



Komunikasi Data & Satelit Militer

Segmen Luar Angkasa

by : Bagus Hendra Saputra, S. T.,M. T.

RUANG LINGKUP

1. Pendahuluan Segmen Luar Angkasa
2. Komponen Utama Segmen Luar Angkasa
3. Mekanisme Kerja Segmen Luar Angkasa
4. Tantangan dan Aplikasi Segmen Luar Angkasa



1. Pendahuluan

Segmen Luar Angkasa adalah komponen dari sistem komunikasi satelit yang berada di luar atmosfer bumi, mencakup satelit di orbit dan perangkat pendukungnya. Segmen ini menjadi perantara utama dalam pengiriman dan penerimaan data antara segmen bumi (stasiun bumi) dan perangkat komunikasi lain, baik di bumi maupun di luar angkasa.

1.1 Fungsi Utama Segmen Luar Angkasa

Segmen luar angkasa memiliki berbagai fungsi penting yang mendukung komunikasi global dan eksplorasi antariksa:

1. **Mendukung Komunikasi Global:**
 - Memfasilitasi komunikasi antar benua melalui satelit komunikasi, seperti siaran televisi, panggilan internasional, dan internet satelit.
 - Contoh: Layanan internet berbasis satelit seperti Starlink.
2. **Mendukung Sistem Navigasi:**
 - Satelit navigasi, seperti GPS (Global Positioning System) dan GLONASS, membantu menentukan lokasi dengan akurasi tinggi untuk aplikasi transportasi dan militer.
3. **Mengumpulkan Data Pengamatan Bumi dan Cuaca:**
 - Satelit pengamatan bumi (Earth Observation Satellites) mengirimkan data cuaca, perubahan iklim, dan mitigasi bencana alam.
 - Contoh: Satelit Himawari-8 untuk pemantauan cuaca di Asia.
4. **Mendukung Eksplorasi Luar Angkasa:**
 - Segmen luar angkasa digunakan untuk mendukung misi ke bulan, Mars, atau pengamatan kosmik.
 - Contoh: Teleskop luar angkasa Hubble yang memindai galaksi dan planet jauh.

Perbedaan Segmen Luar Angkasa dengan Segmen Bumi

Aspek	Segmen Luar Angkasa	Segmen Bumi
Lokasi	Di luar atmosfer bumi, mencakup satelit di orbit (LEO, MEO, GEO).	Berada di permukaan bumi, mencakup stasiun bumi dan perangkat penerima.
Fungsi Utama	Sebagai relay untuk menghubungkan komunikasi antara stasiun bumi atau perangkat lain.	Mengirimkan dan menerima data dari satelit untuk diolah lebih lanjut.
Komponen Utama	Satelit, transponder, panel surya, dan antena satelit.	Antena stasiun bumi, transceiver, modem, dan perangkat pemrosesan sinyal.
Komunikasi dengan Satelit	Tidak langsung terhubung dengan pengguna, tetapi melalui stasiun bumi.	Langsung terhubung ke pengguna akhir (internet, televisi, atau data GPS).
Energi Operasional	Menggunakan panel surya untuk daya.	Menggunakan sumber daya listrik konvensional.
Tantangan	Interferensi dari radiasi kosmik, keterbatasan orbit, dan latensi sinyal.	Gangguan sinyal akibat cuaca atau kondisi medan yang kurang mendukung.

Penjelasan Detail:

1. **Segmen Luar Angkasa:**
 - Mengandalkan orbit tertentu untuk cakupan global, seperti GEO untuk siaran televisi dan LEO untuk internet satelit.
 - Tidak memiliki interaksi langsung dengan perangkat pengguna, tetapi menjadi jembatan antara perangkat di bumi.
2. **Segmen Bumi:**
 - Mengelola data yang diterima dari satelit, seperti pemrosesan sinyal televisi, navigasi GPS, atau data internet.
 - Dapat mencakup **stasiun bumi besar** di kota besar untuk trafik padat, atau stasiun kecil untuk wilayah terpencil.

2. Karakteristik Utama Segmen Luar Angkasa:

1. Satelit:

- Berfungsi sebagai relay (penghubung) untuk mentransmisikan sinyal data dari dan ke stasiun bumi.
- **Jenis Orbit Satelit:**
 - **LEO (Low Earth Orbit/Orbit Bumi Rendah):**
 - **Ketinggian: ~500–2.000 km** dari permukaan bumi.
 - **Karakteristik:**
 - Memiliki waktu orbit cepat (**~90 menit/orbit**).
 - Menyediakan layanan komunikasi internet yang cepat dan dengan latensi rendah.
 - **Contoh:** Konstelasi satelit Starlink untuk internet global.
 - **MEO (Medium Earth Orbit/Orbit Bumi Medium):**
 - **Ketinggian: ~20.000 km** dari permukaan bumi.
 - **Karakteristik:**
 - Waktu orbit lebih lambat dibandingkan LEO (**~12 jam/orbit**).
 - Digunakan untuk navigasi, seperti GPS dan Galileo.
 - **Contoh:** Satelit GPS NAVSTAR.
 - **GEO (Geostationary Earth Orbit/Geostasioner Orbit Bumi):**
 - **Ketinggian: ~36.000 km** di atas khatulistiwa.
 - **Karakteristik:**
 - Orbit tetap relatif terhadap permukaan bumi, sehingga ideal untuk komunikasi terus-menerus.
 - waktu orbit sebanding dengan rotasi bumi (**24 jam/orbit**)
 - Cakupan luas, cocok untuk televisi satelit dan pengamatan cuaca.
 - **Contoh:** Satelit komunikasi Palapa dan satelit cuaca Himawari-8.
- Berfungsi sebagai hubungan komunikasi antar satelit. Hubungan komunikasi antar satelit dibagi menjadi 3 hubungan utama, yaitu:
 - hubungan **GEO-LEO**; juga disebut hubungan antar-orbital/***inter-orbital links*** (IOL);
 - hubungan antara satelit geostasioner (**GEO-GEO**);
 - Adalah komunikasi langsung antara dua atau lebih satelit yang sama-sama berada di orbit geostasioner. Jenis hubungan ini berguna untuk meningkatkan kapasitas jaringan dan redundansi.
 - hubungan antara satelit orbit rendah (**LEO-LEO**).
 - Merupakan komunikasi antara dua atau lebih satelit yang sama-sama berada di orbit rendah Bumi. Hubungan ini sering digunakan dalam konstelasi satelit LEO untuk membentuk jaringan yang luas dan memberikan cakupan global.
- **Mengapa Hubungan GEO-LEO Penting?**
 - **Pelengkap Cakupan:** GEO memiliki **jangkauan luas namun terbatas di daerah kutub**. LEO memiliki **jangkauan lebih terbatas namun dapat mencakup daerah kutub**. Kombinasi keduanya memberikan cakupan global.
 - **Latensi:** Sinyal yang dikirim dari bumi ke satelit GEO dan kembali lagi membutuhkan waktu yang lebih lama berbanding terbalik dengan LEO karena jarak yang lebih dekat ke Bumi sehingga memiliki latensi yang lebih rendah, cocok untuk aplikasi real-time seperti komunikasi suara dan video.
 - **Biaya:** Peluncuran satelit LEO umumnya lebih murah dibandingkan dengan peluncuran satelit GEO.
- **Bagaimana Hubungan GEO-LEO Bekerja?**
 - a. **Transmisi Data:** Satelit LEO menerima data dari stasiun bumi atau pengguna, kemudian meneruskannya ke satelit GEO melalui frekuensi radio.
 - b. **Pengolahan Data:** Satelit GEO dapat mengolah data atau hanya meneruskannya ke satelit LEO lainnya.
 - c. **Distribusi Data:** Satelit GEO mendistribusikan data ke berbagai wilayah di Bumi menggunakan beam yang diarahkan.
- **Tantangan:**
 - **Propagasi Sinyal:** Sinyal radio terpengaruh oleh atmosfer, ionosfer, dan gangguan luar angkasa lainnya.
 - **Jarak:** Jarak yang jauh antara GEO dan LEO memerlukan pemancar dengan daya tinggi dan antena dengan gain tinggi.
 - **Biaya:** Pembangunan dan peluncuran satelit serta infrastruktur pendukung membutuhkan biaya yang sangat besar.
- **Contoh Penerapan:**
 - **Sistem Komunikasi Satelit:** Kombinasi GEO dan LEO digunakan untuk menyediakan layanan komunikasi broadband, siaran televisi, dan telepon satelit.
 - **Penginderaan Jauh:** Satelit LEO digunakan untuk mengumpulkan data penginderaan jauh, yang kemudian diteruskan ke satelit GEO untuk diolah dan didistribusikan.
 - **Internet Satelit:** Konstelasi satelit LEO digunakan untuk menyediakan layanan internet broadband ke daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh infrastruktur internet berbasis kabel. Satelit LEO mengumpulkan data dari pengguna di bumi dan mengirimkannya ke satelit GEO, lalu didistribusikan ke seluruh dunia.
 - **Navigasi:** Sistem navigasi global seperti GPS menggunakan kombinasi satelit LEO dan GEO. Satelit LEO memberikan data posisi yang akurat, sedangkan satelit GEO digunakan untuk meningkatkan ketepatan waktu.
- **Kesimpulan**
 - hubungan GEO-LEO adalah seperti jaringan saraf yang menghubungkan berbagai bagian dari sistem komunikasi satelit, memungkinkan data mengalir dengan lancar dari satu tempat ke tempat lain.
- **Konsep Kunci:**
 - **Orbit:** Lintasan yang dilalui oleh satelit mengelilingi Bumi.
 - **Latensi:** Waktu tunda antara pengiriman dan penerimaan data.
 - **Kapasitas:** Jumlah data yang dapat ditransmisikan dalam waktu tertentu.
 - **Beam:** Sinyal radio yang diarahkan ke area tertentu di Bumi.
 - **Protokol:** Kumpulan aturan yang mengatur komunikasi data.

Mengapa MEO seringkali tidak disebutkan secara eksplisit?

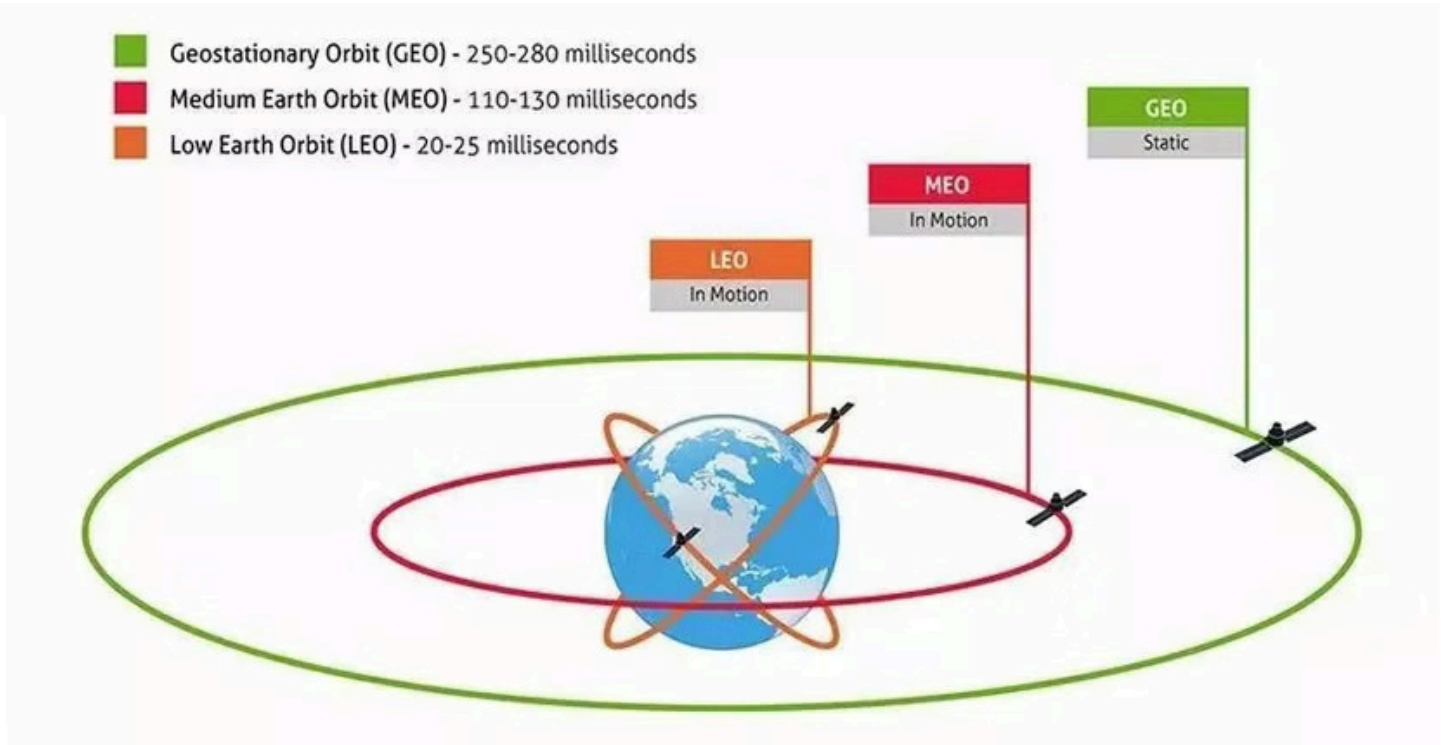
- **Penggunaan yang lebih spesifik:** Orbit MEO memang digunakan untuk beberapa sistem satelit, namun penggunaannya cenderung lebih spesifik dibandingkan dengan GEO dan LEO. Contohnya, satelit navigasi GPS beroperasi pada orbit MEO.
- **Fokus pada komunikasi:** Ketika kita berbicara tentang hubungan komunikasi antar satelit, terutama dalam konteks jaringan komunikasi global, GEO dan LEO sering menjadi fokus utama karena peran sentralnya dalam menyediakan layanan komunikasi broadband dan navigasi.

- **Hubungan Komunikasi yang Melibatkan MEO**

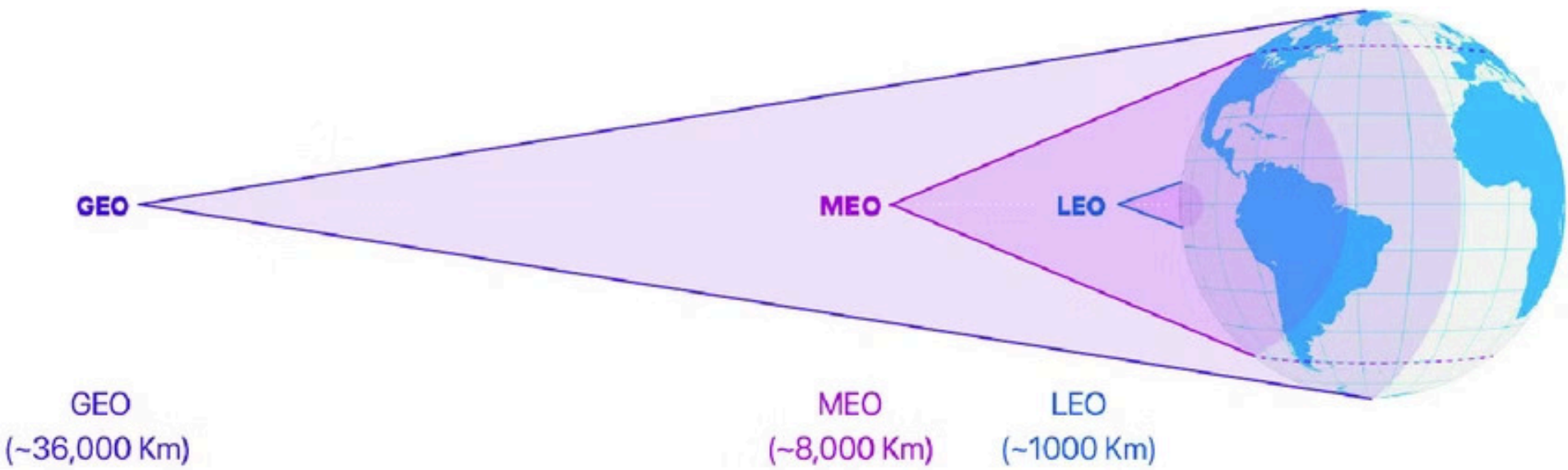
Meskipun tidak sepopuler GEO-LEO, hubungan komunikasi yang melibatkan MEO juga terjadi, terutama dalam konteks:

- **Sistem navigasi GPS memanfaatkan orbit MEO (Medium Earth Orbit) dengan sangat efektif untuk menentukan posisi di permukaan Bumi.**
 - **Ketinggian Optimal:** Orbit MEO, yang berada pada ketinggian sekitar 20.000 km di atas permukaan Bumi, memberikan jarak yang ideal untuk cakupan global. Ketinggian ini memungkinkan satelit GPS untuk "melihat" sebagian besar permukaan Bumi sekaligus.
 - **Waktu Orbit yang Tepat:** Waktu orbit MEO yang relatif lebih lambat dibandingkan LEO (sekitar 12 jam per orbit) memungkinkan satelit GPS untuk mengirimkan sinyal secara kontinu ke seluruh permukaan Bumi.
 - **Sinyal dan Trilaterasi:**
 - **Sinyal:** Setiap satelit GPS memancarkan sinyal yang berisi informasi waktu yang sangat akurat dan informasi orbit satelit itu sendiri.
 - **Trilaterasi:** Penerima GPS di Bumi menerima sinyal dari beberapa satelit GPS secara bersamaan. Dengan membandingkan waktu kedatangan sinyal dari masing-masing satelit, penerima GPS dapat menghitung jaraknya dari setiap satelit. Dengan menggunakan prinsip trilaterasi (menentukan posisi berdasarkan jarak ke tiga titik yang diketahui), penerima GPS dapat menghitung posisi tiga dimensi (lintang, bujur, dan ketinggian) dengan sangat akurat.
 - **Mengapa MEO Ideal untuk GPS?**
 - **Cakupan Luas:** Orbit MEO memungkinkan cakupan global yang lebih baik dibandingkan dengan LEO, sehingga pengguna GPS dapat menentukan posisi mereka di mana saja di Bumi.
 - **Akurasi:** Kombinasi antara ketinggian orbit yang optimal dan sinyal yang akurat memungkinkan GPS memberikan posisi dengan tingkat akurasi yang tinggi.
 - **Stabilitas Sinyal:** Sinyal GPS yang berasal dari orbit MEO relatif stabil dan tidak terlalu terpengaruh oleh gangguan ionosfer.
- Selain GPS, sistem navigasi lainnya seperti **GLONASS (Rusia), Galileo (Uni Eropa), dan BeiDou (China)** juga menggunakan satelit yang berada pada orbit MEO.
- **Mengapa MEO tidak sepopuler GEO dan LEO untuk komunikasi data broadband:**
 - **Latensi:** Orbit MEO berada di antara GEO dan LEO. Meskipun latensinya lebih rendah dibandingkan dengan GEO, namun masih lebih tinggi dibandingkan dengan LEO. Hal ini dapat menjadi kendala untuk aplikasi yang membutuhkan latensi rendah seperti video call real-time.
 - **Kapasitas:** Kapasitas saluran komunikasi pada orbit MEO umumnya lebih rendah dibandingkan dengan GEO.
 - **Biaya peluncuran:** Peluncuran satelit ke orbit MEO membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan LEO, namun lebih rendah dibandingkan dengan GEO.

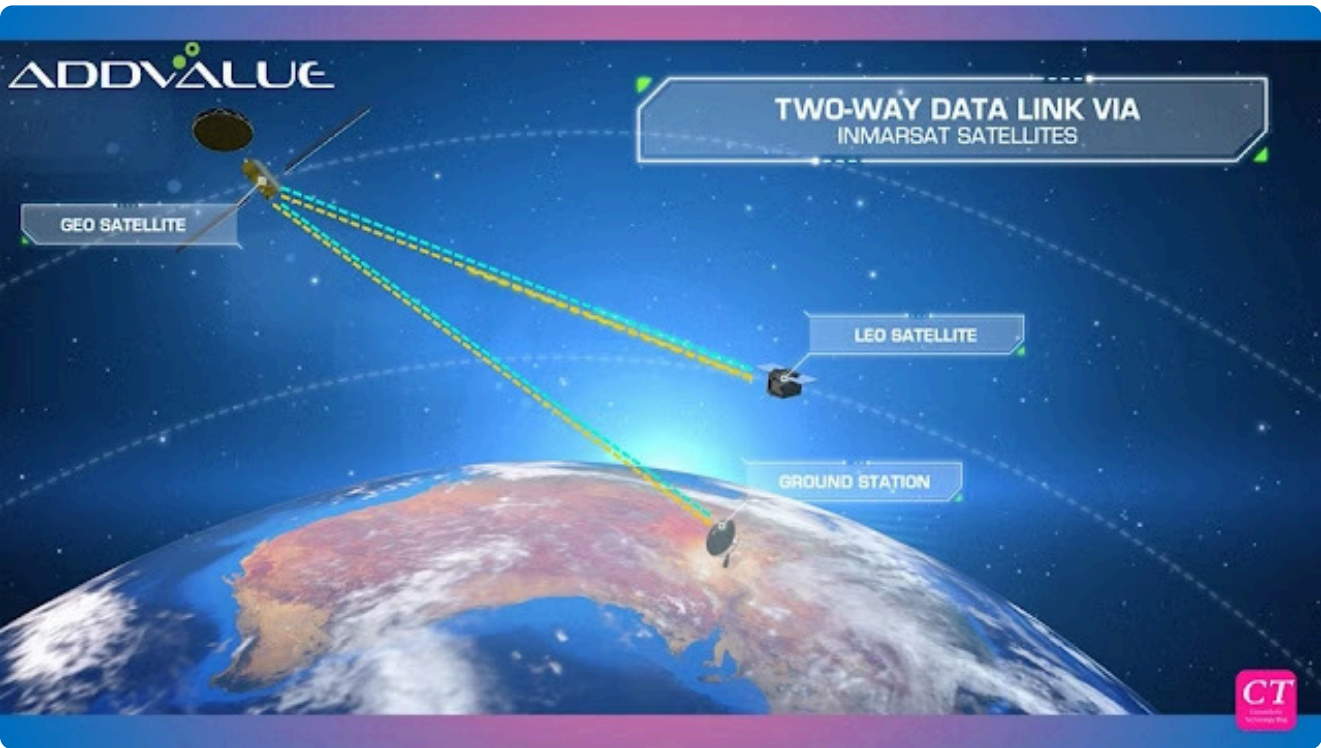
GAMBAR & ILUSTRASI GEO-LEO



Penjelasan: Gambar diatas menunjukkan perbedaan ketinggian orbit antara satelit GEO dan LEO. Satelit GEO berada pada ketinggian yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan satelit LEO.



Penjelasan: Gambar diatas menunjukkan perbedaan cakupan area yang dapat dijangkau oleh satelit GEO dan LEO. Satelit GEO memiliki cakupan yang lebih luas namun tidak dapat menjangkau daerah kutub, sedangkan satelit LEO memiliki cakupan yang lebih terbatas namun dapat menjangkau seluruh permukaan bumi.



Penjelasan: Gambar diatas menunjukkan bagaimana data ditransmisikan antara satelit GEO dan LEO. Sinyal radio dikirim dari stasiun bumi ke satelit LEO, kemudian diteruskan ke satelit GEO, dan akhirnya didistribusikan ke pengguna di seluruh dunia.

2.1 Perangkat Pendukung Satelit:

- a. **Transponder:**
 - Transponder adalah semacam "pengulang" sinyal di dalam satelit. Sinyal yang diterima oleh antena satelit akan **diolah**, **diperkuat**, dan kemudian **dipancarkan** ulang ke arah yang berbeda.
 - **Fungsi:**
 - **Penerimaan:** Menerima sinyal dari stasiun bumi atau satelit lain.
 - **Pengolahan:** Mengubah frekuensi sinyal, mengubah format sinyal, atau menambahkan informasi tambahan.
 - **Pemancaran:** Memancarkan kembali sinyal yang telah diolah ke tujuan yang diinginkan.
 - **Jenis:**
 - **Transponder aktif:** Membutuhkan pasokan daya untuk menguatkan sinyal.
 - **Transponder pasif:** Memantulkan sinyal tanpa perlu penguatan.
- b. **Sistem Energi Satelit Panel Surya:**
 - Satelit mendapatkan daya operasional dari panel surya yang dirancang untuk menangkap energi matahari di luar angkasa.
 - Panel surya adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik.
 - **Fungsi:**
 - **Sumber Daya Utama:** Panel surya merupakan sumber daya utama bagi sebagian besar satelit, terutama untuk misi jangka panjang.
 - **Mengisi Baterai:** Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya digunakan untuk mengisi baterai satelit.
 - **Mengoperasikan Perangkat:** Daya dari panel surya digunakan untuk mengoperasikan semua perangkat di dalam satelit, seperti transponder, komputer, dan sistem kontrol.
- c. **Antena dan Spektrum Frekuensi:**
 - Antena adalah perangkat yang memancarkan dan menerima gelombang radio.
 - Antena khusus digunakan untuk komunikasi antara GEO dan LEO, dengan pertimbangan faktor seperti gain, beamwidth, dan polarisasi.
 - Antena pada satelit dirancang untuk memancarkan dan menerima sinyal pada spektrum frekuensi tertentu, yang telah dialokasikan oleh **ITU (International Telecommunication Union)**.
 - **Fungsi:**
 - **Membentuk Berkas Sinyal:** Antena membentuk berkas sinyal yang terarah untuk mencapai satelit atau stasiun bumi secara efisien.
 - **Menerima Sinyal:** Menerima sinyal yang dikirimkan dari satelit atau stasiun bumi.
 - **Jenis:**
 - **Antena parabola:** Bentuknya seperti parabola, memiliki gain tinggi, dan beamwidth yang sempit.
 - **Antena mikrostrip:** Antena planar yang ringan dan mudah diproduksi.
 - **Antena phased array:** Antena yang terdiri dari banyak elemen kecil yang dapat diatur secara elektronik untuk membentuk berkas sinyal yang dapat diarahkan.
 - **Spektrum Frekuensi Utama:**
 - **Ku-band (12–18 GHz):**
 - Digunakan untuk komunikasi televisi dan internet.
 - Cocok untuk cakupan wilayah tertentu dengan gangguan atmosfer minimal.
 - **Ka-band (26.5–40 GHz):**
 - Digunakan untuk komunikasi data berkecepatan tinggi.
 - Lebih efisien untuk aplikasi internet dan komunikasi satelit modern.
 - **L-band (1–2 GHz):**
 - Digunakan untuk navigasi satelit, seperti GPS dan GLONASS.
 - Rentang frekuensi rendah, lebih tahan terhadap interferensi cuaca.
- d. **Modulasi:**
 - Modulasi adalah proses menumpangkan sinyal informasi (misalnya, suara atau data) pada gelombang pembawa. Teknik modulasi yang efisien digunakan untuk mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan kualitas yang baik dalam lingkungan yang bising.
 - **Fungsi:**
 - **Transmisi Sinyal:** Modulasi memungkinkan sinyal informasi ditransmisikan melalui media transmisi seperti gelombang radio.
 - **Peningkatan Jarak Transmisi:** Modulasi memungkinkan sinyal informasi dikirimkan jarak jauh.
 - **Pengurangan Noise:** Modulasi dapat mengurangi pengaruh noise pada sinyal.
- e. **Protokol Komunikasi:**
 - Protokol komunikasi adalah seperangkat aturan yang mengatur bagaimana data ditransmisikan dan diterima. Protokol seperti TCP/IP digunakan untuk mengatur aliran data antara satelit.
 - **Fungsi:**
 - **Sinkronisasi:** Menjaga agar pengirim dan penerima data tetap sinkron.
 - **Kontrol Error:** Mendeteksi dan memperbaiki kesalahan selama transmisi data.
 - **Pengalokasian Sumber Daya:** Mengalokasikan sumber daya jaringan secara efisien.
 - **Contoh:** TCP/IP, UDP, HTTP
- f. **Jaringan Satelit:**
 - Jaringan satelit adalah kumpulan satelit yang saling terhubung dan bekerja sama untuk menyediakan layanan komunikasi. Jaringan satelit yang kompleks mengelola lalu lintas data antara berbagai satelit dan stasiun bumi.
 - **Fungsi:**
 - **Menghubungkan Stasiun Bumi:** Menghubungkan stasiun bumi di berbagai lokasi di seluruh dunia.
 - **Menyediakan Layanan Komunikasi:** Menyediakan layanan komunikasi seperti telepon, data, dan siaran televisi.
 - **Meningkatkan Ketersediaan:** Meningkatkan ketersediaan layanan komunikasi, terutama di daerah terpencil.

Interaksi Antar Perangkat

- **Panel Surya** menghasilkan daya listrik untuk mengoperasikan semua perangkat di satelit, termasuk **transponder** dan **antena**.
- **Antena** menerima sinyal dari stasiun bumi, dan **transponder** memproses sinyal tersebut sebelum dipancarkan kembali oleh antena.
- **Protokol komunikasi** mengatur aliran data antara **satelit**, **stasiun bumi**, dan **perangkat pengguna**.
- **Jaringan satelit** mengkoordinasikan kerja sama antara banyak satelit untuk menyediakan layanan komunikasi yang luas.

3. Mekanisme Kinerja Satelit

1. Bagian Kirim (Uplink)

- **Definisi:** Proses pengiriman sinyal dari stasiun bumi ke satelit menggunakan gelombang mikro.
- **Langkah-Langkah:**
 - a. Data (misalnya, video atau data internet) dikodekan menjadi format digital.
 - b. Sinyal digital dimodulasi menggunakan teknik seperti **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)** atau **16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)**.
 - c. Sinyal dikirimkan ke satelit melalui gelombang mikro menggunakan antena uplink di stasiun bumi.
 - d. **Transponder** di satelit menerima sinyal dan menyiapkannya untuk diproses lebih lanjut.
- **Frekuensi yang Digunakan:**
 - **C-band:** Stabil dalam kondisi cuaca buruk.
 - **Ku-band:** Umum untuk siaran televisi.

2. Bagian Proses di Satelit

- **Definisi:** Tahap di mana satelit memproses sinyal yang diterima sebelum dikirim kembali ke bumi.
- **Langkah-Langkah:**
 - a. **Penerimaan Sinyal:** Sinyal uplink diterima oleh antena satelit dan dikirim ke transponder.
 - b. **Penguatan Sinyal:** Sinyal diperkuat untuk mengimbangi pelemahan (attenuation) selama perjalanan dari bumi ke satelit.
 - c. **Modulasi Ulang:** Jika diperlukan, sinyal dimodulasi ulang agar sesuai dengan spesifikasi penerima.
 - d. **Pengubahan Frekuensi:** Sinyal uplink diubah ke frekuensi yang lebih rendah (downlink) untuk menghindari interferensi dengan sinyal uplink.
- **Catatan Teknis:**
 - Proses ini juga melibatkan filter untuk menghilangkan noise atau gangguan.
 - Frekuensi uplink biasanya lebih tinggi daripada downlink untuk mengurangi gangguan dari atmosfer.

3. Bagian Terima (Downlink)

- **Definisi:** Proses di mana sinyal yang telah diproses oleh satelit dikirim kembali ke bumi.
- **Langkah-Langkah:**
 - a. Antena satelit memancarkan sinyal yang telah diproses ke stasiun bumi atau perangkat penerima lain.
 - b. Sinyal diterima oleh antena downlink di stasiun bumi.
 - c. Sinyal didekodekan dan diubah kembali menjadi data yang dapat digunakan, seperti siaran televisi, data internet, atau peta navigasi.
- **Frekuensi yang Digunakan:**
 - **L-band:** Untuk sistem navigasi seperti GPS.
 - **Ka-band:** Untuk internet berkecepatan tinggi.

Referensi :

- Taufik, Ikhwan. (2018). *Komunikasi Data*. Yogyakarta: Gava Media.
- Amien, Januar Al, Harun Mukhtar, dan Edo Arribe. (2021). *Komunikasi Data*. Yogyakarta: Deepublish.
- NASA. (2023). *Satellite Data Transmission*. NASA Official Website.
- Maral, Gérard, dan Michel Bousquet. (2009). *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. West Sussex: Wiley.
- Pelton, Joseph N. (2017). *Satellite Communications*. New York: Springer.
- Roddy, Dennis. (2006). *Satellite Communications (4th Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- Rappaport, Theodore S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*. New York: Pearson Education.
- ITU. (2023). *Radio Regulations 2023 Edition*. International Telecommunication Union.
- ESA. (2023). *Satellite Operations and Communication Standards*. European Space Agency.
- SpaceX. (2023). *Starlink Satellite Network*. SpaceX Official Website.