, maka semakin besar *gain* nya.

G/T merupakan kualitas dari *transmitter* dalam tingkat *noise level*. G/T dihitung dari total *gain* G pada *transmitter* (termasuk amplifier, dan komponen lain dalam *antenna*) dibagi dengan total *noise* yang ada pada arah *uplink*. *Latitude* dan *longitude* merupakan lokasi dari perangkat terminal pengguna pada permukaan bumi. *Longitude* dan *latitude* dinyatakan dalam derajat. Satelit biasanya berlokasi diatas garis ekuator pada *latitude* 0°, hanya *longitude* yang cukup untuk mengidentifikasi lokasi satelit.

Elevasi merupakan posisi sudut kemiringan satelit diukur dari *antenna* yang berada pada stasiun bumi. Sedangkan azimuth merupakan sudut antara 0 dan 360°

antara magnet utara bumi yang langsung mengarah ke satelit, namun titik azimuth ditentukan tergantung dengan lokasi stasiun bumi dengan mengambil titik acuan pada titik subsatelit. Sinyal path loss merupakan atenuasi antara *radiating power* pada *transmitter antenna* untuk menggabungkan ke daya *receiver* pada *receiver antenna*. Atenuasi dapat di estimasikan dengan memanfaatkan beberapa model prediksi path loss, path loss dapat dirumuskan dengan [14] :

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi Df}{c}\right)^2 \quad (2.13)$$

Dimana,

- L_{FS} = Free space loss
- D = Slant Range (m)
- λ = Panjang gelombang sinyal (m)
- f = Frekuensi sinyal (Hz)
- c = Kecepatan cahaya ($2,997925 \times 10^8$ m/s)

2.2.6 Sudut Elevasi Dan Azimuth

Sudut elevasi yang diukur dari stasiun bumi ke satelit (θ), dapat dicari menggunakan persamaan [4] :

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{r_e + h_{GSO}}{d} \sqrt{1 - \cos^2(B) \cos^2(L_E)} \right) \quad (2.14)$$

Besarnya sudut elevasi dilihat dari posisi VSAT dapat diketahui dengan persamaan [15],

$$E = \tan^{-1} \left[\frac{\cos l \cdot \cos L - 0,151}{\sqrt{1 - (\cos l \cdot \cos L)^2}} \right] \quad (2.15)$$

Dimana,

- r_e = Jari-jari Bumi (6378.14 Km)
- r_s = Jari-jari orbit geostasiuner (42164.17 km)
- h_{GSO} = Orbit satelit Geostationer (35786 Km)
- D = Slant range satelit
- B = Selisih *longitude* (dalam derajat)
- L_E = *Latitude* stasiun Bumi (dalam derajat)
- l = *Latitude* of VSAT (dalam derajat)
- L = Selisih *longitude* dari satelit dan VSAT (dalam derajat)
- E = Sudut elevasi dilihat dari posisi VSAT (dalam derajat)

Sudut elevasi sangat penting karena ini menentukan posisi kemiringan satelit dari bumi, dan parameter penting dalam penentuan degradasi atmosfer seperti *rain attenuation* dan, *gaseous attenuation*. Selain sudut elevasi, hal penting lain yang harus diketahui adalah sudut azimuth dari stasiun bumi ke satelit, sebelum menentukan sudut azimuth, pertama adalah menentukan sudut positif (A_i) yang didapat dari persamaan [4],

$$A_i = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(|B|)}{\sin(|\beta|)} \right) \quad (2.16)$$

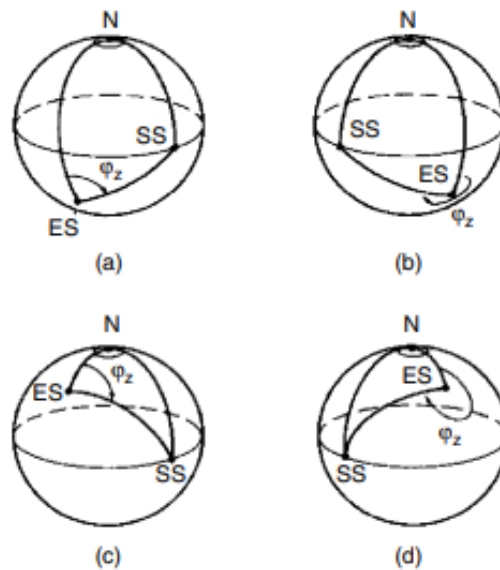
Dimana $|B|$ merupakan nilai mutlak dari selisih antara *longitude* stasiun bumi dan *longitude* satelit,

$$|B| = |l_E - l_s| \quad (2.17)$$

Dan,

$$\beta = \cos^{-1} [\cos(B) \cos(L_E)] \quad (2.18)$$

posisi sudut azimuth (φ_z) dapat ditentukan berdasarkan posisi letak stasiun bumi, ketentuannya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Ketentuan kondisi sudut Azimuth

Gambar 2.10 merupakan posisi satelit untuk menentukan sudut azimuth yang dicari menggunakan titik positif. Adapun penentuan besarnya sudut azimuth dapat diketahui dari Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Ketentuan kondisi sudut azimuth

Kondisi	$\phi_z =$	Gambar 2.10
Stasiun bumi berada di barat satelit, sebelah selatan khatulistiwa	A_i	(a)
Stasiun bumi berada di timur satelit, sebelah selatan khatulistiwa	$360 - A_i$	(b)
Stasiun bumi berada di barat satelit, sebelah utara khatulistiwa	$180 - A_i$	(c)
Stasiun bumi berada di timur satelit, sebelah utara khatulistiwa	$180 + A_i$	(d)

2.2.7 Menentukan Daerah Kemiringan (*Slant Range*) Stasiun Bumi Dengan Satelit

Daerah kemiringan (*slant range*) antara stasiun bumi dengan satelit adalah jarak sebenarnya yang diukur dari stasiun bumi ditarik garis lurus menuju posisi satelit diatas, menentukan nilai slant range menggunakan persamaan sebagai berikut [15] :

$$D = \sqrt{h^2 + 2R_E(R_E + h)(1 - \cos\phi_G \cos\Delta\lambda)} \quad (2.19)$$

Dimana,

- h = Orbit satelit Geostasiun (35786 Km)
- R_e = Jari-jari Bumi (6378 Km)
- $\cos\phi$ = Selisih *longitude* stasiun Bumi dengan satelit
- $\cos\Delta$ = Nilai *latitude* dari stasiun Bumi
- D = *Slant Range*

2.2.8 Gain, Beamwidth, Dan Daya Eirp

Komponen terpenting dalam menentukan *link budget* adalah EIRP, G/T, *gain antenna* pada stasiun bumi, frekuensi dan interferensi. Dasar dari *gain antenna* (G) dapat dihitung menggunakan persamaan [4]:

$$G = \eta \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 = \eta \left(\frac{\pi d f}{c}\right)^2 \quad (2.20)$$

Atau dalam dBi dapat menggunakan persamaan [15] :

$$G_{max} = 10 \log \eta \left(\frac{\pi df}{c} \right)^2 \text{ dBi} \quad (2.21)$$

Dimana pada persamaan ini,

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f = Frekuensi (Hz)

η = Efisiensi *antenna* (%)

d = Diameter *antenna* (m)

G_{max} = *Gain* maximum dalam dBi

Selanjutnya adalah pencarian *beamwidth* pada *antenna* (θ). *Beamwidth* atau lebar berkas *antenna* yang merupakan penguatan pada posisi sudut sesuai pengarahannya dimana *gain* akan bernilai setengah dari nilai maksimumnya. Semakin besar diameternya maka nilai *beamwidth*nya akan semakin kecil, artinya berkas sinyal yang dipancarkan akan semakin koheren [15]. Untuk atenuasi *beams* diatas 3dB, *beamwidth* dapat dicari menggunakan persamaan [4] :

$$\theta = 70 \left(\frac{c}{df} \right) \text{ (Derajat)} \quad (2.22)$$

Daya E IRP merupakan level daya dari proses transmitting *antenna*, yang mana hasilnya adalah nilai pasti daya yang keluar dari *transmitter* (P_{HPA}) dan *gain antenna* (G_t) dikurangi dengan total *loss* (L_{cc}). Daya EIRP dapat dihitung menggunakan persamaan [15] :

$$EIRP = P_{HPA} - L_{cc} + G_t \quad (2.23)$$

ITU menspesifikasikan batasan-batasan nilai pada EIRP (ITU-RS.524-7). Mempertimbangkan massa jenis EIRP (per 40 KHz) dari pengoperasian pada stasiun Bumi dalam FSS *Ku-band*. EIRP tidak boleh melebihi jumlah yang telah ditentukan dalam Tabel 2.5 [16].

Tabel 2.5 Limit pada EIRP [8]

<i>Beamwidth</i>	Maksimum EIRP (dBW/40 kHz)
$2.5^\circ \leq \theta \leq 7^\circ$	$39 - 25 \log \theta$
$7^\circ < \theta \leq 9.2^\circ$	18
$9.2^\circ < \theta \leq 48^\circ$	$42 - 25 \log \theta$
$48^\circ < \theta \leq 180^\circ$	0

2.2.9 G/T (*Figure Of Merite*)

Gain to noise temperature ratio (G/T) merupakan ukuran penampilan baik-buruknya (*performance*) sistem penerimaan pada suatu SB. Secara matematik, G/T dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [15] :

$$G/T = G_{antena} - 10 \log T (dB/^\circ K) \quad (2.24)$$

Semakin besar G/T, berarti semakin sensitif dan semakin baik kualitas penerimaannya. Untuk mendapatkan harga G/T yang besar dapat dilakukan dengan cara :

1. Memperbesar penguatan *antenna*.
2. Menggunakan penerima dengan *temperature* derau yang rendah (semakin kecil *temperature* LNA, semakin baik mutu penerimaannya) [15].

2.2.10 Penghitungan Sisi Uplink

Daya *carrier uplink* adalah daya yang diterima oleh *antenna* pada satelit, setelah daya *carrier* yang dikirim stasiun Bumi mengalami redaman-redaman pada saat *uplink*. Nilai daya *carrier uplink* dapat dicari dengan menggunakan persamaan [15] :

$$C_u = EIRP - L + 20 \log \left(\frac{4\pi f_u D_u}{c} \right) + G_u \quad (2.25)$$

Dimana,

EIRP	=	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i> (dBW)
L	=	<i>Loss tracking + atmosphere attenuation</i> (1,2 – 1,5 dB)
c	=	Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)
f_u	=	Frekuensi <i>uplink</i> (Hz)
D_u	=	<i>Slant range uplink</i> (m)
G_u	=	Penguatan <i>antenna</i> satelit (dBi)
C_u	=	<i>Carrier Uplink</i> (dBW)

Carrier to noise ratio (C/N) *uplink* merupakan nilai perbandingan antara *carrier* yang diterima dengan sinyal *noise* yang dihasilkan dalam suatu *link*. Persamaan *uplink* untuk transmisi ke satelit dapat ditulis secara langsung dengan mensubstitusi nilai-nilai parameter sistem komunikasi satelit [15]. C/N *uplink* dapat ditentukan berdasarkan persamaan [4] :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{UL} = (EIRP)_{UL} - (L_{FS})_{UL} + (G/T)_{sat} - k - B \quad (2.26)$$

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

B = *Noise Bandwidth* (Hz)

2.2.11 Perhitungan Sisi Downlink

Carrier to noise ratio downlink merupakan perhitungan perbandingan daya *carrier* dengan *noise* dari sisi *antenna* pemancar satelit di sisi *space segment*, dengan *user* yang berada di *ground segment* [15]. Kalkulasi *downlink* bisa diperoleh dengan mensubstitusi nilai-nilai parameter ke dalam persamaan dasar *link* [4] :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DL} = (EIRP)_{SAT} - (L_{FS})_{DL} + (G/T)_{SB} - k - B \quad (2.27)$$

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

B = *Noise Bandwidth* (Hz)

2.2.12 C/N Total, Eb/No, Dan Bit Error Rate (BER)

Nilai dari C/N total merupakan penjumlahan dari C/N *Uplink* dan C/N *downlink* dengan menggunakan rumus sebagai berikut [15] :

$$C/N_T = 10 \log \left((C/N_{UL})^{-1} + (C/N_{DL})^{-1} \right)^{-1} \quad (2.28)$$

Perhitungan dari *bit energy* (Eb) dengan *noise power density* (No) digunakan untuk mengevaluasi performansi, Eb/No dapat ditentukan menggunakan persamaan [4] :

$$\frac{E_b}{N_0} = \left(\frac{C}{N}\right)_T + \frac{Bw}{R_i} \quad (2.29)$$

Dimana,

C/N_T = *Carrier to noise ratio* total

Bw = *Bandwidth* (Hz)

R_i = *Information rate* (b/s)

Sebagai perbandingan jumlah bit informasi yang terdapat error dengan total keseluruhan jumlah bit informasi yang ditransmisikan, dinyatakan dalam daya yang bernilai 10 sampai dengan negatif. Nilai BER yang tinggi berarti terjadi adanya keterlambatan data *rate* terhadap waktu keseluruhan transmisi data. BER dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$BER = \frac{e^{-\frac{E_b}{N_o}}}{\sqrt{4\pi\frac{E_b}{N_o}}} \quad (2.30)$$