

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terhadulu (*State Of Art*)

Al-Dalowi, Khoshnaw, dan QasMarrogy (2017) mengembangkan kalkulator *link budget* berbasis MATLAB untuk menghitung parameter frekuensi radio (RF) dasar hingga mencapai nilai *Carrier-to-Noise Ratio* (C/N). Namun, sistem ini belum mengakomodasi perhitungan modulasi digital standar DVB-S2 maupun pemodelan sistem navigasi satelit global (GNSS).

Hashim dkk. (2024) kemudian merancang SATELEC, sebuah aplikasi seluler untuk menghitung parameter *uplink* dan *downlink* seperti EIRP, *path loss*, dan penguatan antena. Kelemahan utama aplikasi ini adalah hanya berfokus pada satu klasifikasi orbit (GEO), sehingga tidak mendukung perhitungan *slant range* dinamis untuk orbit LEO dan MEO. Selain itu, evaluasi performanya belum memisahkan karakteristik transmisi antara layanan komunikasi dua arah (berbasis E_b/N_0) dengan navigasi satu arah (berbasis C/N_0).

Untuk mengatasi batasan tersebut, penelitian ini mengembangkan simulator *link budget* satelit multiorbit berbasis algoritma deterministik menggunakan *Visual Basic*. Perangkat lunak ini menghitung parameter RF sekaligus mengintegrasikan modul *baseband* DVB-S2 untuk mengevaluasi E_b/N_0 aktual dan ambang minimum sistem. Alur perhitungan komunikasi dan navigasi dipisahkan secara fungsional untuk menjaga presisi analisis. Sebagai kendali kualitas, sistem dilengkapi fitur *Poka-Yoke* yang secara otomatis menolak masukan parameter jika melanggar batasan fisis propagasi dan standar regulasi telekomunikasi.

2.2 Komunikasi Dasar Sistem Satelit

Sistem komunikasi satelit adalah infrastruktur telekomunikasi yang memanfaatkan satelit sebagai stasiun pengulang (*relay station*) untuk mengatasi batasan jangkauan transmisi terestrial akibat rintangan geografis dan kelengkungan permukaan bumi.

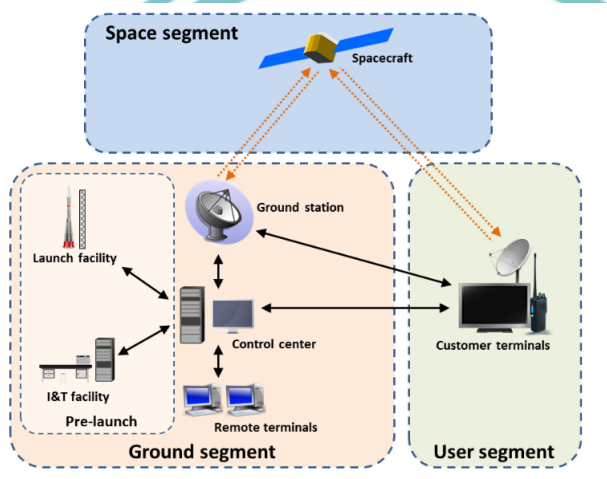


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2.1 Arsitektur Umum Sistem Satelit

Arsitektur operasional sistem ini bertumpu pada alur transmisi data secara vertikal. Informasi dikirimkan dari stasiun bumi pemancar menuju satelit melalui tautan naik (*uplink*). Satelit kemudian memproses dan merelai sinyal tersebut kembali ke stasiun bumi penerima pada area cakupan (*footprint*) tertentu melalui tautan turun (*downlink*). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Arsitektur Umum Sistem

Sumber: Swpb, 2016

Gambar 2.1 mengilustrasikan arsitektur interaksi antara satelit dan segmen darat. Konfigurasi ini secara langsung menghubungkan stasiun bumi dengan wahana satelit melalui tautan komunikasi (*uplink* dan *downlink*).

2.2.2 Segmen Angkasa (*Space Segment*)

Segmen angkasa mencakup satelit sebagai wahana antariksa (*spacecraft*) yang terdiri atas subsistem *bus* dan muatan (*payload*). *Bus* menyediakan catu daya, kendali sikap (*attitude control*), dan propulsi. Sementara itu, *payload* merupakan inti telekomunikasi berisi antena dan transponder yang berfungsi menerima, menguatkan, dan mengubah frekuensi sinyal untuk mencegah interferensi (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

2.2.3 Segmen Bumi (*Ground Segment*)

Segmen bumi mencakup fasilitas pengendali satelit, dengan instrumen utama *Satellite Control Center* (SCC) atau *Network Operation Center* (NOC). Fasilitas ini



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengelola fungsi *Telemetry, Tracking, and Command* (TT&C) untuk memantau kondisi fisis satelit, melacak presisi orbit, dan mengeksekusi instruksi manuver korektif (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

2.2.4 Segmen Pengguna (*User Segment*)

Segmen pengguna terdiri atas terminal penerima akhir, seperti antenna VSAT, telepon satelit, dan perangkat GNSS. Dalam analisis *link budget*, spesifikasi perangkat pengguna seperti diameter antenna, efisiensi, dan temperatur derau (*noise temperature*) merupakan parameter penentu tercapainya standar kualitas sinyal terima (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

2.2.5 Klasifikasi Orbit Satelit

Kinerja tautan komunikasi sangat bergantung pada geometri orbit satelit. Berdasarkan altitudo, konstelasi orbit diklasifikasikan menjadi *Low Earth Orbit* (LEO: 500–2.000 km), *Medium Earth Orbit* (MEO: 8.000–20.000 km), dan *Geostationary Earth Orbit* (GEO: 35.786 km). Klasifikasi ini secara langsung berpengaruh pada besaran redaman ruang bebas (*free-space path loss*) dan latensi propagasi (*delay*) transmisi (del Portillo, Cameron, & Crawley, 2018).

2.3 Parameter Geometri Satelit

Parameter geometri mendefinisikan hubungan spasial antara stasiun bumi dan satelit. Analisis geometri digunakan untuk menentukan visibilitas jangkauan pandang (*line of sight*), jarak transmisi, dan kelayakan lintasan sinyal. Karena geometri bumi mendekati bulat, komputasi parameter ini menggunakan hukum trigonometri bola (*spherical trigonometry*) (Maral & Bousquet, 2009).

2.3.1 Sudut Pusat (*Central Angle*)

Sudut pusat (ψ) terbentuk di pusat bumi antara posisi stasiun bumi dan titik nadir satelit (proyeksi tegak lurus satelit pada permukaan bumi). Nilai sudut ini ditentukan oleh koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*) stasiun bumi serta satelit. Variabel ini menjadi dasar untuk menghitung jarak miring (*slant range*) dan sudut pandang satelit (Maral & Bousquet, 2009). Persamaan sudut pusat dirumuskan sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\cos(\psi) = \sin(Lat_{es}) \sin(Lat_{sat}) + \cos(Lat_{es}) \cos(Lat_{sat}) \cos(Lon_{sat} - Lon_{es}) \quad (2.1)$$

Di mana Lat_{es} dan Lon_{es} merupakan koordinat stasiun bumi, sedangkan Lat_{sat} dan Lon_{sat} merupakan koordinat titik nadir satelit.

2.3.2 Jarak Miring (*Slant Range*)

Jarak miring (d) mendefinisikan panjang lintasan propagasi *line-of-sight* (LoS) antara stasiun bumi dan satelit. Nilai metrik ini selalu lebih besar dari altitudo orbit, kecuali saat satelit berada pada titik elevasi zenith. Komputasi *slant range* secara langsung berpengaruh pada besaran redaman ruang bebas (*free-space path loss*) pada tautan komunikasi (Maral & Bousquet, 2009). Persamaan jarak miring dinyatakan sebagai:

$$d = \sqrt{R_e^2 + (R_e + h)^2 - 2R_e(R_e + h)\cos(\psi)} \quad (2.2)$$

Di mana R_e adalah jari-jari ekuatorial bumi (sebesar 6371 km), h adalah ketinggian orbit satelit dalam kilometer, dan ψ adalah sudut pusat.

2.3.3 Sudut Elevasi (*Elevation Angle*)

Sudut elevasi (El) mendefinisikan sudut vertikal antena stasiun bumi terhadap satelit, direferensikan dari bidang horizontal lokal. Penetapan ambang batas minimum sudut elevasi diimplementasikan untuk memitigasi degradasi sinyal akibat atenuasi atmosfer, redaman hujan, dan interferensi *multipath* dari rintangan terestrial (Pratt dkk., 2019). Komputasi sudut elevasi diformulasikan sebagai:

$$El = \arcsin\left(\frac{(R_e + h) \cos(\psi) - R_e}{d}\right) \quad (2.3)$$

Di mana R_e adalah jari-jari ekuatorial bumi, h adalah ketinggian orbit satelit dalam kilometer, dan ψ adalah sudut pusat. d adalah *slant range*.

2.3.4 Lebar Berkas Cakupan (*Target Beamwidth*)

Pada sistem layanan transmisi global seperti navigasi satelit (GNSS), antena pemancar dikonfigurasi untuk mengoptimalkan cakupan sinyal (*footprint*) terestrial maksimum. Luasan pancaran ini didefinisikan oleh parameter *target beamwidth*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(θ_{3dB}), yakni sudut bukaan antenna setengah daya (*half-power beamwidth*) (Kaplan & Hegarty, 2017). Komputasi bukaan antenna untuk cakupan global (*global coverage*) diformulasikan sebagai:

$$\theta_{3dB} = 2 \times \arcsin\left(\frac{R_e}{R_e + h}\right) \quad (2.4)$$

Di mana R_e adalah jari-jari ekuatorial bumi, h adalah ketinggian orbit satelit dalam kilometer.

2.4 Parameter Tautan Frekuensi Radio (RF)

Analisis tautan frekuensi radio (RF) atau *link budget* mengevaluasi tingkat daya terima akhir agar memenuhi ambang sensitivitas perangkat penerima. Komputasi ini mengintegrasikan parameter penguatan daya antenna, atenuasi propagasi, dan ekuivalen derau (*noise*) sistem dengan mengacu pada persamaan transmisi Friis (Maral & Bousquet, 2009).

2.4.1 Penguatan Antena (*Antenna Gain*)

Penguatan antenna (G) mendefinisikan direktivitas radiasi elektromagnetik suatu antenna terhadap radiator isotropis. Sistem satelit umumnya mengimplementasikan reflektor parabola untuk mengoptimalkan nilai penguatan. Parameter ini berbanding lurus dengan efisiensi apertur, kuadrat diameter fisik, dan frekuensi operasional (Balanis, 2016). Komputasi penguatan antenna diformulasikan sebagai:

A. Antena Parabola (Sistem Komunikasi)

Penguatan antenna dengan tingkat direktivitas tinggi pada sistem komunikasi dikomputasi berdasarkan luas apertur fisik perangkat. Persamaannya diformulasikan sebagai:

$$G = 10 \log_{10}\left(\eta \left(\frac{\pi D f}{c}\right)^2\right) \quad (2.5)$$

Di mana η adalah efisiensi antenna, D adalah diameter (m), f adalah frekuensi (Hz), dan c adalah kecepatan cahaya.

B. Antena *Global Coverage* (Sistem Navigasi Baru)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Antena pemancar satelit navigasi (GNSS) dikonfigurasi untuk mendistribusikan sinyal terestrial secara merata (*global coverage*). Evaluasi penguatan antena tidak berpatokan pada apertur fisik, melainkan merupakan fungsi rasio dari konstanta efisiensi antena (Ka) terhadap kuadrat *target beamwidth* (θ_{3dB}) (Kaplan & Hegarty, 2017). Persamaannya diformulasikan sebagai:

$$G_{tx_sat} = 10 \log_{10} \left(\frac{Ka}{\theta_{3dB}^2} \right) \quad (2.6)$$

Di mana Ka adalah konstanta efisiensi antena dan θ_{3dB} adalah target beamwidth.

2.4.2 Daya Pancar Ekuivalen (EIRP)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) mendefinisikan akumulasi daya pancar efektif antena pada titik direktivitas maksimum. Komputasi metrik ini merupakan fungsi dari daya pemancar (*transmit power*) dan penguatan antena, yang dikurangi oleh redaman saluran transmisi (*feeder loss*). Dalam analisis *link budget*, EIRP merepresentasikan kapasitas daya pancar absolut pada transmisi *uplink* maupun *downlink* (Roddy, 2006). Persamaannya diformulasikan sebagai:

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{feeder_tx} \quad (2.7)$$

Di mana P_{tx} adalah daya pancar tx, G_{tx} adalah *Gain* tx dan L_{feeder_tx} adalah redaman kabel tx.

2.4.3 Redaman Ruang Bebas (*Free Space Path Loss*)

Free Space Path Loss (FSPL) merupakan faktor atenuasi paling dominan pada sistem komunikasi satelit, yang diakibatkan oleh dispersi energi elektromagnetik selama propagasi spasial. Metrik redaman ini berbanding lurus dengan kuadrat jarak miring (*slant range*) dan frekuensi operasional. Konsekuensinya, implementasi spektrum frekuensi tinggi (seperti Ka-Band) maupun konstelasi orbit altitudo tinggi (seperti GEO) mensyaratkan kompensasi daya pancar proporsional untuk menanggulangi degradasi FSPL (Maral & Bousquet, 2009). Komputasi FSPL diformulasikan sebagai:



Hak Cipta :

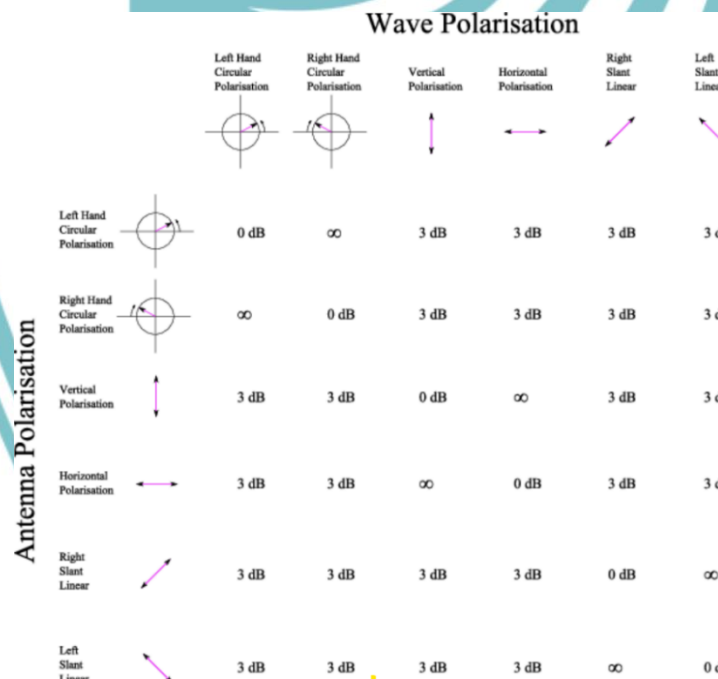
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45 \quad (2.8)$$

Di mana d adalah jarak dalam kilometer dan f adalah frekuensi dalam Gigahertz (GHz).

2.4.4 Redaman Polarisasi (*Polarization Loss*)

Redaman polarisasi (L_{pol}) merepresentasikan degradasi daya akibat diskrepansi orientasi vektor medan listrik antara antenna pemancar dan penerima. Keselarasan polarisasi, baik pada konfigurasi sirkular (RHCP/LHCP) maupun linear (Horizontal/Vertikal), disyaratkan untuk memitigasi atenuasi sinyal. *Misalignment* ortogonal (seperti transmisi RHCP ke LHCP atau Horizontal ke Vertikal) menghasilkan redaman polarisasi silang (*cross-polarization loss*) hingga 20 dB, sedangkan diskrepansi transmisi linear-ke-sirkular mengakibatkan atenuasi konstan sebesar 3 dB (Balanis, 2016). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Redaman Polarisasi

Sumber: Derek Abbot, 2017

Gambar 2.2 mengilustrasikan kondisi *match* dan *mismatch* polarisasi. Secara teoretis, transmisi antarantena ortogonal murni (vertikal dan horizontal) tidak menghasilkan perpindahan daya. Namun pada aplikasi praktis satelit, ketidaksempurnaan perangkat menyebabkan kebocoran sinyal yang diukur sebagai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Cross-Polarization Isolation (XPI). Standar industri menetapkan rentang 20 dB hingga 30 dB sebagai nilai isolasi yang baik (Balanis, 2016).

2.4.5 Rugi-Rugi Lintasan Total (*Total Path Loss*)

Total path loss (L_{total}) adalah akumulasi keseluruhan atenuasi sinyal selama propagasi. Meskipun didominasi oleh redaman ruang bebas (FSPL), perhitungan *link budget* yang presisi harus menjumlahkannya dengan rugi-rugi penyerapan gas atmosfer dan hujan (L_{AA}), rugi-rugi terestrial atau *Antenna Misalignment Loss* (L_{env}), serta redaman polarisasi (L_{pol}) (Maral & Bousquet, 2009). Persamaan rugi-rugi lintasan total diformulasikan sebagai:

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol} \quad (2.9)$$

Di mana L_{atm} = Redaman Atmosfer/AA sedangkan L_{env} = Redaman lingkungan/Multipath/AML.

2.4.6 Suhu Derau Sistem dan *Figure of Merit* (G/T)

Sensitivitas perangkat penerima dievaluasi berdasarkan kapasitasnya mengekstraksi sinyal dari derau termal. Temperatur derau sistem (T_{sys}) merupakan akumulasi temperatur antena (T_{ant}) dan temperatur ekuivalen perangkat penerima (T_{rx}) yang bergantung pada nilai *Noise Figure* (NF). Rasio penguatan antena terhadap temperatur sistem (G/T) mendefinisikan parameter kualitas (*figure of merit*) stasiun penerima. Nilai G/T berbanding lurus dengan efisiensi sistem dalam memisahkan sinyal informasi dari derau dasar (Pratt dkk., 2019).

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1) \quad (2.10)$$

Di mana T_0 adalah Suhu Referensi Standar yang nilainya 290 K dan NF adalah *Noise Figure*.

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx} \quad (2.11)$$

Di mana T_{ant} adalah temperatur antena dan T_{rx} adalah temperature ekuivalen perangkat penerima.

$$G/T = G_{rx} - L_{feeder_{rx}} - 10\log_{10}(T_{sys}) \quad (2.12)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Di mana G_{rx} adalah *gain* rx, L_{feeder_rx} adalah redaman kabel rx, T_{sys} adalah temperature derau sistem.

2.5 Sistem Komunikasi Digital Terrestrial-Satelit

Sistem komunikasi satelit modern mengimplementasikan pemrosesan pita dasar (*baseband*) digital untuk meningkatkan efisiensi spektral dan imunitas terhadap derau. Standar transmisi dominan yang digunakan adalah *Digital Video Broadcasting - Second Generation* (DVB-S2). Evaluasi parameter digital ini berfungsi menjembatani komputasi fisis frekuensi radio (RF) dengan metrik kualitas informasi aktual pada sisi penerima akhir (Maral & Bousquet, 2009).

2.5.1 Modulasi Digital dan *Forward Error Correction* (FEC)

Arsitektur DVB-S2 memproses aliran data (*bitstream*) melalui integrasi skema modulasi digital dan pengkodean *Forward Error Correction* (FEC). Modulasi (seperti QPSK, 8PSK, 16/32APSK) memetakan konstelasi bit menjadi *symbol*, sedangkan FEC menyisipkan *parity bits* redundan untuk mendeteksi dan merekonstruksi galat bit (*bit error*) akibat atenuasi propagasi. Kombinasi konfigurasi modulasi dan rasio FEC berpengaruh pada nilai efisiensi spektral (Γ), yakni rasio muatan bit informasi efektif per *symbol* (Pratt dkk., 2019).

2.5.2 *Symbol Rate*, *Roll-off Factor*, dan Lebar Pita (*Bandwidth*)

Symbol Rate (R_s) mendefinisikan laju transmisi *symbol* dalam saluran komunikasi. Untuk memitigasi *Inter-Symbol Interference* (ISI), sistem mentransmisikan sinyal melalui filter *Root Raised Cosine* (RRC). Karakteristik kelandaian filter ini direpresentasikan oleh parameter *roll-off factor* (α). Total alokasi lebar pita (*bandwidth*) fisik transponder merupakan fungsi langsung dari laju *symbol* dan faktor *roll-off* (Roddy, 2006). Persamaan lebar pita diformulasikan sebagai:

$$BW = R_s \times (1 + \alpha) \quad (2.13)$$

Di mana BW adalah *Bandwidth* (Hz), R_s adalah *Symbol Rate* (Sps), dan α adalah *Roll-off Factor*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.5.3 Kecepatan Aliran Bit Efektif (*Effective Bit Rate*)

Laju bit efektif ($R_{b_{eff}}$) mendefinisikan kapasitas transmisi aktual bit informasi murni (*payload*) per detik pada sisi pengguna, pasca-eliminasi bit redundansi FEC. Nilai komputasi parameter ini berbanding lurus dengan parameter efisiensi spektral dari kombinasi skema modulasi dan FEC yang diimplementasikan (Maral & Bousquet, 2009). Persamaan laju bit efektif diformulasikan sebagai:

$$R_{b_{raw}} = R_s \times \log_2(M) \quad (2.14)$$

Di mana R_s adalah *symbol rate*, M adalah modulasi yang digunakan dalam perancangan.

$$R_{b_{eff}} = R_{b_{raw}} \times FEC \quad (2.15)$$

Di mana FEC adalah *factor error correction*, $R_{b_{eff}}$ dinyatakan dalam bit per second (bps).

2.5.4 Ambang Batas Kinerja Digital (E_b/N_0 Required)

Evaluasi kelayakan tautan satelit mensyaratkan komparasi tingkat energi sinyal terima terhadap ambang batas minimum (*threshold*). Standar ETSI DVB-S2 mendefinisikan spesifikasi kinerja penerima melalui parameter *Energy per Symbol to Noise Density* (E_s/N_0) untuk mencapai kondisi operasional *Quasi-Error-Free* (QEF). Namun pada analisis *link budget*, standar parameter evaluasi yang diimplementasikan adalah *Energy per Bit to Noise Density* (E_b/N_0). Konsekuensinya, diperlukan konversi matematis melalui rasio pembagian antara ambang batas simbol terhadap efisiensi spektral sistem (ETSI, 2014). Dalam domain logaritmik (dB), persamaan konversi diformulasikan sebagai:

$$(E_b/N_0)_{Req} = (E_s/N_0)_{threshold} - 10\log_{10}(\Gamma) \quad (2.16)$$

Di mana $(E_s/N_0)_{threshold}$ adalah ambang batas ideal dari dokumen standar DVB-S2, dan Γ adalah besaran Efisiensi Spektral. Berikut adalah nilai spesifikasi kinerja operasi *Quasi-Error-Free* (QEF) standar DVB-S2 ditunjukkan pada Tabel 2.1.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 2. 1 Kinerja E_s/N_0 pada kondisi 3 PER = 10^{-7} (Kanal AWGN)

Mode	Spectral efficiency	Ideal E_s/N_0 (dB)
		For FECFRAME length = 64 800
QPSK 1/4	0,490243	-2,35
QPSK 1/3	0,656448	-1,24
QPSK 2/5	0,789412	-0,30
QPSK 1/2	0,988858	1,00
QPSK 3/5	1,188304	2,23
QPSK 2/3	1,322253	3,10
QPSK 3/4	1,487473	4,03
QPSK 4/5	1,587196	4,68
QPSK 5/6	1,654663	5,18
QPSK 8/9	1,766451	6,20
QPSK 9/10	1,788612	6,42
8PSK 3/5	1,779991	5,50
8PSK 2/3	1,980636	6,62
8PSK 3/4	2,228124	7,91
8PSK 5/6	2,478562	9,35
8PSK 8/9	2,646012	10,69
8PSK 9/10	2,679207	10,98
16APSK 2/3	2,637201	8,97
16APSK 3/4	2,966728	10,21
16APSK 4/5	3,165623	11,03
16APSK 5/6	3,300184	11,61
16APSK 8/9	3,523143	12,89
16APSK 9/10	3,567342	13,13
32APSK 3/4	3,703295	12,73
32APSK 4/5	3,951571	13,64
32APSK 5/6	4,119540	14,28
32APSK 8/9	4,397854	15,69
32APSK 9/10	4,453027	16,05

Given the system spectral efficiency η_{tot} the ratio between the energy per information bit and single sided noise power spectral density

Sumber : ETSI EN 302 307-1, 2014



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

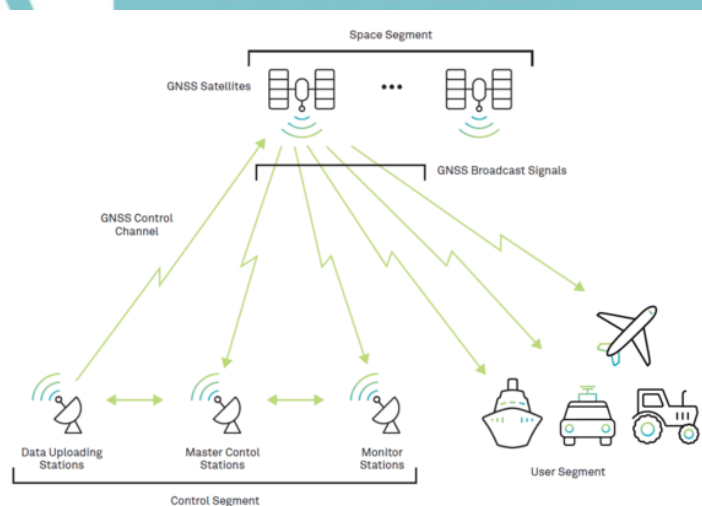
Tabel 2.1 merepresentasikan korelasi antara skema modulasi dan ambang batas derau. Peningkatan efisiensi spektral (contoh, komparasi 8PSK terhadap QPSK) mensyaratkan rasio ambang batas minimum (E_s/N_0) yang lebih tinggi pada perangkat penerima untuk menginisiasi sinkronisasi sinyal (*signal lock*) secara valid.

2.6 Sistem Navigasi Satelit Global (GNSS)

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan konstelasi satelit penyedia layanan penentuan posisi, navigasi, dan waktu (*Positioning, Navigation, and Timing / PNT*) terrestrial global. Secara operasional, satelit navigasi mentransmisikan sinyal satu arah (*broadcast*) secara kontinu. Perangkat penerima mengekstraksi sinyal dari beberapa satelit secara simultan untuk mengalkulasi koordinat presisi pengguna melalui komputasi trilaterasi spasial (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.6.1 Arsitektur dan Segmen GNSS

Arsitektur GNSS mengintegrasikan tiga segmen fungsional utama. Segmen angkasa mencakup konstelasi satelit pada orbit MEO untuk optimalisasi cakupan global. Segmen pengguna terdiri atas perangkat terminal penerima navigasi. Pada komputasi *link budget*, evaluasi performa difokuskan pada segmen pengguna mengingat tingginya dependensi kualitas sinyal terhadap atenuasi lingkungan terrestrial (Kaplan & Hegarty, 2017). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Arsitektur dan Segmen GNSS

Sumber: Testindo, 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 2.3 mengilustrasikan arsitektur GNSS. Segmen kendali memonitor presisi satelit, yang secara kontinu mentransmisikan sinyal navigasi (*broadcast*) menuju beragam platform segmen pengguna (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.6.2 Karakteristik Sinyal dan Pita Frekuensi L-Band

Sinyal navigasi ditransmisikan pada spektrum *L-Band*. Spektrum ini diimplementasikan karena tingkat atenuasi hidrometeor (awan dan curah hujan) serta redaman atmosferiknya yang rendah. Sinyal GPS L1 dan Galileo E1 beroperasi pada frekuensi 1575,42 MHz. Aliran data navigasi diencode menggunakan *Code Division Multiple Access* (CDMA) untuk memungkinkan perangkat penerima mengekstraksi sinyal dari berbagai satelit pada frekuensi tunggal (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.6.3 Konsep Jaminan Daya Terima Minimum (*Minimum Received Power*)

Evaluasi *link budget* GNSS eksisting mengacu pada parameter daya terima minimum (*Minimum Received Power*). Penyedia layanan GNSS menetapkan jaminan batas bawah tingkat daya pada antena isotropis 0 dBi terrestrial pada sudut elevasi spesifik. Nilai standar ini telah mengintegrasikan komputasi EIRP satelit dan redaman ruang bebas (FSPL). Spesifikasi GPS menetapkan daya terima minimum sebesar -158,5 dBW. Pendekatan ini mengeliminasi variabel perhitungan propagasi segmen angkasa, sehingga evaluasi difokuskan pada sensitivitas perangkat penerima (GPS Directorate, 2021).

2.7 Analisis Kualitas Tautan (*Link Budget*)

Analisis *link budget* merupakan metode komprehensif untuk mengevaluasi kelayakan dan kinerja operasional suatu sistem komunikasi radio untuk memastikan bahwa kualitas sinyal pada perangkat penerima mampu melampaui ambang batas minimum (*threshold*) yang disyaratkan (Maral & Bousquet, 2009). Pada perangkat lunak simulasi berbasis algoritma deterministik yang dikembangkan, arsitektur kalkulasi sistem ini disegmentasi menjadi dua skema operasional: Mode Komunikasi Dua Arah dan Mode Navigasi GNSS Satu Arah.

Dalam mengevaluasi kelayakan tautan pada kedua mode tersebut, tingkat keandalan sinyal dikuantifikasi melalui dua metrik utama yang beroperasi pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

domain yang berbeda, yaitu rasio daya pembawa terhadap derau (*Carrier-to-Noise Ratio* / C/N) dan rasio energi per bit terhadap rapat spektral derau (E_b/N_0). Parameter C/N merepresentasikan kualitas sinyal pada ranah frekuensi radio (RF), yang mendefinisikan rasio antara daya total gelombang pembawa (*carrier*) yang diterima antena terhadap daya derau termal (*noise*) di dalam *bandwidth* perangkat keras (Maral & Bousquet, 2009). Sementara itu, parameter E_b/N_0 merepresentasikan kualitas sinyal pada *digital baseband*. Metrik ini mengevaluasi kemurnian energi dari setiap keping bit informasi terhadap rapat spektral derau sebagai parameter penentu keberhasilan proses demodulasi dan penentu batas akhir metrik Link Margin (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

A. C/N Tunggal (*Uplink/Downlink*)

Karena tautan terdiri dari dua lintasan, masing-masing dihitung menggunakan persamaan (Maral & Bousquet, 2009):

$$C/N = EIRP - L_{total} + G/T - k - 10\log_{10}(BW) \quad (2.17)$$

Di mana $EIRP$ adalah *Effective Isotropic Radiated Power*, L_{total} adalah redaman total sistem, G/T adalah *Figure Of Merit*, k adalah *Konstanta Boltzmann* bernilai 1.38×10^{-23} Joule/Kelvin, BW adalah *Bandwidth*.

B. C/N Total (Sistem)

C/N Total adalah penggabungan C/N Uplink dan Downlink dengan menggunakan hukum penjumlahan derau (Maral & Bousquet, 2009):

$$C/N_{total} = -10\log_{10}(10^{-(C/N_{ul})/10} + 10^{-(C/N_{dl})/10}) \quad (2.18)$$

Di mana C/N_{ul} adalah C/N *uplink* dan C/N_{dl} adalah C/N *downlink*.

C. *Energy per Bit to Noise Density* (E_b/N_0) Aktual

Evaluasi kelayakan tautan mensyaratkan konversi rasio daya pembawa terhadap derau (C/N) ke dalam domain bit. Parameter E_b/N_0 aktual dikomputasi melalui kompensasi nilai C/N terhadap rasio laju bit efektif ($R_{b_{eff}}$) dan alokasi lebar pita (BW) (Maral & Bousquet, 2009). Rumus ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$(E_b/N_0)_{aktual} = C/N_{total} - 10\log_{10}\left(\frac{R_{b_{eff}}}{BW}\right) \quad (2.19)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Di mana C/N_{total} adalah C/N Sistem, R_{beff} adalah bit efektif, BW adalah *bandwidth*.

D. Link Margin Komunikasi

Kelayakan tautan transmisi dievaluasi berdasarkan parameter *Link Margin*, yakni selisih antara nilai E_b/N_0 aktual dan ambang batas minimum standar DVB-S2. Tautan dinyatakan layak operasi apabila nilai $LM \geq 0$ dB (Maral & Bousquet, 2009). Rumus ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$LM = (E_b/N_0)_{aktual} - (E_b/N_0)_{req} \quad (2.20)$$

Di mana $(E_b/N_0)_{aktual}$ adalah *Eney per Bit to Noise Density* aktual dan $(E_b/N_0)_{req}$ adalah *Eney per Bit to Noise Density requirement*.

2.7.1 Analisis Tautan Sistem Navigasi GNSS (1-Arah)

Arsitektur sinyal navigasi GNSS dikarakterisasikan oleh alokasi lebar pita konstan dan tingkat daya rendah. Komputasi tautan ini difokuskan pada evaluasi daya terima absolut terestrial (P_{rx}) dan parameter kerapatan derau (N_0).

A. Kalkulasi Daya Terima Aktual ($P_{rx_{aktual}}$):

1. **Skenario Satelit Baru:** Komputasi daya terima dieksekusi dengan merujuk pada parameter daya pemancar satelit (Maral & Bousquet, 2009). Persamaan dinyatakan:

$$P_{rx_{aktual}} = EIRP - L_{total} + G_{rx} \quad (2.21)$$

Di mana $EIRP$ adalah *Effective Isotropic Radiated Power*, L_{total} adalah total redaman sistem, G_{rx} adalah *Gain rx*.

2. **Skenario Satelit Eksisting:** Variabel propagasi segmen angkasa (EIRP dan FSPL) dieliminasi dan disubstitusi oleh parameter daya terima minimum merujuk pada spesifikasi standar ICD (Misra & Enge, 2006). Persamaan dinyatakan:

$$P_{rx_{aktual}} = P_{rx_{min}} - L_{total} + G_{rx} \quad (2.22)$$

Di mana $P_{rx_{min}}$ adalah parameter daya terima minimum dari satelit eksisting, L_{total} adalah total redaman sistem dan G_{rx} adalah *Gain rx*.

B. Kerapatan Spektral Derau (N_0):

Kerapatan spektral derau merepresentasikan besaran daya derau termal per 1 Hz lebar pita. Parameter ini dihitung dengan mengonversi konstanta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Boltzmann (k) dan temperatur ekuivalen sistem penerima (T_{sys}) ke dalam domain logaritmik (Kaplan & Hegarty, 2017). Persamaan dinyatakan:

$$N_0 = k + 10 \log_{10}(T_{sys}) \quad (2.23)$$

Di mana k adalah *Konstanta Boltzmann* bernilai 1.38×10^{-23} Joule/ Kelvin, dan T_{sys} adalah temperatur ekuivalen sistem penerima.

C. Carrier-to-Noise Density Aktual:

Rasio daya pembawa terhadap kerapatan derau dikalkulasi untuk mengevaluasi kapabilitas sirkuit pelacak penerima GNSS. Parameter ini merupakan selisih antara daya terima aktual dan kerapatan spektral derau (Kaplan & Hegarty, 2017). Persamaan dinyatakan:

$$(C/N_0)_{aktual} = P_{rx_aktual} - N_0 \quad (2.24)$$

Di mana P_{rx_aktual} adalah Daya Terima Aktual dan N_0 adalah Kerapatan Spektral Derau.

D. Link Margin Navigasi

Kelayakan tautan pada sistem navigasi dievaluasi berdasarkan selisih antara metrik kerapatan derau aktual dan ambang batas sensitivitas minimum sirkuit pelacak (Phase-Locked Loop / PLL) pada perangkat penerima. Tautan diklasifikasikan layak operasi dan mampu mencapai status pelacakan koordinat (Position Fix) apabila komputasi menghasilkan nilai $LM \geq 0 \text{ dB} - \text{Hz}$ (Misra & Enge, 2006). Persamaan dinyatakan:

$$LM = (C/N_0)_{aktual} - (C/N_0)_{threshold} \quad (2.25)$$

Di mana $(C/N_0)_{aktual}$ adalah C/N perancangan, dan $(C/N_0)_{threshold}$ adalah nilai ambang batas.

2.8 Konstanta Parameter Spesifikasi Satelit Eksisting Terregulasi

Kalkulator *link budget* mengintegrasikan basis data parameter teknis konstelasi satelit operasional. Variabel spesifikasi frekuensi radio (RF), penguatan antena, alokasi lebar pita transponder, dan daya pancar ekuivalen diekstraksi dari *datasheet* resmi operator serta standar *Interface Control Document* (ICD).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.8.1 Parameter Acuan Satelit Komunikasi Eksisting (FSS)

Parameter klaster *Fixed-Satellite Service* (FSS) mencakup alokasi spektrum frekuensi operasional *uplink* dan *downlink*. Nilai *EIRP*, metrik sensitivitas penerima (*G/T*) dan tipe polarisasi satelit diintegrasikan untuk mensubstitusi variabel komputasi RF. Referensi spesifikasi industri terangkum pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Parameter Acuan Satelit Komunikasi Eksisting

Nama Satelit	Pita Frekuensi (Band)	Nilai EIRP (dBW)	Nilai G/T (dB/K)	Tipe Polarisasi (Tx/Rx)
Measat-3D	C-Band	44.0	2.0	Vertikal / Horizontal
Asiasat-9	Ku-Band	55.0	-0.5	Vertikal / Horizontal
Intelsat IS-19	C-Band	40.9	2.0	Vertikal / Horizontal
Starlink SpaceX	Ku-Band	36.71	9.8	RHCP / LHCP
OneWeb	Ku-Band	34.6	-1.0	RHCP / LHCP
Telesat	Ka-Band	39.0	13.2	RHCP / LHCP

Sumber: MEASAT, t.t.; AsiaSat, 2017; Intelsat, 2025; del Portillo, dkk., 2018

2.8.2 Parameter Acuan Satelit Navigasi Eksisting (RNSS)

Arsitektur satelit navigasi global (*Radionavigation-Satellite Service* / RNSS) mengimplementasikan transmisi searah (*simplex*) berbasis standar jaminan daya terima minimum terestrial (P_{rx_min}). Parameter ini ditetapkan oleh regulasi teknis internasional untuk menjamin keandalan proses akuisisi dan sinkronisasi sinyal (*signal lock*) secara global pada perangkat penerima (Global Positioning Systems Directorate, 2021; European Union, 2023). Referensi parameter navigasi eksisting terangkum pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Parameter Acuan Satelit Navigasi Eksisting

Nama Satelit	Frekuensi	P_{rx_min}	Tipe Polarisasi (Tx)
IS-GPS-200 III	1575,42 (L1)	-158,50 dBW	Right-Hand Circular (RHCP)
Galileo OS SIS ICD	1575,42 (E1)	-157,25 dBW	Right-Hand Circular (RHCP)

Sumber: Global Positioning Systems Directorate, 2021; European Union, 2023



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.9 Batas Kritis Parameter Fisika dan Regulasi pada Desain Tautan

Pada perangkat lunak simulasi, algoritma validasi disyaratkan untuk menjamin kepatuhan parameter desain terhadap limitasi fisis, geometri spasial, dan spesifikasi perangkat keras. Anomali desain diklasifikasikan menjadi dua tingkat: kegagalan operasional (*Fatal Error*) dan penyimpangan standar industri (*Warning*).

2.9.1 Pelanggaran Batas Fisika dan Termodinamika (*Fatal Error*)

Kondisi *Fatal Error* merepresentasikan anomali parameter yang melampaui limitasi fisis atau spesifikasi maksimum komponen. Anomali ini mengakibatkan diskoneksi tautan (*link outage*) pada sistem komunikasi dan kegagalan komputasi spasial (*no fix*) pada sistem navigasi. Parameter validasi mutlak ini meliputi:

A. Pelanggaran Spektrum Frekuensi Operasional

Pemilihan frekuensi kerja diatur secara ketat oleh regulasi ITU-R Article 5. Dalam arsitektur *Validation Engine*, sistem membedakan vonis kelayakan spektrum berdasarkan sifat batasan teknisnya. Jika perancangan pita frekuensi *downlink* navigasi (RNSS) dipaksakan beroperasi di luar spektrum standar (seperti wilayah L-Band atau S-Band), sistem akan *Fatal Error*, hal ini terjadi karena pelampauan pita berpotensi menyebabkan interferensi, menyalahi hukum fisika propagasi sinyal lemah dan keterbatasan perangkat keras *receiver* GNSS secara mutlak (ITU-R, 2024).

B. Batasan Temperatur Absolut dan Redaman Pasif

Temperatur fisis antena dibatasi secara mutlak pada nilai ≥ 0 Kelvin (nol absolut). Spesifikasi *Noise Figure* (NF) dan parameter redaman pasif (seperti atenuasi kabel dan rugi atmosfer) divalidasi pada nilai ≥ 0 dB. Limitasi ini diimplementasikan karena komponen pasif tidak memiliki kapabilitas amplifikasi daya dan selalu menginjeksikan derau termal tambahan. Di dalam komputasi algoritma sistem, input parameter NF bernilai negatif akan menghasilkan ekuivalensi suhu derau perangkat penerima bernilai minus. Kondisi ini melanggar hukum mutlak termodinamika dan akan merusak keabsahan rantai kalkulasi matematis (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

C. Limitasi Efisiensi Geometri Antena



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Efisiensi antenna (η) merepresentasikan rasio antara area efektif penangkapan sinyal terhadap area fisik geometrisnya. Secara hukum kekekalan energi, nilai ini mutlak harus $> 0\%$ dan tidak mungkin melampaui 100% (Balanis, 2016). Khusus pada satelit navigasi global, parameter penguatan global (K_a) dibatasi oleh luas steradian bola sempurna, dengan batas absolut geometri ruang tanpa kerugian maksimal 41.253 derajat kuadrat (Maral & Bousquet, 2009).

Efisiensi apertur antenna (η) divalidasi secara matematis pada rentang interval $0\% < \eta < 100\%$ (Balanis, 2016). Pada sistem navigasi, parameter konstanta antenna (K_a) dibatasi oleh luasan steradian bola sempurna, dengan nilai sebesar 41.253 derajat kuadrat (Maral & Bousquet, 2009).

D. Mismatch Polarisasi Ortogonal

Kondisi *mismatch* polarisasi ortogonal memicu peningkatan *Cross-Polarization Isolation* (XPI) yang mendekati nilai tak terhingga dimana dalam sistem adalah 20 dB . Pada arsitektur GNSS, implementasi polarisasi sirkuler (RHCP/LHCP) diwajibkan untuk memitigasi redaman polarisasi (*polarization loss*) secara signifikan akibat efek rotasi faraday pada lapisan ionosfer (Misra & Enge, 2006).

E. Parameter Pemrosesan Basis Pita (Baseband)

Pemrosesan pita dasar satelit DVB-S2 mengimplementasikan *pulse shaping* berbasis filter *Root Raised Cosine* (RRC). Parameter *Roll-off Factor* (α) divalidasi secara komputasional pada interval 0.01 hingga 1.0 (ETSI EN 302 307-1, 2014).

F. Limitasi Kualitas Sinyal Aktual

Pada tautan komunikasi, kondisi E_b/N_0 aktual $<$ ambang batas mengakibatkan kegagalan demodulasi bit (*Link Margin* negatif) (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2002). Pada sistem navigasi, rasio kerapatan spektral aktual (C/N_0) $<$ ambang batas memicu kegagalan akuisisi *Phase-Locked Loop* (PLL). Hal ini mengakibatkan kegagalan ekstraksi ephemeris satelit dan menetapkan perangkat penerima pada status *No Fix* (Kaplan & Hegarty, 2017).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.9.2 Penyimpangan Standar Industri dan Kerentanan Desain (*Warning*)

Kondisi *Warning* mengindikasikan bahwa tautan secara teoretis masih beroperasi, namun memiliki efisiensi daya rendah atau menyimpang dari spesifikasi tipikal perangkat keras manufaktur. Indikator penyimpangan standar ini meliputi:

A. *Mismatch* Polarisasi Parsial

Transmisi antarantena berpolarisasi linier dan sirkuler (atau sebaliknya) mengakibatkan reduksi ekstraksi daya elektromagnetik sebesar 50%. Kondisi ini merepresentasikan atenuasi polarisasi (*polarization loss*) konstan sebesar 3 dB (Balanis, 2016).

B. Deviasi Daya Transmisi dan Penguatan Antena

Konfigurasi daya transmisi satelit LEO > 10 dBW atau GNSS > 17 dBW diklasifikasikan sebagai anomali desain akibat inefisiensi *power budget*. Pada segmen penerima GNSS dengan antena omnidireksional, asumsi penguatan antena (Rx Gain) divalidasi pada interval tipikal -5 dBi hingga +3 dBi. Nilai di luar rentang ini merepresentasikan penyimpangan dari spesifikasi perangkat komersial (Kaplan & Hegarty, 2017).

C. Anomali Skema Modulasi Digital

Implementasi skema modulasi tingkat tinggi (16APSK/32APSK) pada satelit bermobilitas tinggi (LEO/MEO/MSS) rentan terhadap pergeseran fasa. Desain tautan pada konstelasi tersebut dioptimalkan menggunakan modulasi dasar (QPSK/8PSK) untuk memitigasi efek *Doppler shift* (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

D. Deviasi Parameter Navigasi Spesifik

Meskipun konstanta antena (K_a) absolut bernilai 41.253, implementasi praktis desain antena satelit GNSS di industri beroperasi pada kisaran nilai 27.000 hingga 33.000 (Maral & Bousquet, 2009). Pada sisi penerima, ambang batas pelacakan *Phase-Locked Loop* (PLL) *chipset* komersial ditetapkan pada interval *Threshold C/N₀* 28 hingga 32 dB-Hz. Konfigurasi di luar interval tersebut merepresentasikan anomali terhadap standar spesifikasi perangkat GNSS modern (Kaplan & Hegarty, 2017).

E. Kerentanan Kondisi Lingkungan Ekstrem



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Atenuasi gas atmosfer (*Atmospheric Absorption Loss*) pada spektrum L-Band/S-Band diestimasikan > 0.5 dB. Di sisi lain, proyeksi redaman lingkungan (*Environmental Loss*) > 15 dB mengindikasikan pemblokiran *Line-of-Sight* (LOS) parah. Kondisi atenuasi ini mereduksi probabilitas stabilitas pelacakan spasial GNSS secara signifikan (ITU-R P.681, 2019).

F. Kerentanan Kondisi Lingkungan Ekstrem

Rugi-rugi ketidaksejajaran antenna (AML) adalah penurunan daya terima akibat ketidakakuratan pelacakan arah (*tracking*) antara stasiun bumi dan satelit. Degradasi ini umumnya dipicu oleh presisi motor penggerak yang rendah atau gangguan beban angin (*wind loading*). Dalam algoritma komputasi, batas toleransi maksimal AML ditetapkan sebesar 1,0 dB. Input yang melampaui batas ini akan memicu indikator *Warning* sebagai peringatan adanya instabilitas pelacakan atau kerentanan pada instalasi fisik antenna (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

2.10 Karakteristik Sudut Elevasi (*Elevation Masking*)

Dalam komputasi *link budget*, sudut elevasi merepresentasikan parameter deterministik yang memengaruhi kualitas saluran propagasi elektromagnetik. Reduksi sudut elevasi menuju horizon berkorelasi langsung dengan degradasi sinyal akibat perpanjangan lintasan fisis atmosferik dan peningkatan absorpsi radiasi termal terestrial.

2.10.1 Pengaruh Elevasi Geometri terhadap Suhu Derau dan Redaman Udara

Secara fisis, sudut elevasi rendah berdampak pada dua anomali parameter atenuasi yang dievaluasi dalam algoritma kelayakan tautan:

A. Peningkatan Redaman Udara (*Atmospheric Absorption / AA Loss*)

Pada elevasi zenith (90°), lintasan gelombang elektromagnetik menembus atmosfer pada jarak minimum. Penurunan sudut elevasi menuju horizon memperpanjang ekuivalensi ketebalan lapisan atmosferik secara proporsional. Kondisi spasial ini berbanding lurus dengan peningkatan atenuasi absorpsi gas, uap air, dan hidrometeor (ITU-R P.618, 2017).

B. Lonjakan Suhu Derau Antena Bumi (*Antenna Temperature / T_{ant}*)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada sudut elevasi presisi tinggi, bukaan antenna terestrial mengisolasi derau termal tersebut secara optimal. Namun pada elevasi rendah ($< 10^\circ$), pola radiasi side lobes antenna menginterseksi permukaan bumi yang beroperasi sebagai radiator benda hitam (blackbody radiator, ~ 290 K). Injeksi radiasi terestrial ini meningkatkan temperatur derau antenna (T_{ant}) dan mereduksi rasio sinyal terhadap derau secara signifikan (Roddy, 2006).

2.10.2 Batasan Elevasi pada Sistem Komunikasi Satelit

Pada perancangan stasiun bumi komersial (FSS, BSS, dan MSS), evaluasi visibilitas satelit diklasifikasikan dalam dua parameter batasan. Secara geometri, sudut elevasi negatif ($< 0^\circ$) mengindikasikan satelit berada di bawah horizon dan terhalang oleh kelengkungan bumi. Kondisi ini menghasilkan diskoneksi tautan mutlak (*Fatal / Not Feasible*).

Pada rentang elevasi 0° hingga 10° , tautan secara teoretis beroperasi namun diklasifikasikan sebagai penyimpangan desain (*Warning*). Hal ini disebabkan oleh tingginya fluktuasi atenuasi hujan dan injeksi derau terestrial (Roddy, 2006). Karakteristik degradasi pada rentang ini bergantung pada spesifikasi orbit satelit:

A. Orbit Geostasioner (GEO)

Satelit bersifat statis terhadap stasiun bumi. Stasiun bumi dengan konfigurasi elevasi $< 10^\circ$ beroperasi dengan tingkat degradasi sinyal yang permanen.

B. Orbit Rendah dan Menengah (LEO/MEO)

Satelit bergerak dinamis melintasi cakrawala pengamat. Kondisi elevasi $< 10^\circ$ bersifat transien saat satelit berada di fase terbit atau terbenam. Kualitas tautan pulih secara proporsional seiring pergerakan satelit menuju zenith (Roddy, 2006).

2.10.3 Elevation Mask Angle pada Sistem Navigasi (GNSS)

Sistem navigasi GNSS mengimplementasikan batasan parameter elevasi yang ketat. Walaupun spektrum L-Band memiliki resistansi tinggi terhadap atenuasi hujan, sudut elevasi rendah meningkatkan probabilitas redaman lingkungan (*Environmental Loss / Multipath Fading*). Sinyal rentan teratenuasi oleh hambatan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terestrial dan mengalami pantulan multijalur sebelum mencapai antenna penerima. Penurunan sudut elevasi memperpanjang lintasan sinyal melintasi troposfer dan ionosfer, yang berkorelasi lurus dengan peningkatan tundaan propagasi (*Tropospheric & Ionospheric Delay*). Tundaan ini mendegradasi akurasi komputasi jarak semu (*pseudorange*) secara signifikan (Kaplan & Hegarty, 2017).

Untuk memitigasi degradasi komputasi spasial, perangkat GNSS mengimplementasikan filter visibilitas *Elevation Mask Angle*. Standar arsitektur GNSS komersial menetapkan batas elevasi pada 5° . Sinyal satelit dengan elevasi $< 5^\circ$ dieliminasi (*discarded*) dari algoritma pemrosesan perangkat penerima untuk mempertahankan stabilitas akurasi koordinat (*Fix*) (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.11 Validasi Teori Kualitas Sinyal Navigasi (C/N_0)

Sistem komunikasi satelit dan *Radionavigation-Satellite Service* (RNSS) mengimplementasikan metrik evaluasi yang spesifik. Algoritma komputasi *link budget* mensyaratkan pemisahan parameter kelayakan tautan antara mode transmisi pita lebar dan penentuan posisi presisi spasial.

2.11.1 Perbedaan Terminologi Kelayakan: *Link Outage* vs *No Fix*

Sistem komunikasi satelit beroperasi untuk memfasilitasi transmisi kapasitas data. Kondisi margin tautan negatif mengakibatkan kegagalan demodulasi sinyal pada perangkat penerima, yang diklasifikasikan sebagai status *Link Outage* (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

Di sisi lain, arsitektur GNSS difokuskan pada sinkronisasi waktu dan komputasi presisi spasial (*latitude, longitude, altitude*). Secara operasional, perangkat penerima yang berhasil mengekstraksi data ephemeris dan mencapai sinkronisasi sinyal dari minimal empat satelit secara simultan diklasifikasikan pada status *Position Fix* (*3D Fix*). Kegagalan korelasi spasial akibat atenuasi sinyal menetapkan sistem perangkat penerima pada status *No Fix* (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.11.2 Metrik Kerapatan Derau dan Pelacakan Pembawa (*Carrier Tracking*)

Evaluasi kelayakan tautan komunikasi mengimplementasikan metrik E_b/N_0 . Sebaliknya, arsitektur navigasi menggunakan metrik *Carrier-to-Noise Density*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Ratio (C/N_0) dalam satuan dB-Hz. Metrik C/N_0 membandingkan daya pembawa (*carrier power*) terhadap kerapatan derau termal per 1 Hz lebar pita ($N_0 = k \times T_{sys}$). Pendekatan ini mengeliminasi variabel alokasi lebar pita perangkat, menjadikan C/N_0 parameter standar untuk mempertahankan stabilitas pelacakan sinyal (*carrier tracking*) (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.11.3 Ambang Batas Akuisisi *Phase-Locked Loop* (PLL)

Keberhasilan desain tautan navigasi dievaluasi berdasarkan rasio C/N_0 aktual pada antenna pengguna. *Chipset receiver* GNSS komersial mengimplementasikan *Phase-Locked Loop* (PLL) untuk sinkronisasi fasa gelombang, dengan spesifikasi ambang batas minimum (*Threshold C/N_0*) tipikal sebesar 28 hingga 32 dB-Hz. Jika nilai kalkulasi aktual < 28 dB-Hz, sirkuit PLL mengalami kegagalan korelasi sandi. Kondisi ini mengakibatkan kegagalan ekstraksi ephemeris, instabilitas komputasi koordinat spasial, dan menetapkan luaran kalkulator pada status *No Fix* (margin tautan negatif) (Kaplan & Hegarty, 2017).

2.11.4 Model Jaminan Daya Terima Minimum

Sistem GNSS mengimplementasikan modulasi *Spread Spectrum* dengan karakteristik tingkat daya di bawah *noise floor*. Regulasi *Interface Control Document* (ICD) menetapkan standar baku kekuatan sinyal minimum. Spesifikasi *Global Positioning System* (GPS) menetapkan jaminan daya terima minimum terestrial (P_{rx_min}) sinyal L1 sebesar -158,5 dBW. Algoritma simulasi navigasi difokuskan pada validasi kapabilitas antenna pengguna dalam mengekstraksi level daya tersebut pasca-atenuasi atmosferik dan redaman multijalur (*multipath fading*) (GPS Directorate, 2021).

2.12 Standar Transisi *Digital Baseband* dan Evaluasi *Link Margin*

Arsitektur satelit modern mengimplementasikan pemrosesan pita dasar (*baseband*) berformat digital. Kinerja transmisi ditentukan oleh efisiensi spektral, pembentukan pulsa (*pulse shaping*), dan skema modulasi. Parameter-parameter digital tersebut berfungsi sebagai basis komputasi evaluasi kelayakan tautan radio melalui metrik rasio E_b/N_0 (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.12.1 Standar Modulasi dan Laju Simbol (*Symbol Rate*)

Standar *Digital Video Broadcasting - Second Generation* (DVB-S2) mendukung implementasi profil modulasi adaptif. Konfigurasi alokasi bit per *symbol* gelombang (efisiensi spektral) disyaratkan untuk menyesuaikan parameter mobilitas orbital wahana dan estimasi atenuasi atmosferik (ETSI EN 302 307-1, 2014):

A. Satelit Orbit Geostasioner (GEO)

Karakteristik statis satelit GEO terhadap stasiun bumi memungkinkan layanan *Fixed-Satellite Service* (FSS) mengimplementasikan skema modulasi orde tinggi (16APSK, 32APSK, 64APSK) untuk mencapai efisiensi spektral maksimum. Operasional profil ini mensyaratkan kondisi cuaca cerah (*Clear Sky*) dan antena stasiun bumi *Gateway*. Sebaliknya, layanan *Broadcasting-Satellite Service* (BSS) berarsitektur *Direct-to-Home* (DTH) membatasi skema modulasi pada orde rendah-menengah (QPSK/8PSK). Konfigurasi ini diimplementasikan untuk mempertahankan *Link Margin* dan keandalan sinyal pada antena penerima berdiameter kecil di bawah atenuasi hidrometeor tinggi. (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019)

B. Satelit Orbit Rendah/Menengah (LEO/MEO) dan MSS

Dinamika pergerakan orbital satelit non-GEO memicu anomali pergeseran frekuensi (*Doppler shift*) yang signifikan. Pada skenario *Mobile-Satellite Service* (MSS), mobilitas terminal pengguna rentan terhadap atenuasi lintasan jamak (*multipath fading*) dari hambatan terestrial. Konsekuensinya, implementasi modulasi orde tinggi dieliminasi. Sistem mengimplementasikan modulasi dasar (BPSK/QPSK) untuk mengoptimalkan kapabilitas penerima dalam melacak perubahan fasa dan mempertahankan sinkronisasi sinyal (*signal lock*) (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

Laju simbol (*Symbol Rate* / R_s) merepresentasikan kecepatan transmisi *symbol* terencode dalam satuan *Mega symbols per second* (MSPS). Parameter R_s berbanding lurus dengan alokasi sewa lebar pita transponder komersial. Pada layanan pita sempit (IoT, telemetri, MSS), laju operasional berada pada interval 0.05 hingga 1 MSPS. Aplikasi VSAT pita lebar beroperasi pada rentang 2 hingga 10



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mbps. Transmisi layanan BSS yang mengutilisasi kapasitas penuh transponder standar (36 MHz atau 54 MHz) beroperasi pada 27.5 hingga 30 Mbps, sementara arsitektur *High Throughput Satellite* (HTS) mengakomodasi laju transmisi dalam rentang 100 hingga 500 Mbps (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019).

2.12.2 Filter Pembentuk Pulsa

Untuk memitigasi *Inter-Symbol Interference* (ISI) yang diakibatkan oleh pelebaran spektrum sinyal pada kanal dengan *bandwidth* terbatas, arsitektur pemrosesan pita dasar (*baseband*) modem satelit mengimplementasikan teknik pembentukan pulsa (*pulse shaping*). Standar industri modern menggunakan arsitektur filter *Root Raised Cosine* (RRC) yang membagi beban penyaringan secara seimbang antara sisi *transmitter* dan *receiver* sebagai *matched filter*. Karakteristik ketajaman transisi pada filter ini direpresentasikan oleh parameter *Roll-off Factor* (α), yang mendefinisikan persentase *bandwidth* ekstra (*excess bandwidth*) di luar batas laju simbol ideal (*Nyquist limit*). Secara perancangan, terdapat kompromi desain (*trade-off*) mutlak: semakin mendekati nilai 0, efisiensi penggunaan spektrum frekuensi akan semakin optimal. Namun, nilai α yang terlampaui kecil menuntut respons gelombang yang sangat panjang di kawasan waktu (*time-domain*), sehingga mengharuskan implementasi komponen semikonduktor dengan kepresisian osilator yang ekstrem, rentan terhadap galat pewaktu (*timing jitter*), dan mendongkrak biaya produksi (*hardware cost*) secara signifikan.

Secara komputasional, parameter α divalidasi pada interval $0 < \alpha \leq 1.0$. Pada spesifikasi perangkat standar DVB-S2 dan DVB-S2X, nilai operasional α dibakukan pada 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, serta 0.35 untuk arsitektur *legacy* (ETSI EN 302 307-1, 2014).

2.12.3 Ambang Batas Kinerja dan *Link Margin* Akhir

Evaluasi kelayakan akhir tautan dikuantifikasi melalui parameter *Link Margin*. Parameter ini mendefinisikan selisih matematis antara rasio energi terhadap derau aktual pada perangkat penerima (*Actual E_b/N_0*) dengan ambang batas minimum perangkat keras (*Required E_b/N_0* atau *Threshold*). Nilai *Threshold* bersifat absolut dan terikat secara spesifik pada profil modulasi yang diimplementasikan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Apabila komputasi $Actual E_b/N_0 < Required E_b/N_0$, perangkat penerima mengalami kegagalan demodulasi bit data. Kondisi ini menghasilkan *Link Margin* negatif ($LM \leq 0 \text{ dB}$) dan menetapkan algoritma simulasi pada luaran *Fatal Error* (*Link Outage*). Sebaliknya, tautan diklasifikasikan layak operasi (*link closure*) secara eksklusif apabila komputasi deterministik menghasilkan nilai *Link Margin* positif ($LM > 0 \text{ dB}$) (Maral & Bousquet, 2009).

2.13 Konsep Poka-Yoke pada Sistem Pakar Validasi Aplikasi

Keandalan aplikasi simulator dievaluasi tidak hanya dari kapabilitas komputasi matematis, melainkan juga dari reliabilitas mitigasi anomali interaksi pengguna (*human error*). Pada arsitektur algoritma deterministik *link budget* satelit, program mensyaratkan proteksi terhadap deviasi parameter masukan untuk mencegah luaran komputasi yang invalid.

2.13.1 Prinsip Garbage In, Garbage Out (GIGO)

Komputasi deterministik dalam disiplin rekayasa perangkat lunak terikat secara absolut pada prinsip *Garbage In, Garbage Out* (GIGO). Prinsip ini menetapkan bahwa input parameter yang melampaui batasan fisis akan mengeksekusi luaran komputasi yang invalid secara keilmuan, terlepas dari tingkat presisi arsitektur algoritma yang diimplementasikan. Konsekuensinya, desain perangkat lunak mensyaratkan integrasi lapisan pencegahan galat (*error-prevention layer*) pada tahap pra-komputasi (Pressman, 2014).

2.13.2 Mekanisme Poka-Yoke pada Antarmuka Pengguna

Untuk memitigasi kegagalan sistem akibat fenomena GIGO, arsitektur antarmuka dan basis kode simulator mengimplementasikan mekanisme *Poka-Yoke* (*mistake-proofing*). Dalam kerangka *Human-Computer Interaction* (HCI), mekanisme ini direpresentasikan sebagai *design constraints* fungsional. Algoritma ini bekerja secara aktif memblokir entri parameter yang menyimpang atau mengeksekusi notifikasi penanganan galat (*error handling*) sebelum program mengalami kegagalan proses (Pressman & Maxim, 2014).

Implementasi *Poka-Yoke* pada arsitektur perangkat lunak diklasifikasikan menjadi dua metode utama:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

A. Pencegahan Fisik (Desain UI Pendikte)

Sistem membatasi opsi entri melalui implementasi elemen antarmuka terstruktur (seperti *dropdown* atau *combobox*) pada parameter berspesifikasi baku (misalnya konfigurasi polarisasi atau nilai *Roll-off Factor*). Arsitektur antarmuka ini secara fungsional mengeliminasi probabilitas galat akibat kesalahan input manual (*typographical error*).

B. Pendeteksian Logika (Mesin Validasi)

Pada parameter perancangan yang mensyaratkan *input* numerik dinamis seperti alokasi frekuensi operasional, besaran daya transmisi, hingga dimensi metrik diameter antenna sistem mengimplementasikan algoritma percabangan kondisional (*If-Else logic*) berlapis. Lapis algoritma ini bertindak sebagai gerbang filter logis (*logic gatekeeper*) yang menjalankan komputasi validasi parameter fisis secara mandiri sebelum eksekusi kalkulasi *Link Margin* akhir diizinkan untuk berjalan. Mekanisme pendeteksian ini secara deterministik akan membandingkan setiap angka masukan pengguna terhadap ambang batas hukum fisika mutlak, regulasi spektrum industri, dan spesifikasi limitasi perangkat keras manufaktur. Dengan demikian, sistem secara proaktif memitigasi kerentanan *Garbage In, Garbage Out* (GIGO), guna memastikan bahwa setiap hasil akhir arsitektur tautan yang disimulasikan memiliki

2.13.3 Arsitektur Mesin Validasi Deterministik

Algoritma validasi perangkat lunak pada simulator beroperasi secara deterministik menggunakan basis referensi standar operasional komunikasi dan navigasi satelit. Pada saat inisiasi kalkulasi, sistem mengeksekusi komparasi parameter input terhadap limitasi termodinamika fisis, geometri spasial, standar alokasi spektrum ITU-R, serta rentang toleransi manufaktur perangkat keras.

Deteksi terhadap anomali limitasi absolut memicu mekanisme *Hard Limit*. Kondisi ini mengeksekusi terminasi proses komputasi dan menetapkan rancangan pada status *Fatal Error* (*Not Feasible* atau *No Fix*). Sebaliknya, pada kondisi desain yang merepresentasikan inefisiensi alokasi daya atau penyimpangan spesifikasi operasional teoretis, sistem mengeksekusi mekanisme *Soft Limit*. Mekanisme ini



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengeksktrak notifikasi *Warning* untuk memberikan parameter optimasi desain berbasis standar industri.

2.14 Visual Basic .NET

Dalam perancangan aplikasi yang dibuat, bahasa pemrograman yang digunakan adalah Visual Basic .NET.



Gambar 2. 4 Logo Visual Basic .NET

Sumber: Aikido Security, 2026

Visual Basic .NET (VB.NET) adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi berorientasi objek (*Object-Oriented Programming / OOP*) yang terintegrasi di dalam ekosistem .NET Framework. Lingkungan pengembangan ini mengutilisasi pustaka kelas (*class library*) ekstensif untuk mendukung konstruksi aplikasi desktop. Pada ranah rekayasa sistem telekomunikasi, kapabilitas VB.NET diimplementasikan untuk perancangan simulator arsitektur tautan berkat efisiensi *Rapid Application Development* (RAD) dan dukungan komputasi numerik presisi tinggi (Gaddis & Irvine, 2020).

2.14.1 Antarmuka Pengguna Grafis (*Graphical User Interface / GUI*)

Graphical User Interface (GUI) merupakan arsitektur interaksi pengguna berbasis elemen visual. Pada lingkungan pengembangan VB.NET, arsitektur antarmuka dikonstruksi menggunakan modul *Windows Forms* (WinForms). Instrumen operasional pada modul ini diklasifikasikan sebagai *controls*, yang meliputi penggunaan *TextBox* untuk entri parameter numerik fisis (seperti frekuensi operasional dan daya transmisi), *ComboBox* untuk seleksi konstanta spesifik (seperti konfigurasi polarisasi), serta *Label* untuk representasi visual luaran komputasi *Link Margin* (Gaddis & Irvine, 2020).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.14.2 Arsitektur Hybrid (*WebView2 & Leaflet.js*)

Pengembangan modul antarmuka spasial pada sistem simulasi ini mengimplementasikan arsitektur *hybrid*. Pendekatan ini memadukan stabilitas komputasi *native* desktop dengan fleksibilitas visualisasi antarmuka web melalui integrasi dua instrumen utama:

A. Microsoft Edge WebView2

Microsoft Edge WebView2 merupakan komponen kontrol (*container*) berbasis mesin peramban Chromium yang diimplementasikan di dalam Visual Basic .NET. Komponen ini berfungsi sebagai jembatan pengeksekusi kode HTML dan JavaScript secara lokal di dalam aplikasi *desktop* (Microsoft Corporation, 2023).

B. Leaflet.js

Leaflet.js merupakan pustaka JavaScript *open-source* untuk visualisasi pemetaan interaktif. Pustaka ini diutilisasi untuk mengeksekusi *plotting* koordinat geometri spasial (lintang dan bujur) antara stasiun bumi dan titik satelit secara dinamis di atas antarmuka peta (Agafonkin, 2024).

2.14.3 iTextSharp

iTextSharp merupakan pustaka perangkat lunak *open-source* berbasis kerangka kerja .NET yang difungsikan untuk membangkitkan dan memanipulasi dokumen *Portable Document Format* (PDF) secara terprogram (*programmatic generation*). Pada sistem ini, pustaka *iTextSharp* diimplementasikan untuk mengekstraksi hasil komputasi *link budget* beserta status kelayakan dari mesin validasi ke dalam bentuk dokumen *Blueprint Guidelines* terotomatisasi (iText Software, 2023).

2.14.4 Layanan Referensi Geometri Spasial (*Satelimap.space*)

Satelimap.space merupakan perangkat lunak pemetaan berbasis web yang diimplementasikan khusus sebagai sistem referensi geometri spasial. Pada simulator ini, layanan tersebut diintegrasikan ke dalam antarmuka aplikasi untuk menyediakan visualisasi interaktif sekaligus referensi titik koordinat dari stasiun satelit. Nilai referensi koordinat sebagai variabel masukan (*input*) bagi mesin algoritma deterministik untuk mengeksekusi komputasi jarak miring (*slant range*) dan sudut elevasi secara presisi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.15 Algoritma Deterministik

Algoritma deterministik merupakan model komputasi prosedural yang secara konsisten menghasilkan *output* yang identik apabila diberikan *input* dan kondisi awal yang sama, tanpa melibatkan elemen probabilitas acak. Dalam simulator *link budget* satelit, implementasi algoritma ini bersifat esensial karena kalkulasi atenuasi propagasi gelombang elektromagnetik dan parameter termodinamika berlandaskan pada persamaan matematis fisika yang aksiomatik. Pendekatan komputasi deterministik ini menjamin stabilitas eksekusi kalkulator numerik dan mesin validasi *Poka-Yoke*, sehingga sistem mampu mengklasifikasikan presisi status kelayakan tautan radio tanpa deviasi galat komputasional (Pressman, 2014).

2.16 Regulasi Spektrum Frekuensi Radio ITU-R

Alokasi spektrum frekuensi radio antariksa diatur secara mutlak oleh dokumen *Radio Regulations Article 5* (ITU-R, 2024). Pada perangkat lunak simulasi, standar ini diimplementasikan sebagai variabel kontrol statis pada mesin *Poka-Yoke*. Input frekuensi yang berada di luar amplop standar layanan ITU-R akan langsung memicu indikator deviasi desain yaitu *Warning* atau *Fatal Error*. Seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Alokasi Spektrum Frekuensi Layanan ITU-R (Region 3)

Klasifikasi Layanan	Pita Frekuensi	Frekuensi Downlink	Frekuensi Uplink
FSS (<i>Fixed-Satellite Service</i>)	C-Band	3.400 – 4.200	5.850 – 6.725
	X-Band	7.250 – 7.750	7.900 – 8.400
	Ku-Band	10.700 – 12.750	13.750 – 14.500
	Ka-Band	17.700 – 21.200	27.500 – 31.000
MSS (<i>Mobile-Satellite Service</i>)	L-Band	1.518 – 1.559	1.610 – 1.675
	S-Band	2.170 – 2.500	1.980 – 2.010
BSS (<i>Broadcasting-Satellite Service</i>)	Ku-Band	11.700 – 12.750	N/A
	Ka-Band	21.400 – 22.000	N/A
RNSS (<i>Radionavigation-Satellite</i>)	L2/L5	1.164 – 1.300	N/A
	L1/E1	1.559 – 1.610	N/A
	S-Band	2.483,5 – 2.500	N/A

Sumber: ITU-R, 2024



2.17 Standar Spesifikasi Perangkat Keras Industri

Parameter fisis dan spesifikasi perangkat keras ini divalidasi terhadap batasan eksisting perangkat-perangkat manufaktur komersial industri satelit. Seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Tipikal Perangkat Keras dan Parameter Fisika Satelit

Komponen / Parameter	Klasifikasi Layanan & Orbit	Rentang Nilai Tipikal Industri
<i>Sat Power</i>	FSS (LEO / MEO / GEO)	0 – 10 / 10 – 15 / 13 – 22 dBW
	MSS (LEO / GEO)	0 – 7 / 10 – 20 dBW
	BSS (GEO)	20 – 35 dBW
	RNSS	14 – 17 dBW
<i>ES Power</i>	FSS (VSAT / Gateway)	3 – 10 dBW / 20 – 35 dBW
	MSS (SAR Limit / Handheld)	-3 – 3 dBW
Diameter Antena Satelit	FSS (LEO / MEO / GEO)	0.5 m – 4.0 m
	MSS (GEO)	9.0 m – 18.0 m
	BSS (GEO)	2.0 m – 3.0 m
	FSS (VSAT Terminal / Gateway)	0.6 m – 2.4 m / 4.0 m – 30.0 m
Diameter Antena Stasiun Bumi (ES)	MSS (Handheld to Maritime)	0.01 m – 1.0 m
	BSS (DTH Home Dish Rx)	0.45 m – 1.2 m
	BSS (Feeder Link Gateway Tx)	4.0 m – 15.0 m
	Konstanta Antena Satelit (K_a)	27.000 – 33.000 (Maks 41.253)
Parameter Khusus Navigasi (RNSS)	Penguatan Antena Penerima (R_x Gain)	-5 dBi hingga +3 dBi
	Threshold C/N_0	28 – 32 dB-Hz
	Redaman Lingkungan (Multipath Loss)	1.0 dB – 15.0 dB
<i>Aperture Efficiency</i>	Universal (Satelit & ES)	50% – 75%
<i>Feeder Loss</i>	Satelit (Internal Waveguide Tx/Rx)	0.5 dB – 1.5 dB
	Stasiun Bumi (Kabel Coaxial Rx)	0.5 dB – 3.0 dB
	Stasiun Bumi (Kabel Coaxial Tx)	1.0 dB – 3.0 dB
Temperatur Antena	Stasiun Bumi FSS / BSS (Arah Langit)	30 K – 150 K
	Stasiun Bumi MSS / RNSS (Arah Permukaan)	100 K – 150 K (RNSS: 100-130 K)
	Satelit (Arah Bumi)	~280 K – 300 K

Sumber: Pratt, Bostian, & Allnutt, 2019; Maral & Bousquet, 2009; Kaplan, 2017; Misra & Enge, 2006; dan Wertz, 1999.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III

PERANCANGAN DAN REALISASI

Bab ini membahas perancangan dan realisasi aplikasi tugas akhir dengan judul yang mencakup berbagai aspek penting yaitu:

3.1 Perancangan Aplikasi

Bab ini menguraikan tahap perancangan, pemodelan logika, serta implementasi perangkat lunak untuk simulasi komunikasi satelit. Sistem ini dirancang untuk mengonversi model matematis dan parameter fisik dari propagasi gelombang elektromagnetik ke dalam antarmuka pengguna grafis (GUI). Aplikasi ini memanfaatkan algoritma deterministik untuk mengevaluasi kelayakan tautan pada berbagai konstelasi orbit dan tipe layanan satelit sesuai dengan standar industri.

Sistem ini dilengkapi dengan modul segmentasi yang mencakup empat layanan standar ITU-R (FSS, MSS, BSS, dan RNSS), basis data parameter satelit yang sedang beroperasi, serta algoritma validasi *Poka-Yoke* dua tingkat. Modul validasi tersebut bertugas mendeteksi anomali berdasarkan batas fisik absolut (Kesalahan Fatal) dan penyimpangan spesifikasi perangkat keras komersial (Peringatan). Selain itu, perangkat lunak ini juga menyertakan alat untuk menghasilkan dokumen dalam format PDF sebagai hasil dari analisis desain.

Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic .NET* (VB.NET) di lingkungan *Windows Forms*. Data koordinat spasial diambil secara real-time melalui integrasi *Microsoft WebView2* yang menampilkan antarmuka peta *Leaflet* dan *Google Maps Hybrid*. Fitur ekstraksi dokumen diimplementasikan dengan menggunakan pustaka *iTextSharp*. Seluruh arsitektur sistem dirancang agar dapat menghasilkan perangkat lunak simulasi mandiri yang telah tervalidasi secara komputasional.

3.1.1 Deskripsi Aplikasi

Aplikasi "Orbitlink Studio" adalah perangkat lunak simulasi berbasis desktop yang dirancang untuk melakukan perhitungan dan analisis anggaran tautan satelit. Sistem ini beroperasi dalam dua mode komputasi utama: Mode Komunikasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(transmisi satu arah dan dua arah) dan Mode Navigasi (perhitungan posisi spasial GNSS). Terdapat dua skema skenario satelit yang diimplementasikan oleh sistem:

A. *New Satellite Mode*

Dalam mode ini, pengguna secara manual menginput semua spesifikasi parameter satelit. Namun, aplikasi juga terintegrasi dengan platform *satellitemap.space* untuk mengakses data koordinat satelit aktual. Integrasi ini bertujuan untuk memastikan keakuratan perhitungan geometri spasial, seperti jarak miring dan sudut elevasi, berdasarkan posisi orbit yang sebenarnya.

B. *Existing Satellite Mode*

Mode ini mensimulasikan tautan komunikasi menggunakan satelit yang sudah ada dan beroperasi (seperti Measat, Starlink, GPS, atau Galileo). Aplikasi secara otomatis menarik spesifikasi teknis dari satelit melalui basis data internal. Dengan demikian, parameter tertentu dari satelit seperti daya pancar, penguatan antena, dan batas frekuensi transponder akan terkunci (*bypassed*). Hal ini memungkinkan pengguna lebih fokus pada konfigurasi spesifikasi perangkat stasiun bumi serta parameter propagasi lingkungan lokal.

Aplikasi ini memproses parameter masukan untuk menjalankan komputasi sesuai dengan setiap mode layanan sebagai berikut:

3.1.1.1 Parameter Mode Komunikasi

Pada sistem komunikasi, alur dibagi menjadi *Downlink* dan *Uplink* (jika mendukung dua arah), kemudian diintegrasikan dengan tahap pemrosesan *baseband* digital.

A. *Parameter Input*

Parameter masukan dikelompokkan dalam lima blok utama: *Frequency and Power* (frekuensi operasional dan daya pancar), *Satellite Parameters* (diameter antena, efisiensi, *feeder loss*, dan polarisasi), *Earth Station Parameters* (diameter antena stasiun bumi, efisiensi, kehilangan feeder, suhu antena, noise figure, dan polarisasi), *Environmental and Mechanical Parameters* (AA loss dan AML), Parameter Digital (*Symbol Rate*, *Roll-off Factor*, serta profil modulasi).

B. *Parameter Output*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem secara otomatis menghitung suhu sistem (T_{sys}), *Free Space Path Loss* (FSPL), penguatan antena satelit dan stasiun bumi, *Equivalent Isotropically Radiated Power* (EIRP), rugi-rugi polarisasi, *total path loss*, dan *Figure of Merit* (G/T). Dalam pemrosesan digital, sistem mengekstraksi nilai *Bandwidth*, *Bit Rate* murni dan efektif, Total rasio C/N , serta nilai E_b/N_0 aktual terhadap batas minimum (required E_b/N_0).

C. Panel Hasil (Results)

Panel ini menyajikan ringkasan evaluasi akhir yang mencakup status kelayakan tautan (*Feasibility Status*), *Link Budget Summary*, *Digital Signal Quality*, Analisis C/N , Informasi Sistem dan Geometri, serta integrasi *Satellite Visualization*.

3.1.1.2 Parameter Mode Navigasi

Sistem navigasi berfokus pada stabilitas penguncian sinyal yang didasarkan pada kerapatan derau (*noise density*) untuk menentukan posisi.

A. Parameter Input

Parameter *input* terbagi menjadi lima kategori utama: *Frequency and Power* (frekuensi L/S-Band, daya pancar satelit, dan *threshold* C/N_0), *Satellite Parameters* (konstanta antena K_a , *feeder loss*, dan polarisasi sirkuler), *User Parameters* (*gain receiver*, *noise figure*, suhu antena, dan polarisasi pengguna), *Environmental Parameters* (*AA loss* dan *ENV/Multipath loss*), serta *Digital Parameters* (*Symbol Rate*, *Roll-off Factor*, dan profil modulasi).

B. Parameter Output

Sistem menghitung parameter GNSS yang mencakup suhu penerima dan sistem (T_{sys}), *Free Space Path Loss* (FSPL), penguatan antena satelit, EIRP satelit, rugi-rugi polarisasi, *total path loss*, daya terima (P_{rx}), kerapatan derau (N_0), nilai C/N_0 aktual, dan Link Margin.

C. Panel Hasil (Results)

Sistem menghitung parameter GNSS seperti suhu penerima dan sistem (T_{sys}), *Free Space Path Loss* (FSPL), penguatan antena satelit, EIRP satelit, rugi-rugi polarisasi, *total path loss*, daya terima (P_{rx}), kerapatan derau (N_0), nilai C/N_0 aktual, dan Link Margin.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Antarmuka aplikasi terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (GIS) melalui peta Leaflet untuk ekstraksi koordinat spasial dan disertai *Contextual Help* yang mengacu pada standar ITU-R. Validasi sistem dilakukan menggunakan metode *Poka-Yoke* untuk mendeteksi anomali dalam desain tautan. Hasil komputasi diekspor dalam format dokumen *blueprint* (PDF) yang membandingkan parameter rancangan pengguna dengan spesifikasi standar industri telekomunikasi yang umum digunakan.

3.1.2 Cara Kerja Aplikasi

Mekanisme dan proses operasional aplikasi divisualisasikan melalui diagram alir (*flowchart*). Mengingat perbedaan dalam algoritma komputasi antara sistem transmisi data dan penentuan posisi, diagram alir dibagi menjadi tiga segmen utama. Segmen pertama adalah *flowchart* utama sistem yang mencerminkan navigasi pengguna secara keseluruhan. Segmen kedua menyajikan *flowchart* untuk komputasi mode komunikasi, yang menjelaskan pengolahan sinyal RF dan *baseband* digital untuk layanan FSS, MSS, dan BSS. Segmen ketiga adalah *flowchart* untuk komputasi mode navigasi yang menggambarkan analisis kerapatan derau (N_0) serta validasi parameter fisik untuk layanan RNSS.

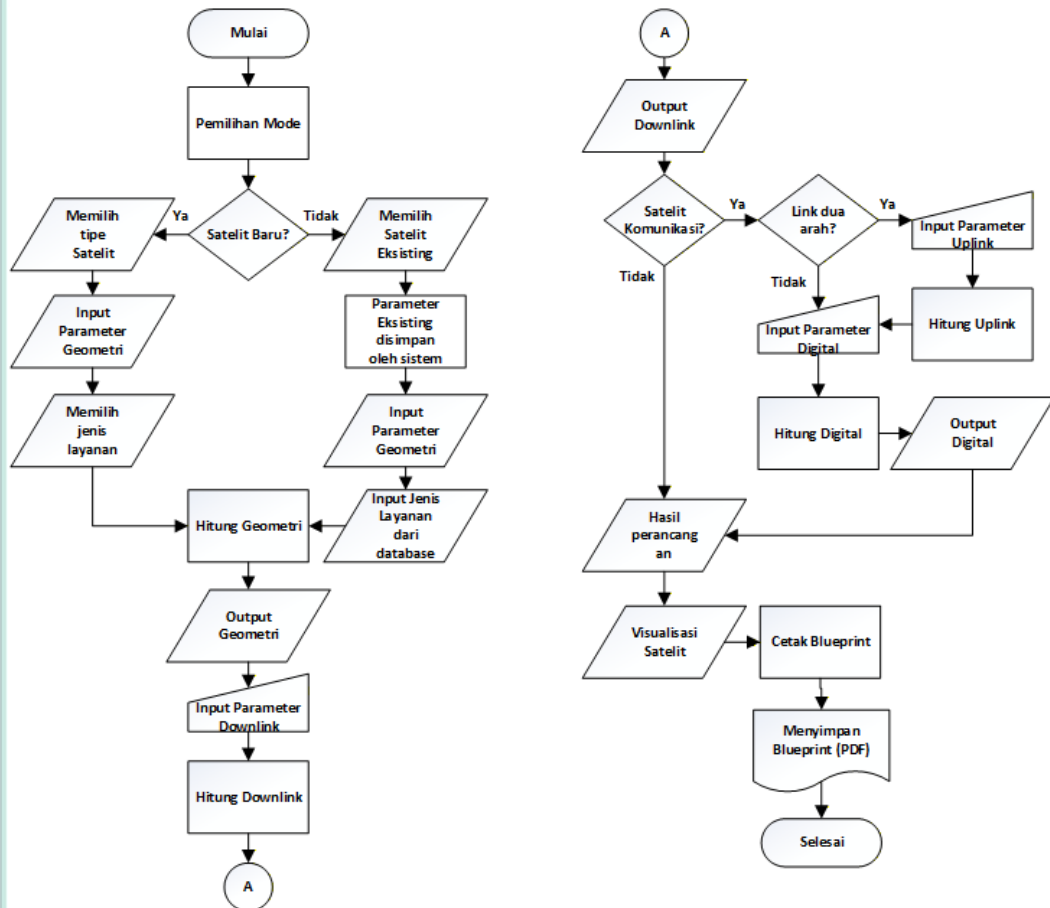
3.1.2.1 Flowchart Utama Sistem

Diagram alir utama memberikan gambaran tentang navigasi pengguna yang meliputi pemilihan mode desain, penentuan lintasan geometri, hingga pencetakan dokumen *blueprint*. Urutan serta percabangan dalam proses aplikasi ini ditampilkan pada Gambar 3.1.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 1 Flowchart Utama Sistem

Alur kerja aplikasi simulasi beroperasi secara terstruktur mulai dari tahap inisialisasi hingga pelaporan hasil akhir. Diagram alir utama mengatur percabangan logika komputasi berdasarkan mode dan jenis layanan yang dipilih pengguna. Tahapan alur kerja sistem utama tersebut diuraikan sebagai berikut:

A. Inisialisasi dan Pemilihan Mode

Proses inisialisasi dimulai dengan pemilihan mode perancangan melalui percabangan logika antara "Satelit Baru" dan "Satelit Eksisting". Dalam mode "Satelit Baru", pengguna harus mengonfigurasi tipe orbit, parameter geometri, dan klasifikasi layanan ITU-R (FSS, MSS, BSS, atau RNSS) secara manual. Sebaliknya, dalam mode "Satelit Eksisting", sistem mengakses basis data internal untuk menarik spesifikasi parameter satelit referensi (seperti Measat atau GPS) dan menyimpannya ke dalam memori global. Pada mode ini, pengguna hanya perlu memasukkan parameter geometri stasiun bumi, sedangkan jenis layanan akan diisi otomatis berdasarkan profil data.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

B. Perhitungan Geometri dan Downlink

Kedua mode perancangan terintegrasi pada tahap komputasi geometri, di mana sistem menghitung jarak miring (*slant range*) dan sudut elevasi berdasarkan koordinat spasial yang ada. Berdasarkan hasil geometri yang diperoleh, pengguna dapat mengonfigurasi parameter RF sisi penerima yang akan dijalankan pada blok komputasi *downlink*. Proses ini menghasilkan informasi mengenai total redaman serta metrik kualitas sinyal tautan turun.

C. Percabangan Layanan Komunikasi dan Navigasi

Berdasarkan luaran komputasi *downlink*, sistem mengeksekusi percabangan logika sesuai klasifikasi layanan satelit. Pada simulasi satelit navigasi, alur komputasi langsung diteruskan menuju blok "Hasil Perancangan". Hal ini dikarenakan sistem GNSS beroperasi secara *simplex* (satu arah) dan menggunakan parameter *Carrier-to-Noise Density* (C/N_0) sebagai metrik utama tanpa pemrosesan *baseband* pita lebar. Sebaliknya, pada simulasi satelit komunikasi, sistem memvalidasi mode transmisi tautan. Untuk konfigurasi transmisi dua arah, sistem mengaktifasi modul masukan dan mengeksekusi blok komputasi *uplink*. Pada transmisi satu arah, tahapan komputasi uplink diabaikan dan proses dilanjutkan langsung ke blok "Input Parameter Digital". Modul ini memproses komputasi standar DVB-S2 yang mencakup *Symbol Rate*, *Bandwidth*, dan metrik E_b/N_0 aktual.

D. Keluaran Akhir dan Pencetakan Laporan

Semua hasil komputasi terintegrasi pada panel "Hasil Perancangan" yang menampilkan status kelayakan tautan (*Feasibility Status*). Sistem juga menyediakan akses ke modul "Visualisasi Satelit" serta menjalankan perintah "Cetak Blueprint". Pelaksanaan perintah tersebut menghasilkan dokumen *blueprint* dalam format PDF yang mencatat spesifikasi teknis perancangan beserta parameter desain yang relevan.

3.1.2.2 Flowchart Komputasi Mode Komunikasi

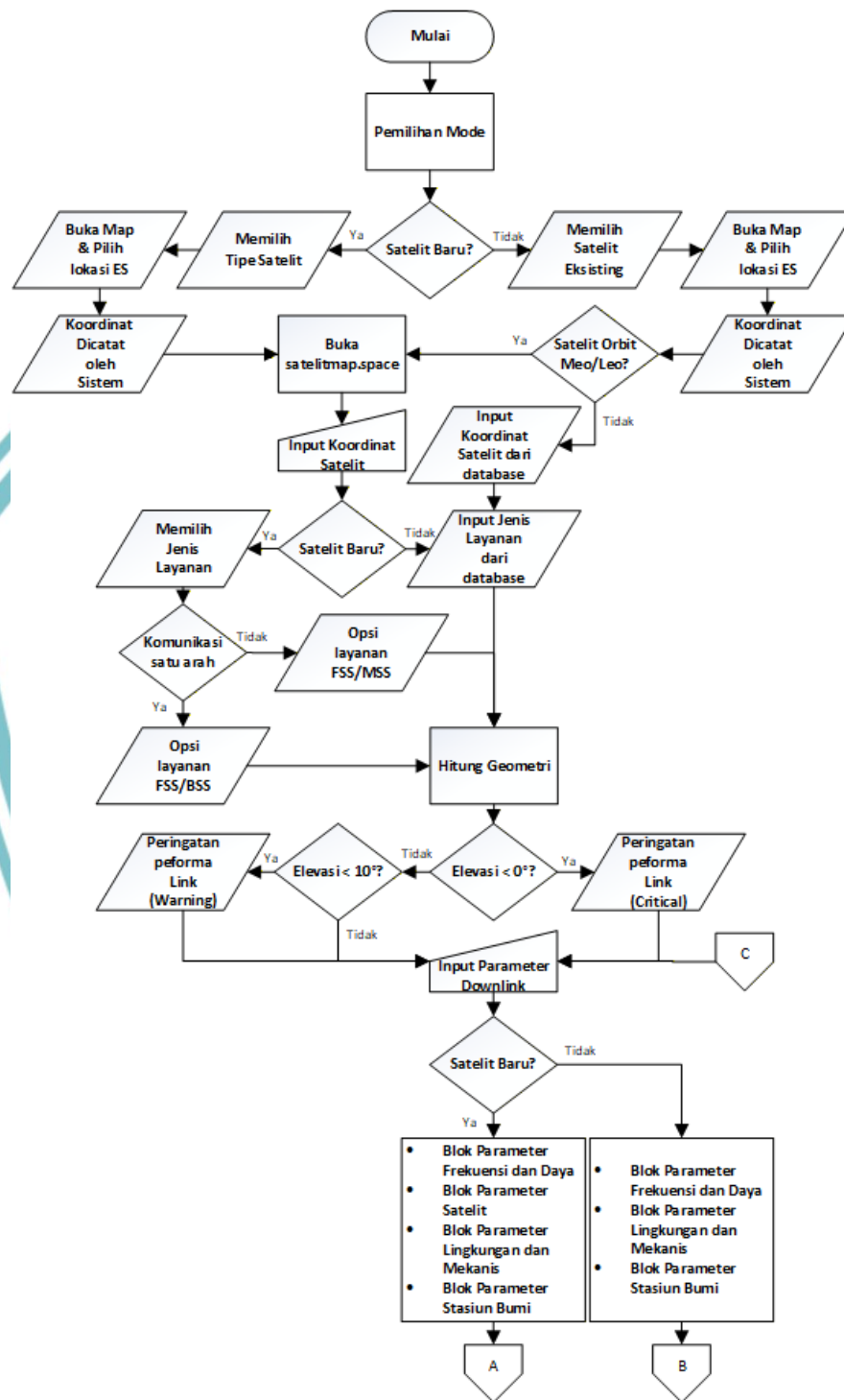
Diagram alir ini menjelaskan logika komputasi untuk parameter frekuensi radio (RF) dan pemrosesan digital dalam konteks layanan komunikasi satelit, termasuk FSS, MSS, dan BSS. Alur ini juga mencakup mekanisme validasi sistem pakar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

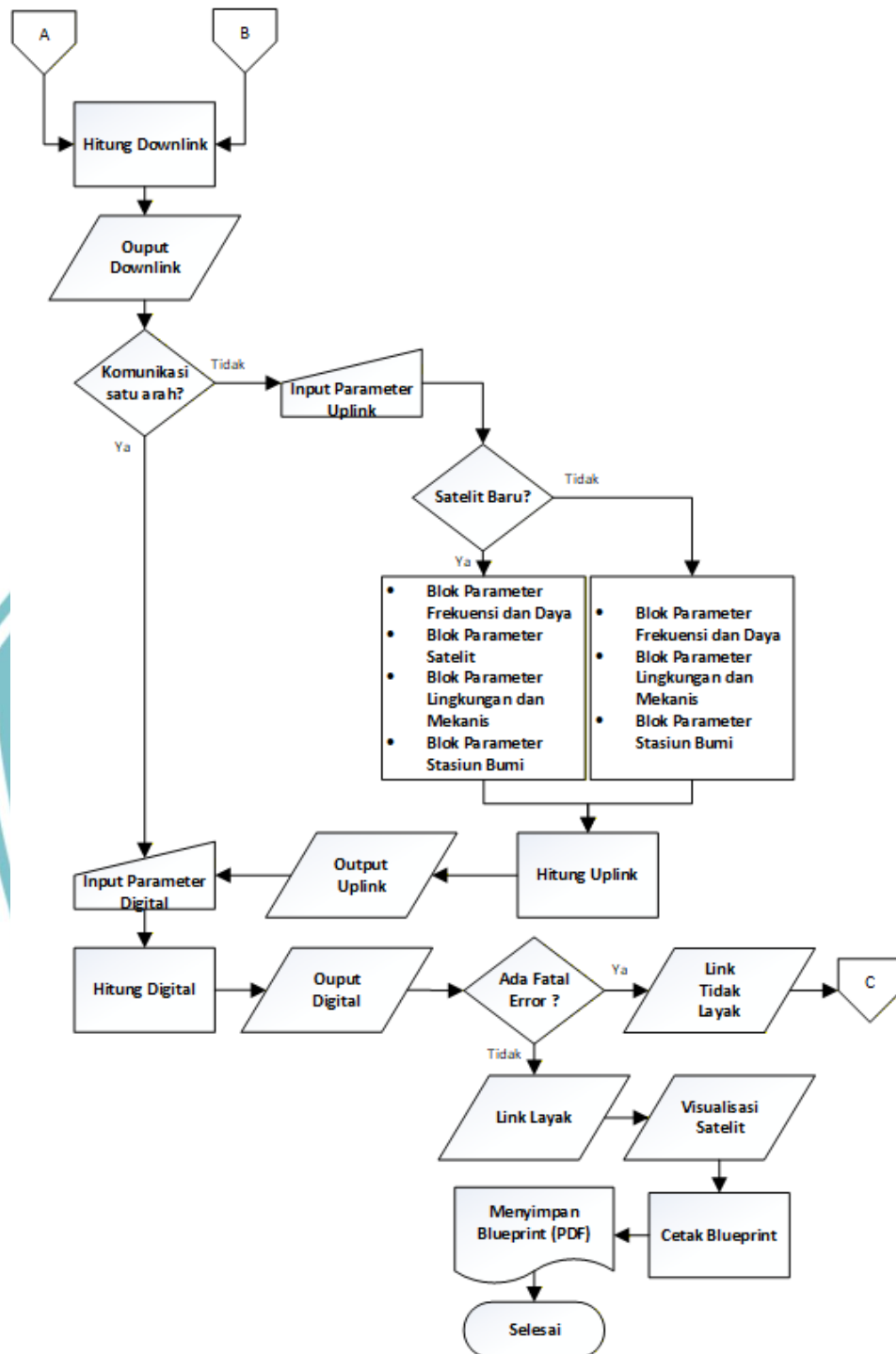
(Poka-Yoke) yang berfungsi untuk mendeteksi anomali kelayakan dari parameter fisik. Rincian arsitektur pemrosesan dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Flowchart Mode Komunikasi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 3 Flowchart lanjutan Mode Komunikasi

Diagram alir diatas menggambarkan struktur backend dan komputasi matematis yang digunakan dalam layanan komunikasi satelit (FSS, BSS, dan MSS). Berbeda dengan diagram alir utama, diagram ini lebih menekankan pada proses akuisisi data, pengolahan parameter RF, serta penerapan sistem validasi sebelum



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

hasil akhir diekspor. Proses komunikasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut:

A. Penentuan Geometri, Pelacakan Orbit, dan Pemilihan Layanan

Proses inisialisasi membagi alur masukan menjadi dua jalur utama berdasarkan mode perancangan sebelum digabungkan di tahap komputasi geometri. Pada mode "Satelit Baru", pengguna mengatur tipe satelit serta menentukan koordinat Stasiun Bumi (ES) melalui antarmuka peta terintegrasi. Data koordinat satelit kemudian dimasukkan secara manual dengan merujuk pada platform *satellitemap.space*. Pengguna juga mendefinisikan klasifikasi layanan ITU-R yang akan divalidasi melalui penyaringan logika sistem: transmisi satu arah membatasi pilihan hanya pada layanan FSS atau BSS, sedangkan transmisi dua arah diperuntukkan bagi FSS atau MSS. Sebaliknya, dalam mode "Satelit Eksisting", proses diawali dengan ekstraksi referensi satelit dari basis data serta penentuan lokasi stasiun bumi. Untuk penentuan koordinat satelit, sistem menerapkan algoritma ekstraksi adaptif; untuk satelit di orbit dinamis (MEO/LEO), input koordinat aktual diperlukan secara manual melalui *satellitemap.space*, sedangkan untuk koordinat statis (GEO), data diambil otomatis dari basis data. Proses diakhiri dengan konfigurasi otomatis spesifikasi jenis layanan berdasarkan profil referensi satelit yang dipilih.

B. Komputasi Geometri dan Peringatan Elevasi Dini

Sistem menghitung jarak miring dan sudut elevasi. Sebelum melakukan komputasi RF, nilai sudut elevasi dievaluasi melalui dua tahap validasi: jika sudut kurang dari 0° , sistem memberikan Peringatan Kritis akibat adanya obstruksi sinyal oleh horizon bumi; jika berada dalam rentang 0° hingga 10° , akan muncul Peringatan terkait tingginya potensi redaman atmosferik. Meski demikian, proses komputasi tetap dapat dilanjutkan untuk analisis akademis.

C. Pemrosesan *Downlink* dan Logika *Bypass*

Pada tahap pemrosesan *downlink*, sistem menjalankan cabang logika berdasarkan mode desain yang dipilih. Dalam mode "Satelit Baru", semua parameter input dalam blok Frekuensi dan Daya, Satelit, Lingkungan Mekanis serta Stasiun Bumi dikonfigurasi secara manual; sebaliknya pada mode "Satelit Eksisting", input parameter satelit dikunci karena spesifikasi daya pancar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ekuivalen (EIRP) telah diekstraksi dari basis data internal. Selanjutnya proses pemodelan dilakukan untuk menghasilkan parameter luaran downlink.

D. Pemrosesan *Uplink* (Kondisional)

Di tahap ini, sistem memvalidasi mode transmisi layanan: untuk komunikasi satu arah, komputasi uplink dinonaktifkan sehingga alur pemrosesan langsung diteruskan ke tahap komputasi digital; sementara itu untuk transmisi dua arah, sistem menjalankan komputasi *uplink* dengan menerapkan mekanisme *bypass* sesuai kebutuhan konfigurasi mode "Satelit Eksisting", dimana modul masukan parameter satelit dikunci akibat spesifikasi *Gain-to-Noise Temperature* (G/T) diekstraksi otomatis dari basis data internal.

E. Komputasi Digital dan Sistem Keamanan (*Poka-Yoke*)

Setelah menyelesaikan komputasi parameter RF, pengguna mengkonfigur parameter digital seperti *Symbol Rate*, *Roll-off Factor* serta profil modulasi untuk mengekstrak metrik digital yang mencakup *Bandwidth*, *Bit Rate* serta nilai E_b/N_0 aktual. Sistem kemudian menerapkan algoritma validasi untuk mendeteksi anomali batasan fisik (Fatal Error). Jika Fatal Error terdeteksi, tautan akan diklasifikasikan sebagai "Link Tidak Layak" sehingga pengguna harus merevisi spesifikasi desainnya; namun jika tidak ada anomali ditemukan maka tautan dianggap sebagai "Link Layak". Sistem akan mengaktifkan akses Visualisasi Satelit dan user lanjut mengeksekusi perintah cetak dokumen.

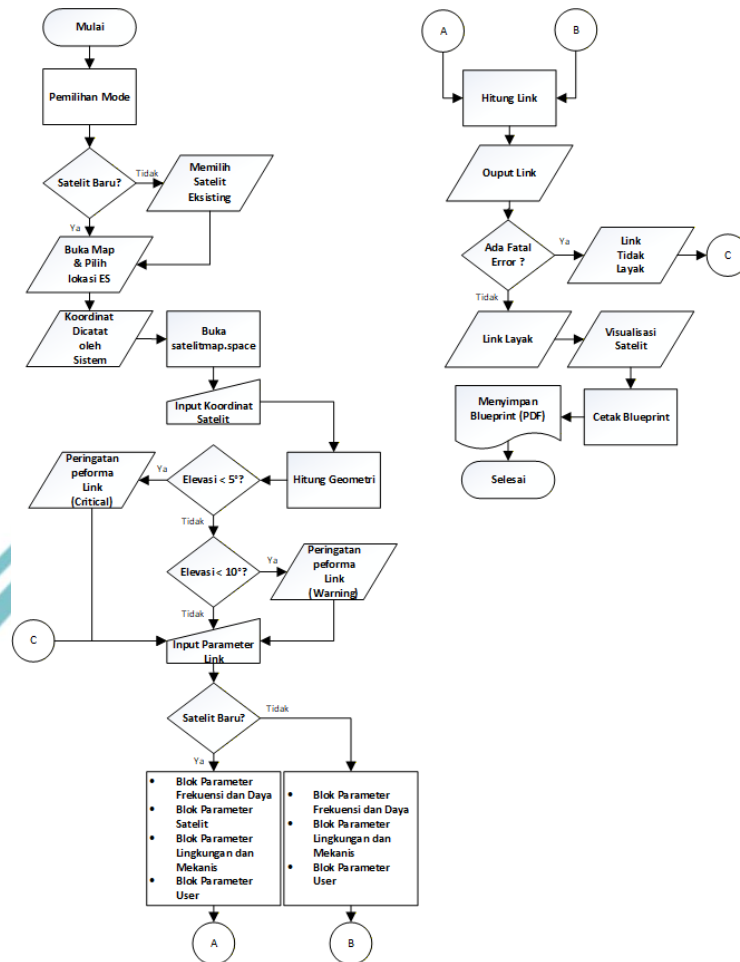
3.1.2.3 Flowchart Komputasi Mode Navigasi

Diagram alir ini menjelaskan arsitektur komputasi untuk sistem navigasi satelit. Tahapan pemrosesan dalam mode navigasi ditampilkan pada Gambar 3.4.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 4 Flowchart Mode Navigasi

Gambar 3.4 tersebut menggambarkan struktur komputasi sistem navigasi satelit (GNSS/RNSS). Berbeda dengan mode komunikasi, mode navigasi berfungsi sebagai sistem penerimaan searah (*simplex*) yang berfokus pada analisis kerapatan derau dan daya terima minimum. Dalam mode ini, sistem secara otomatis mengunci parameter operasional sesuai standar *Radionavigation-Satellite Service* (RNSS) tanpa memerlukan masukan tambahan untuk klasifikasi layanan. Proses navigasi dibagi menjadi tahapan-tahapan berikut:

A. Penentuan Geometri Lintas Orbit

Setelah mode perancangan diinisialisasi, koordinat stasiun penerima diperoleh melalui integrasi dengan antarmuka peta *Leaflet*. Selanjutnya, spesifikasi koordinat referensi dari satelit diinput secara manual berdasarkan platform *satellitemap.space*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

B. Komputasi Geometri dan Peringatan Kritis Elevasi

Sistem menghitung jarak miring dan sudut elevasi. Mengingat sensitivitas sinyal navigasi terhadap obstruksi fisik, sistem menerapkan batasan *Elevation Mask* melalui dua tahap validasi. Jika sudut elevasinya kurang dari 5° , sistem akan memberikan *Critical Warning* karena tingginya kemungkinan distorsi troposferik dan interferensi multipath yang biasanya diabaikan oleh penerima aktual, sehingga dapat menyebabkan status *Total Failure (No Fix)*. Jika sudut elevasinya berada dalam rentang 5° hingga 10° , sistem akan menunjukkan Warning mengenai potensi redaman akibat pantulan sinyal. Pada kedua kondisi parameter elevasi tersebut, proses komputasi tetap dapat dilanjutkan untuk analisis akademis terkait kelayakan tautan.

C. Pemrosesan Parameter Tautan dan Logika Bypass

Pada blok "Input Parameter Link", sistem mengatur distribusi kolom masukan sesuai dengan mode perancangan yang dipilih. Dalam mode "Satelit Baru", semua parameter dikonfigurasi secara manual, meliputi blok *Frequency and Power*, blok *Satellite Parameters* (konstanta antena/ K_a , *feeder loss*, dan polarisasi), blok *Environmental Parameters*, serta blok *User Parameters* (*gain* dan suhu *receiver*). Sebaliknya, dalam mode "Satelit Eksisting", mekanisme bypass diterapkan pada modul parameter satelit; pengisian blok tersebut tidak diperlukan karena nilai *Minimum Received Power* (P_{rx_min}) telah diekstraksi secara otomatis dari basis data internal.

D. Komputasi Tautan dan Sistem Keamanan GNSS

Setelah seluruh parameter dikonfigurasi, sistem mengeksekusi komputasi output akhir. Selanjutnya, algoritma validasi menganalisis anomali batasan fisik (Fatal Error), seperti *Link Margin* negatif atau ketidaksesuaian polarisasi sirkuler (RHCP dan LHCP). Jika anomali terdeteksi, tautan akan diklasifikasikan sebagai "Link Tidak Layak", sehingga pengguna harus merevisi spesifikasi perancangan tersebut. Namun jika tidak ada anomali yang terdeteksi, tautan akan dianggap sebagai "Link Layak". Dalam keadaan kelayakan ini, sistem mengaktifkan akses ke modul Visualisasi Satelit dan memungkinkan perintah pencetakan dokumen *blueprint* dalam format PDF.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.3 Spesifikasi Aplikasi

Pada fase perancangan, pengembangan, dan implementasi aplikasi simulasi "Orbitlink Studio", diperlukan standar minimum untuk spesifikasi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Memenuhi spesifikasi ini penting untuk memastikan stabilitas dalam komputasi matematis, rendering antarmuka, serta proses ekspor dokumen. Berikut adalah rincian mengenai spesifikasi:

A. Spesifikasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Spesifikasi perangkat keras sesuai komputasi rekayasa teknik. Rincian spesifikasi perangkat keras tersebut diuraikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Hardware*

Komponen Perangkat Keras	Spesifikasi
Processor (CPU)	Intel Core i5 Gen 12
Memori Utama (RAM)	16 GB DDR4
Media Penyimpanan (<i>Storage</i>)	512 GB SSD NVME
Resolusi Layar (<i>Display</i>)	FHD 1920 x 1080 piksel
Jaringan & Konektivitas	Modul Wi-Fi / <i>Ethernet</i> terintegrasi (Wajib untuk akses <i>server</i> peta)

B. Spesifikasi Perangkat Lunak (*Software*)

Spesifikasi perangkat lunak yang digunakan sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Rincian spesifikasi perangkat lunak tersebut diuraikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Software*

Komponen Perangkat Lunak	Spesifikasi / Keterangan
Sistem Operasi	Microsoft Windows 10 / Windows 11 (64-bit)
<i>Integrated Development Environment</i> (IDE)	Microsoft Visual Studio (Community / Professional)
Bahasa Pemrograman	Visual Basic .NET (VB.NET)
Runtime Framework	.NET Framework 4.7.2
Pustaka Pembuatan Dokumen (<i>PDF Engine</i>)	iTextSharp <i>Library</i>
Pustaka Integrasi Web (<i>Browser Engine</i>)	Microsoft.Web.WebView2 & Microsoft Edge WebView2 <i>Runtime</i>
Mesin Pemetaan Geografis	Leaflet.js dengan <i>Tile Layer</i> Google Maps Hybrid
Layanan Referensi Eksternal (<i>Web Service</i>)	Satelitmap.space

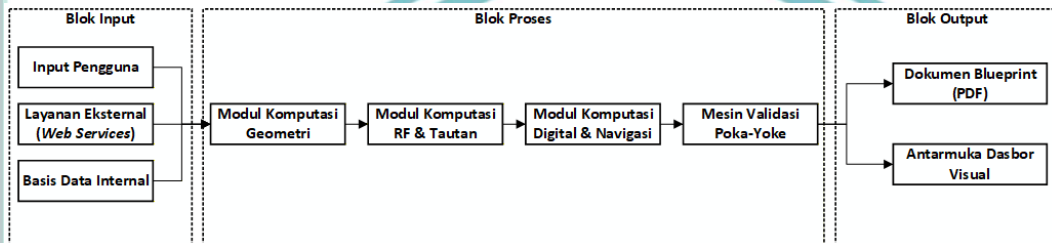


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.4 Diagram Blok Sistem

Berbeda dari diagram alir yang menggambarkan alur logika program, diagram blok sistem menyajikan arsitektur perangkat lunak menurut model *Input-Process-Output* (IPO). Diagram ini mencerminkan aliran data konseptual yang mencakup langkah-langkah akuisisi data, pemrosesan komputasi, dan pelaporan hasil akhir. Aliran data tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Blok Sistem Aplikasi Orbitlink Studio

Berdasarkan Gambar 3.5, arsitektur sistem dibagi menjadi tiga blok fungsional utama. Blok pertama adalah Blok *Input*, yang berfungsi untuk menerima parameter masukan sebelum proses komputasi dimulai. Data dalam blok ini dikumpulkan dari tiga sumber yang saling terintegrasi: masukan pengguna, basis data internal untuk spesifikasi parameter satelit, dan layanan web eksternal seperti *Google Maps* dan *satellitemap.space* untuk referensi koordinat spasial.

Setelah parameter masukan terpenuhi, data akan diteruskan ke Blok Proses yang berperan sebagai unit pemrosesan utama perangkat lunak. Pemrosesan diawali oleh Modul Komputasi Geometri dan dilanjutkan ke Modul Komputasi RF. Hasil dari komputasi RF selanjutnya diproses oleh Modul Digital dan Navigasi untuk menghasilkan parameter performa akhir *link* berupa rasio C/N_0 atau E_b/N_0 . Sebelum melanjutkan ke blok berikutnya, data divalidasi oleh Mesin Validasi *Poka-Yoke* yang berfungsi sebagai modul validasi terakhir untuk mendeteksi anomali desain sesuai dengan batasan fisik maupun regulasi ITU-R.

Tahap terakhir berada di Blok *Output*, di mana hasil komputasi dan validasi disajikan dalam dua bentuk keluaran. Keluaran pertama ditampilkan melalui antarmuka dasbor visual yang menunjukkan metrik komputasi secara menyeluruh beserta indikator kelayakan *link*. Secara bersamaan, sistem juga menyediakan opsi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keluaran kedua berupa dokumen blueprint dalam format PDF untuk mengekspor seluruh parameter perancangan ke dalam format *blueprint*.

3.2 Realisasi Aplikasi

Tahap realisasi aplikasi adalah proses penerapan desain arsitektur sistem, spesifikasi perangkat lunak, diagram blok, dan diagram alir komputasi ke dalam antarmuka grafis pengguna (GUI) serta kode sumber yang berfungsi. Aplikasi "Orbitlink Studio" diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic .NET*. Pembahasan pada sub-bab ini dibagi berdasarkan fungsionalitas dan alur navigasi pengguna menjadi lima segmen utama. Segmen-segmen tersebut mencakup realisasi modul logika komputasi (*backend engine*), antarmuka utama dan layanan pendukung, antarmuka konfigurasi sistem dan pemetaan geometri, antarmuka dasbor komputasi dan ekspor cetak biru, serta antarmuka visualisasi operasional satelit.

3.2.1 Realisasi Modul Logika Komputasi (*Backend Engine*)

Pengembangan aplikasi dimulai dengan konstruksi arsitektur *backend* yang terintegrasi dalam modul-modul komputasi. Sub-bab ini menjelaskan lima modul utama yang mengelola logika data secara internal tanpa melibatkan UI, yaitu ModGlobal, ModGeometri, ModRF, ModNavigasi, dan ModDigital.

A. ModGlobal

ModGlobal berperan sebagai penyimpan data dalam struktur perangkat lunak. Modul ini dibuat untuk mengelola perubahan data dalam pemrograman dan mempermudah pengiriman parameter antara antarmuka. Semua variabel yang terdapat dalam modul ini dinyatakan dengan penentu akses *Public* yang bersifat global, sehingga memungkinkan seluruh form simulasi untuk mengakses dan memanipulasi data secara terintegrasi. Struktur deklarasi kamus data pada ModGlobal dapat dilihat pada cuplikan kode berikut:

```
Public Module ModGlobal
    Public OrbitTerpilih As String = ""
    Public AplikasiTerpilih As String = ""
    Public IsDuaArah As Boolean = True
    Public JenisKalkulator As String = ""
    Public ServiceType As String = ""
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Public LatSatelitDB As Double = 0
Public LongSatelitDB As Double = 0
Public AltSatelitDB As Double = 0
Public EirpDB As Double = 0
Public GtDB As Double = 0
Public PolTxDB As String = ""
Public PolRxDB As String = ""
```

```
Public GlobalSlantRange As Double = 0
Public GlobalTeta As Double = 0
Public GlobalElevasi As Double = 0
Public GlobalLatES As Double = 0
Public GlobalLongES As Double = 0
Public GlobalLatSat As Double = 0
Public GlobalLongSat As Double = 0
```

```
Public FreqDlMinDB As Double = 0
Public FreqDlMaxDB As Double = 0
Public FreqUlMinDB As Double = 0
Public FreqUlMaxDB As Double = 0
Public PrxDB As Double = 0
```

```
Public GlobalNoradID As String = ""
Public KelasOrbit As String = ""
```

```
End Module
```

Berdasarkan struktur kode tersebut, alokasi memori di ModGlobal dibagi menjadi empat fungsi utama. Klaster pertama mencakup variabel status (seperti OrbitTerpilih dan IsDuaArah) yang berperan sebagai pengendali status untuk merekam parameter inisialisasi agar dapat menentukan jalur navigasi sistem. Klaster kedua berisi spesifikasi teknis satelit yang diambil dari basis data internal, dengan atribut yang terkunci (*read-only*) untuk mencegah modifikasi yang tidak sah. Klaster ketiga mengelola variabel komputasi spasial awal (seperti GlobalSlantRange dan GlobalElevasi) untuk memastikan kelancaran pemrosesan redaman tautan dalam modul komputasi utama. Klaster keempat mengalokasikan parameter identitas (seperti GlobalNoradID dan KelasOrbit) untuk mendukung integrasi pelacakan visual berbasis WebView2 serta otomatisasi pembuatan laporan berformat PDF.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

B. ModGeometri

ModGeometri berfungsi sebagai modul yang memproses aritmetika spasial untuk mengubah koordinat geografis dari stasiun bumi dan satelit menjadi parameter jarak dan sudut elevasi. Struktur algoritma komputasi spasial dalam ModGeometri dapat dilihat pada kode di bawah ini:

```
Module ModGeometri
    Public Const R_E As Double = 6371.0

    Public Function DegToRad(derajat As Double) As Double
        Return derajat * (Math.PI / 180.0)
    End Function

    Public Function RadToDeg(radian As Double) As Double
        Return radian * (180.0 / Math.PI)
    End Function

    Public Function HitungCosPsi(latES As Double, longES As Double,
    latSat As Double, longSat As Double) As Double
        Dim latES_rad As Double = DegToRad(latES)
        Dim longES_rad As Double = DegToRad(longES)
        Dim latSat_rad As Double = DegToRad(latSat)
        Dim longSat_rad As Double = DegToRad(longSat)
        Dim deltaLong_rad As Double = longSat_rad - longES_rad

        Return (Math.Sin(latES_rad) * Math.Sin(latSat_rad)) +
            (Math.Cos(latES_rad) * Math.Cos(latSat_rad) *
            Math.Cos(deltaLong_rad))
    End Function

    Public Function HitungSlantRange(cosPsi As Double, altSat As
    Double) As Double
        Dim rSat As Double = R_E + altSat
        Dim R_kuadrat As Double = (R_E ^ 2) + (rSat ^ 2) - (2 * R_E *
        rSat * cosPsi)
        Return Math.Sqrt(R_kuadrat)
    End Function

    Public Function HitungElevasi(cosPsi As Double, slantRange As
    Double, altSat As Double) As Double
        Dim rSat As Double = R_E + altSat
        Dim sinElevasi As Double = ((rSat * cosPsi) - R_E) / slantRange
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

If sinElevasi > 1.0 Then sinElevasi = 1.0
If sinElevasi < -1.0 Then sinElevasi = -1.0

Return RadToDeg(Math.Asin(sinElevasi))

End Function

End Module

```

Algoritma ModGeometri dilaksanakan melalui tiga tahap komputasi utama. Pertama, fungsi HitungCosPsi menghitung kosinus dari sudut sentral (ψ) antara stasiun bumi dan satelit. Selanjutnya, perhitungan jarak miring dilakukan oleh fungsi HitungSlantRange, yang menggunakan konstanta jari-jari bumi (R_E) serta ketinggian orbit satelit. Terakhir, fungsi HitungElevasi menghasilkan nilai sudut elevasi antena mekanis stasiun bumi. Untuk menjaga stabilitas program, mekanisme *clamping* diterapkan pada variabel sinElevasi untuk membatasi nilai trigonometri dalam rentang absolut -1 hingga 1, sehingga mencegah terjadinya galat *Not-a-Number* (NaN).

C. ModRF

ModRF diimplementasikan sebagai modul komputasi utama untuk memproses parameter fisis propagasi gelombang elektromagnetik. Modul ini mendeklarasikan konstanta fisika seperti kecepatan cahaya (c), suhu referensi absolut (T_0), dan konstanta Boltzmann (k) sebagai variabel global. Fungsionalitas modul mencakup perhitungan *EIRP*, *FSPL*, *G/T*, hingga *C/N*. Berikut adalah kode dari ModRF:

```

Module ModRF

#Region "Konstanta"

Public Const c As Double = 299792458.0
Public Const k_dB As Double = -228.6
Public Const T0 As Double = 290.0

#End Region

#Region "Transmitter"

Public Function HitungGainAntena(Diameter_m As Double, Efisiensi
As Double, Frekuensi_MHz As Double) As Double
    Dim f_Hz As Double = Frekuensi_MHz * 1000000.0
    Dim parameterDalamKurung As Double = (Math.PI * Diameter_m *
f_Hz) / c

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Dim gainLinear As Double = Efisiensi *
Math.Pow(parameterDalamKurung, 2)
Return 10.0 * Math.Log10(gainLinear)
End Function

Public Function HitungEIRP(Ptx_dBW As Double, GainTx_dBi As Double,
FeederLossTx_dB As Double) As Double
Return Ptx_dBW + GainTx_dBi - FeederLossTx_dB
End Function
#End Region

#Region "Propagasi"
Public Function HitungFSPL(SlantRange_km As Double, Frekuensi_MHz
As Double) As Double
Dim f_GHz As Double = Frekuensi_MHz / 1000.0
Return (20.0 * Math.Log10(SlantRange_km)) + (20.0 *
Math.Log10(f_GHz)) + 92.45
End Function

Public Function HitungTotalLoss(FSPL_dB As Double, AALoss_dB As
Double, PolLoss_dB As Double, AMLoss_dB As Double) As Double
Return FSPL_dB + AALoss_dB + PolLoss_dB + AMLoss_dB
End Function

Public Function HitungPolarizationLoss(PolTx As String, PolRx As
String) As Double
If PolTx = PolRx Then
Return 0.0
ElseIf (PolTx = "Horizontal" Or PolTx = "Vertikal") And (PolRx
= "RHCP" Or PolRx = "LHCP") Then
Return 3.0
ElseIf (PolTx = "RHCP" Or PolTx = "LHCP") And (PolRx =
"Horizontal" Or PolRx = "Vertikal") Then
Return 3.0
Else
Return 20.0
End If
End Function
#End Region

#Region "Receiver"
Public Function HitungSuhuRx(NF_dB As Double) As Double
Dim nf_linear As Double = Math.Pow(10.0, NF_dB / 10.0)
Return T0 * (nf_linear - 1.0)

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

End Function

Public Function HitungSuhuSistem(Tant_K As Double, Trx_K As Double)
As Double
    Return Tant_K + Trx_K
End Function

Public Function HitungGT(GainRx_dBi As Double, FeederLossRx_dB As
Double, Tsys_K As Double) As Double
    Return GainRx_dBi - FeederLossRx_dB - (10.0 *
Math.Log10(Tsys_K))
End Function
#End Region

#Region "Carrier To Noise"
Public Function HitungCN(EIRP_dBW As Double, TotalLoss_dB As
Double, GT_dBK As Double, Bandwidth_MHz As Double) As Double
    Dim B_Hz As Double = Bandwidth_MHz * 1000000.0
    Dim ThermalNoise_dBW As Double = k_dB + (10.0 *
Math.Log10(B_Hz))
    Return EIRP_dBW - TotalLoss_dB + GT_dBK - ThermalNoise_dBW
End Function

Public Function HitungCNTotal(CN_UL_dB As Double, CN_DL_dB As
Double) As Double
    Dim cn_ul_lin As Double = Math.Pow(10.0, CN_UL_dB / 10.0)
    Dim cn_dl_lin As Double = Math.Pow(10.0, CN_DL_dB / 10.0)
    Dim cn_tot_lin As Double = 1.0 / ((1.0 / cn_ul_lin) + (1.0 /
cn_dl_lin))
    Return 10.0 * Math.Log10(cn_tot_lin)
End Function
#End Region

End Module

```

Secara arsitektural, ModRF mengimplementasikan perlindungan logika komputasi melalui mekanisme *Poka-Yoke* pada fungsi HitungPolarizationLoss. Mekanisme ini mengevaluasi dan menghitung penalti redaman polarisasi secara dinamis, yaitu sebesar 3 dB untuk ketidaksesuaian parsial (*linear-to-circular*) dan 20 dB untuk ketidaksesuaian ortogonal (seperti persilangan polarisasi horizontal dan vertikal). Selanjutnya, untuk mencegah galat matematis pada komputasi satelit bertransponder transparan, fungsi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HitungCNTotal mengonversi nilai C/N *uplink* dan C/N *downlink* ke domain linear. Sistem kemudian mengeksekusi hukum penjumlahan paralel derau termal sebelum mengonversi kembali hasil akhir ke dalam satuan desibel (dB).

D. ModNavigasi

ModNavigasi diimplementasikan untuk komputasi *link* sistem satelit navigasi, modul ini berfokus menghitung parameter C/N_0 . Modul ini mengakomodasi dua mode simulasi melalui pemisahan logika komputasi daya terima (P_{rx}) untuk perancangan satelit baru dan satelit eksisting. Berikut adalah kode dari ModNavigasi:

```
Public Module ModNavigasi

    Public Const KonstantaBoltzman As Double = -228.6

    Public Function HitungGainTx(ka As Double, targetBeamwidth As Double) As Double
        Return 10.0 * Math.Log10(ka / (targetBeamwidth ^ 2))
    End Function

    Public Function HitungEIRP(ptx_dBW As Double, gtx_dBi As Double, feederLoss As Double) As Double
        Return ptx_dBW + gtx_dBi - feederLoss
    End Function

    Public Function HitungFSPL(slantRange_km As Double, frekuensi_GHz As Double) As Double
        Return (20.0 * Math.Log10(slantRange_km)) + (20.0 * Math.Log10(frekuensi_GHz)) + 92.45
    End Function

    Public Function HitungTotalLoss(fspl As Double, aaLoss As Double, envLoss As Double, polLoss As Double) As Double
        Return fspl + aaLoss + envLoss + polLoss
    End Function

    Public Function HitungPrxBaru(eirp As Double, totalLoss As Double, gainRx As Double) As Double
        Return eirp - totalLoss + gainRx
    End Function
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Public Function HitungPrxEksisting(pre_min As Double, aaLoss As
Double, envLoss As Double, polLoss As Double, gainRx As Double) As
Double
    Return pre_min - aaLoss - envLoss - polLoss + gainRx
End Function

Public Function HitungTrx(noiseFigure_dB As Double) As Double
    Return 290.0 * ((10.0 ^ (noiseFigure_dB / 10.0)) - 1)
End Function

Public Function HitungTsys(tant As Double, trx As Double) As Double
    Return tant + trx
End Function

Public Function HitungNoiseDensity(tsys As Double) As Double
    Return KonstantaBoltzman + (10.0 * Math.Log10(tsys))
End Function

Public Function HitungCN0(prx_dBW As Double, n0_dBW_Hz As Double)
As Double
    Return prx_dBW - n0_dBW_Hz
End Function

Public Function HitungLinkMargin(cn0_Aktual As Double,
cn0_Threshold As Double) As Double
    Return cn0_Aktual - cn0_Threshold
End Function

End Module

```

Algoritma pada ModNavigasi mengeksekusi perhitungan berdasarkan pendekatan geometris dan standar spesifikasi. Pada simulasi rancangan baru, penguatan antenna satelit (G_{tx}) komputasi dihitung dari target sudut pancaran spasial (*beamwidth*) dan konstanta antenna (K_a). Sebaliknya, pada mode satelit eksisting, fungsi HitungPrxEksisting menerapkan mekanisme *bypass* terhadap komputasi spesifikasi perangkat pemancar satelit dan FSPL. Logika ini merujuk pada database internal yang telah menetapkan standar referensi daya terima minimum (P_{rx_min}) di permukaan bumi. Oleh karena itu, komputasi daya terima aktual (P_{rx}) hanya mengalkulasi reduksi akibat redaman lokal stasiun bumi yang kemudian dikompensasi oleh penguatan antenna penerima.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada tahap akhir, sistem membandingkan daya terima tersebut dengan kepadatan derau termal penerima (N_0) melalui fungsi HitungCN0 untuk menghasilkan rasio kualitas sinyal absolut.

E. ModDigital

ModDigital berfungsi sebagai tahap pemrosesan akhir untuk mengonversi metrik frekuensi radio (RF) ke dalam domain pita dasar (*baseband*). Modul ini mengacu pada standar ETSI EN 302 307-1 (DVB-S2). Fungsionalitas utamanya mencakup komputasi *bandwidth*, *bit rate*, dan E_b/N_0 untuk mengevaluasi probabilitas keberhasilan demodulasi sinyal. Berikut adalah kode dari ModDigital:

```
Module ModDigital

#Region "Struktur Data"
  Public Structure ProfilDVBS2
    Public EfisiensiSpektral As Double
    Public EsNoThreshold As Double
    Public OrdeModulasi As Integer
  End Structure
#End Region

#Region "Database DVB-S2"
  Public Function GetProfilDVBS2(NamaProfil As String) As ProfilDVBS2
    Dim data As ProfilDVBS2

    data.EfisiensiSpektral = 1.0
    data.EsNoThreshold = 0.0
    data.OrdeModulasi = 4

    Select Case NamaProfil
      Case "QPSK 1/4" : data.EfisiensiSpektral = 0.5 :
        data.EsNoThreshold = -2.35 : data.OrdeModulasi = 4
      Case "QPSK 1/3" : data.EfisiensiSpektral = 0.66 :
        data.EsNoThreshold = -1.24 : data.OrdeModulasi = 4
      Case "QPSK 2/5" : data.EfisiensiSpektral = 0.8 :
        data.EsNoThreshold = -0.3 : data.OrdeModulasi = 4
      Case "QPSK 1/2" : data.EfisiensiSpektral = 1.0 :
        data.EsNoThreshold = 1.0 : data.OrdeModulasi = 4
      Case "QPSK 3/5" : data.EfisiensiSpektral = 1.2 :
        data.EsNoThreshold = 2.23 : data.OrdeModulasi = 4
    End Select
  End Function
End Module
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Case "QPSK 2/3" : data.EfisiensiSpektral = 1.33 :
data.EsNoThreshold = 3.1 : data.OrdeModulasi = 4
Case "QPSK 3/4" : data.EfisiensiSpektral = 1.5 :
data.EsNoThreshold = 4.03 : data.OrdeModulasi = 4
Case "QPSK 4/5" : data.EfisiensiSpektral = 1.6 :
data.EsNoThreshold = 4.68 : data.OrdeModulasi = 4
Case "QPSK 5/6" : data.EfisiensiSpektral = 1.66 :
data.EsNoThreshold = 5.18 : data.OrdeModulasi = 4
Case "QPSK 8/9" : data.EfisiensiSpektral = 1.77 :
data.EsNoThreshold = 6.2 : data.OrdeModulasi = 4
Case "QPSK 9/10" : data.EfisiensiSpektral = 1.8 :
data.EsNoThreshold = 6.42 : data.OrdeModulasi = 4
Case "8PSK 3/5" : data.EfisiensiSpektral = 1.8 :
data.EsNoThreshold = 5.5 : data.OrdeModulasi = 8
Case "8PSK 2/3" : data.EfisiensiSpektral = 2.0 :
data.EsNoThreshold = 6.62 : data.OrdeModulasi = 8
Case "8PSK 3/4" : data.EfisiensiSpektral = 2.25 :
data.EsNoThreshold = 7.91 : data.OrdeModulasi = 8
Case "8PSK 5/6" : data.EfisiensiSpektral = 2.5 :
data.EsNoThreshold = 9.35 : data.OrdeModulasi = 8
Case "8PSK 8/9" : data.EfisiensiSpektral = 2.66 :
data.EsNoThreshold = 10.69 : data.OrdeModulasi = 8
Case "8PSK 9/10" : data.EfisiensiSpektral = 2.7 :
data.EsNoThreshold = 10.98 : data.OrdeModulasi = 8
Case "16APSK 2/3" : data.EfisiensiSpektral = 2.66 :
data.EsNoThreshold = 8.97 : data.OrdeModulasi = 16
Case "16APSK 3/4" : data.EfisiensiSpektral = 3.0 :
data.EsNoThreshold = 10.21 : data.OrdeModulasi = 16
Case "16APSK 4/5" : data.EfisiensiSpektral = 3.2 :
data.EsNoThreshold = 11.03 : data.OrdeModulasi = 16
Case "16APSK 5/6" : data.EfisiensiSpektral = 3.33 :
data.EsNoThreshold = 11.61 : data.OrdeModulasi = 16
Case "16APSK 8/9" : data.EfisiensiSpektral = 3.55 :
data.EsNoThreshold = 12.89 : data.OrdeModulasi = 16
Case "16APSK 9/10" : data.EfisiensiSpektral = 3.6 :
data.EsNoThreshold = 13.13 : data.OrdeModulasi = 16
Case "32APSK 3/4" : data.EfisiensiSpektral = 3.75 :
data.EsNoThreshold = 12.73 : data.OrdeModulasi = 32
Case "32APSK 4/5" : data.EfisiensiSpektral = 4.0 :
data.EsNoThreshold = 13.64 : data.OrdeModulasi = 32
Case "32APSK 5/6" : data.EfisiensiSpektral = 4.16 :
data.EsNoThreshold = 14.28 : data.OrdeModulasi = 32
Case "32APSK 8/9" : data.EfisiensiSpektral = 4.44 :
data.EsNoThreshold = 15.69 : data.OrdeModulasi = 32

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Case "32APSK 9/10" : data.EfisiensiSpektral = 4.5 :
data.EsNoThreshold = 16.05 : data.OrdeModulasi = 32

End Select

Return data
End Function
#End Region

#Region "Kalkulasi Digital"
Public Function HitungBandwidth(SymbolRate As Double, RollOff As
Double) As Double
Return SymbolRate * (1.0 + RollOff)
End Function

Public Function HitungBitRateRaw(SymbolRate As Double, M As
Integer) As Double
Dim log2_M As Double = Math.Log(M) / Math.Log(2.0)
Return SymbolRate * log2_M
End Function

Public Function HitungBitRateEfektif(SymbolRate As Double,
EfisiensiSpektral As Double) As Double
Return SymbolRate * EfisiensiSpektral
End Function

Public Function HitungEbNoAktual(CNTotal_dB As Double, Rb_eff As
Double, Bandwidth As Double) As Double
Return CNTotal_dB - (10.0 * Math.Log10(Rb_eff / Bandwidth))
End Function

Public Function HitungEbNoReq(EsNoThreshold_dB As Double,
EfisiensiSpektral As Double) As Double
Return EsNoThreshold_dB - (10.0 *
Math.Log10(EfisiensiSpektral))
End Function
#End Region

End Module

```

Pada modul ini, profil modulasi dideklarasikan menggunakan struktur data kustom Structure yang mengelompokkan tiga parameter terkait: Efisiensi Spektral, *Threshold*, dan Orde Modulasi (*M*). Fungsi GetProfilDVBS2 beroperasi sebagai lookup table statis yang mengotomatisasi ekstraksi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

parameter standar ETSI berdasarkan spesifikasi profil modulasi yang diinputkan.

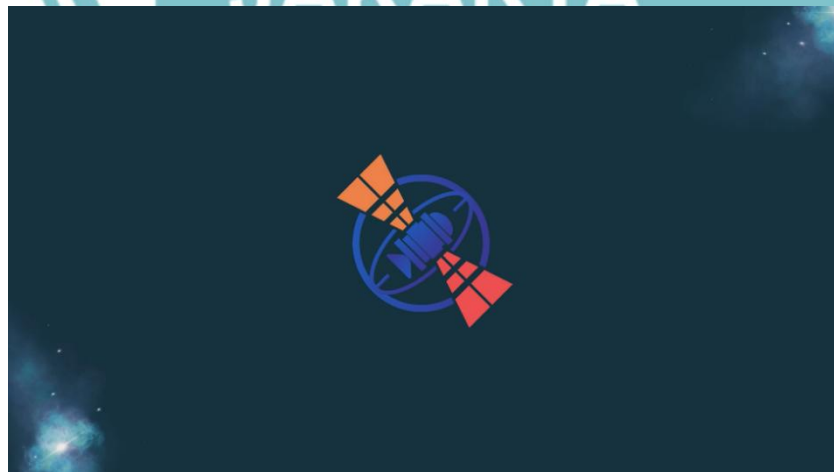
Untuk mengevaluasi kelayakan tautan digital, fungsi HitungEbNoAktual mengonversi C/N menjadi rasio E_b/N_0 aktual dengan melibatkan R_{beff} terhadap *bandwith*. Nilai tersebut selanjutnya dikomparasi dengan luaran fungsi HitungEbNoReq, yang mengonversi E_s/N_0 menjadi syarat E_b/N_0 minimum. Selisih antara nilai aktual dan syarat minimum tersebut menghasilkan metrik *Link Margin*.

3.2.2 Realisasi Antarmuka Utama dan Layanan Dukungan

Setelah penyusunan logika komputasi *backend* selesai, tahap berikutnya adalah implementasi lapisan *frontend* sebagai media interaksi sistem. Segmen antarmuka utama dan layanan pendukung dirancang untuk memfasilitasi interaksi awal sebelum pengguna mengeksekusi modul simulasi utama. Segmen ini mengintegrasikan *splash screen*, menu *homepage*, *user guide*, dan *about*.

A. Realisasi Antarmuka Inisialisasi Sistem (*Splash Screen*)

Antarmuka inisialisasi berfungsi sebagai layar transisi pembuka saat perangkat lunak pertama kali dijalankan. Halaman ini memanfaatkan komponen *Windows Media Player* (WMP) untuk menampilkan tayangan video singkat berformat .mp4. Secara fungsional, layar ini bertindak sebagai jembatan interaksi awal. Seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Antarmuka Inisialisasi (*Splash Screen*)



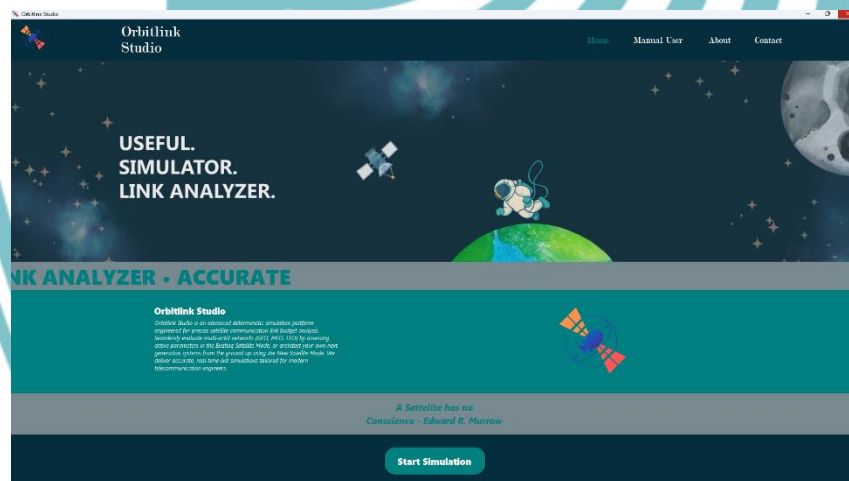
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.6 adalah tampilan antarmuka inisialisasi (*splash screen*) aplikasi yang muncul secara otomatis sebagai layar pembuka sebelum pengguna masuk ke menu utama.

B. Realisasi Antarmuka Halaman Utama (*Home Dashboard*)

Antarmuka halaman utama berfungsi sebagai pusat kendali sentral yang menyediakan akses navigasi bagi pengguna menuju modul simulasi, panduan operasional, serta menu informasi pendukung lainnya. Secara fungsional, halaman ini mengintegrasikan beberapa elemen interaktif untuk meningkatkan pengalaman pengguna, meliputi pemutaran video latar belakang secara berulang (*looping*), animasi teks berjalan (*marquee*), serta efek perubahan warna responsif (*hover effect*) saat kursor diarahkan pada menu navigasi. Transisi perpindahan halaman dikendalikan secara penuh melalui aksi klik pada masing-masing menu kontrol. Seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Antarmuka Halaman Utama (*Home Dashboard*)

Gambar 3.7 adalah tampilan antarmuka halaman utama (*home dashboard*) aplikasi yang berfungsi sebagai pusat navigasi sentral untuk mengakses berbagai fungsionalitas dan modul simulasi utama.

C. Realisasi Antarmuka Pusat Panduan Operasional (*User Guide*)

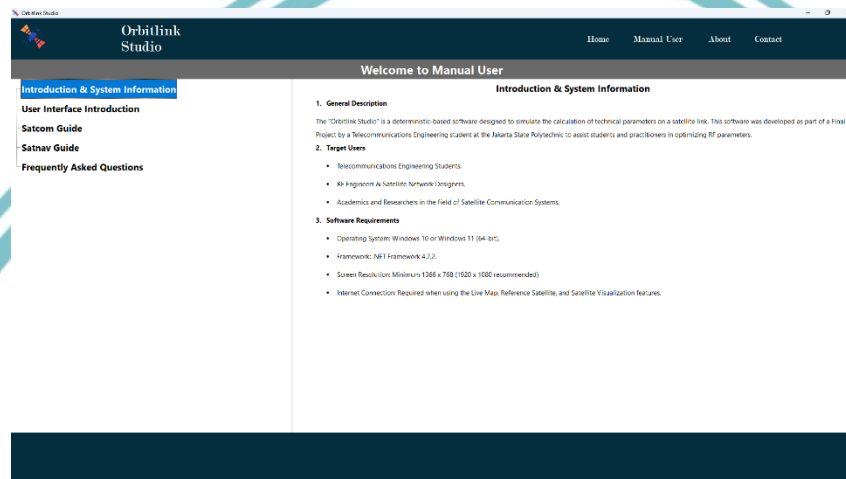
Antarmuka pusat panduan operasional berfungsi untuk menyajikan dokumentasi teknis dan panduan penggunaan sistem yang terintegrasi langsung di dalam perangkat lunak. Tata letak visual antarmuka ini terbagi menjadi panel navigasi hierarkis (*TreeView*) pada sisi kiri untuk mempermudah pemilihan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

topik, dan panel penampil konten dokumen (*Rich Text Box*) pada sisi kanan. Secara fungsional, sistem dirancang untuk memuat berkas eksternal berformat *Rich Text Format* (.rtf) secara dinamis, sehingga saat pengguna memilih sub-menu navigasi, isi dokumen akan otomatis dirender ke dalam panel penampil sesuai dengan yang di *setting*. Selain itu, pengguna dapat kembali ke halaman menu utama kapan saja melalui tombol navigasi *Home* yang telah disediakan. Seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Antarmuka Pusat Panduan Operasional (*User Guide*)

Gambar 3.8 adalah tampilan antarmuka pusat panduan operasional (*user manual*) aplikasi yang memudahkan pengguna dalam mengakses dokumentasi teknis simulasi secara komprehensif dan interaktif.

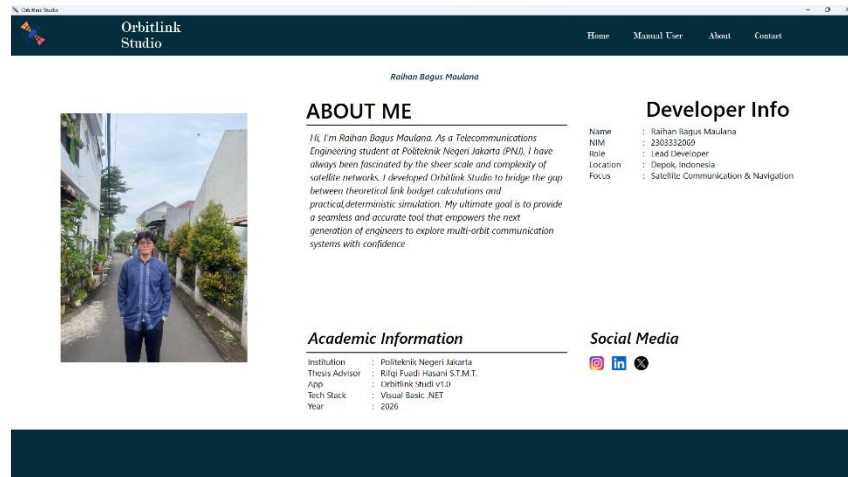
D. Realisasi Antarmuka Informasi Sistem

Antarmuka informasi sistem berfungsi untuk menyajikan metadata perangkat lunak beserta profil *developer*. Secara fungsional, antarmuka mengintegrasikan elemen berupa ikon-ikon media sosial yang terhubung langsung dengan platform eksternal. Ketika pengguna mengklik ikon-ikon tersebut, sistem akan merespons dengan meneruskan parameter alamat *Uniform Resource Locator* (URL) terkait ke sistem operasi, yang kemudian secara otomatis akan membuka web (*web browser*) bawaan pada perangkat pengguna untuk langsung menampilkan halaman profil pengembang yang dituju. Seperti pada Gambar 3.9.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 9 Antarmuka Informasi Sistem

Gambar 3.9 adalah tampilan antarmuka informasi sistem aplikasi yang memuat spesifikasi perangkat lunak serta menyediakan akses tautan interaktif menuju profil *developer*.

E. Realisasi Antarmuka Pusat Bantuan dan Pesan

Antarmuka ini berfungsi untuk memfasilitasi pengiriman pesan kepada *developer*. Secara fungsional, antarmuka ini dilengkapi dengan mekanisme validasi masukan untuk memastikan kelengkapan data (seperti nama, surel, dan isi pesan) sebelum diproses. Pengiriman pesan dieksekusi dengan mengintegrasikan protokol *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP) yang dienkripsi menggunakan SSL (*Secure Sockets Layer*). Sistem juga akan memberikan umpan balik visual secara *real-time* kepada pengguna yang dilengkapi dengan mekanisme *error handling* yang akan menampilkan notifikasi peringatan jika terdeteksi gangguan koneksi internet. Seperti pada Gambar 3.10.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Get into Satelite

Name

Last Name

Your email

Phone number

Message

Submit

Thanks for reaching out!

I usually reply within 1 - 2 days. If you don't hear from me, please make sure to check your spam folder - sometimes my emails end up there by mistake.

Gambar 3. 10 Antarmuka Pusat Bantuan Dan Pesan

Gambar 3.10 adalah tampilan antarmuka pengguna untuk berinteraksi dan mengirimkan pesan kepada tim pengembang.

3.2.3 Realisasi Antarmuka Inisialisasi dan Pemilihan Satelit Eksisting

Segmen antarmuka ini berfungsi untuk menetapkan kondisi parameter awal sebelum proses komputasi utama dieksekusi. Fungsionalitas pada segmen ini difokuskan pada penentuan mode operasional simulasi, penetapan parameter referensi orbit, serta penarikan spesifikasi teknis satelit eksisting dari basis data.

A. Realisasi Antarmuka Pemilihan Mode Simulasi

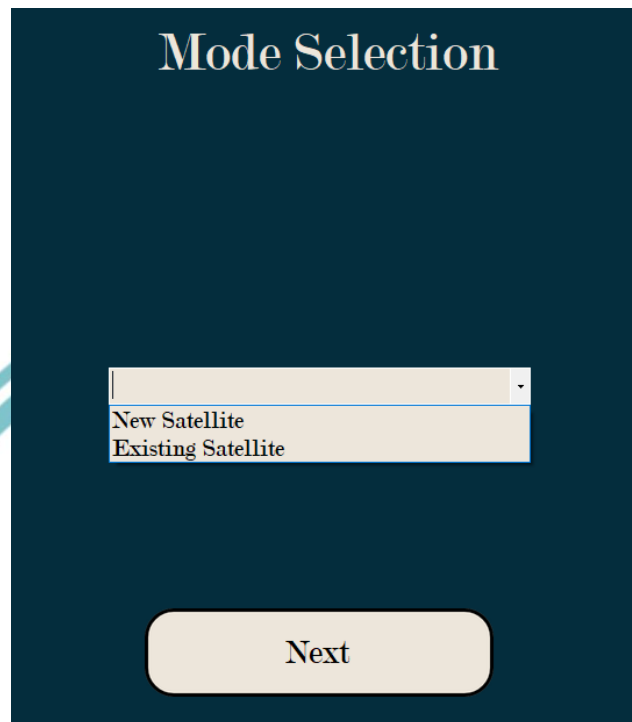
Antarmuka pemilihan mode simulasi berfungsi sebagai kontrol percabangan logika utama yang mengarahkan pengguna menuju tahap perancangan satelit baru atau evaluasi satelit eksisting. Secara visual, antarmuka ini menggunakan komponen *combo box*. Secara fungsional, sistem mengimplementasikan mekanisme *Poka-Yoke* untuk mewajibkan pengguna untuk memasukkan pilihan. Parameter pilihan yang telah divalidasi tersebut kemudian dialokasikan ke dalam *ModGlobal* yang secara otomatis memicu



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem untuk melakukan transisi halaman menuju antarmuka pemilihan tipe satelit atau antarmuka pemilihan spesifikasi satelit. Seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Antarmuka Pemilihan Mode Simulasi

Gambar 3.11 adalah tampilan antarmuka pemilihan mode simulasi yang menginstruksikan pengguna untuk menentukan perancangan tautan sebelum memasuki tahap konfigurasi teknis lanjutan.

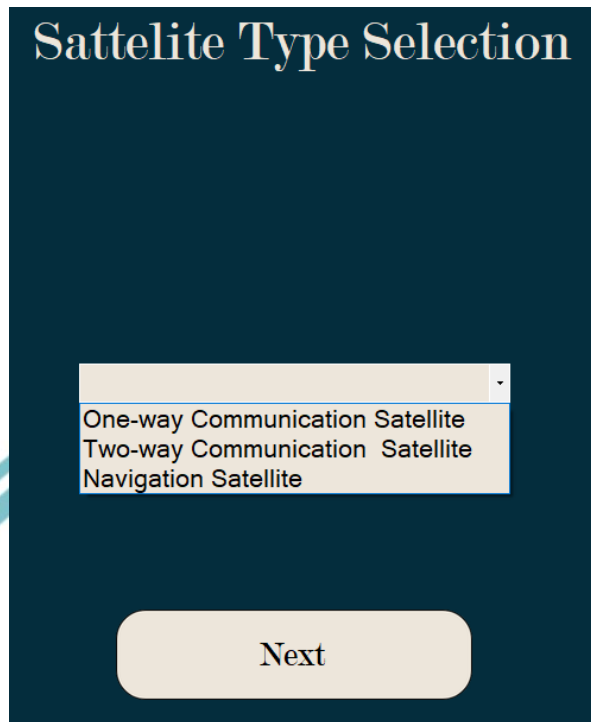
B. Realisasi Antarmuka Spesifikasi Tipe Satelit Baru

Antarmuka spesifikasi tipe satelit baru berfungsi untuk menetapkan arsitektur operasional pada tahap perancangan awal. Secara fungsional, antarmuka ini memfasilitasi pengguna untuk mengonfigurasi tiga arsitektur sistem utama, yaitu *one-way communication*, *two-way communication*, dan *satellite navigation*. Sistem mengimplementasikan *Poka-Yoke* untuk memastikan pengguna memberikan pilihan sebelum eksekusi. Parameter pilihan kemudian dialokasikan ke dalam ModGlobal untuk menentukan klasifikasi pemrosesan dan arsitektur transmisi. Klasifikasi transmisi ini akan mengontrol aktivasi komputasi tautan *uplink* dan *downlink* pada modul kalkulator utama selanjutnya. Seperti pada Gambar 3.12.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 12 Antarmuka Spesifikasi Tipe Satelit Baru

Gambar 3.12 adalah tampilan antarmuka spesifikasi tipe satelit baru yang berfungsi untuk menentukan arsitektur operasional dan klasifikasi pemrosesan tautan sebelum memasuki tahap komputasi geometri.

C. Realisasi Antarmuka Pemilihan Satelit Eksisting

Antarmuka pemilihan satelit eksisting berfungsi untuk mengekstraksi spesifikasi teknis satelit dari basis data internal. Secara visual, antarmuka ini mengklasifikasikan entitas satelit ke dalam dua tabel terpisah berdasarkan jenis satelitnya, yakni satelit komunikasi dan satelit navigasi. Sistem mengimplementasikan algoritma pencarian yang menyaring baris data. Ketika pengguna mengonfirmasi satelit pilihannya, sistem akan langsung mengekstraksi parameter teknis dari baris data terkait untuk dialokasikan ke dalam ModGlobal. Seperti pada Gambar 3.13.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Satellite Name	Orbit	Service Type	NORAD ID	Lat	Long	Alt (km)	Freq DL Min (MHz)	Freq DL Max (MHz)	Freq UL Min (MHz)	Freq UL Max (MHz)	EIRP (dBW)	G/T (dB/K)	Pol Tx	Pol Rx
Mesat-3D	GEO	FSS (Fixed-Sat)	52904	-0.0227	91.509	35803.24	3700	4200	5925	6425	44	2	Vertikal	Horizontal
AsiaSat-9 (C-B)	GEO	FSS (Fixed-Sat)	42942	-0.0253	122.106	35802.74	3700	4200	5925	6425	40	-0.5	Horizontal	Vertikal
Intelsat IS 19	GEO	FSS (Fixed-Sat)	38396	0.115	166.0269	35804.51	3700	4200	5925	6425	40.9	2	Vertikal	Horizontal
Starlink SpaceX	LEO	FSS (Fixed-Sat)		0	0	0	10700	12700	14000	14500	36.71	9.8	RHCP	LHCP
OneWeb	LEO	FSS (Fixed-Sat)		0	0	0	10700	12700	14000	14500	34.6	-1	RHCP	LHCP
Telesat	LEO	FSS (Fixed-Sat)		0	0	0	17800	20200	27500	30000	39	13.2	RHCP	LHCP

Satellite Name	Orbit	Service Type	NORAD ID	Lat	Long	Alt (km)	Freq DL (MHz)	Px Minimum (dBW)	Pol Tx
IS-GPS-200 III	MEO	RNSS (Radonavigation)		0	0	0	1575.42	-158.5	RHCP
Galileo OS SIS ICD	MEO	RNSS (Radonavigation)		0	0	0	1575.42	-157.25	RHCP

Gambar 3. 13 Antarmuka Pemilihan Satelit Eksisting

Gambar 3.13 adalah tampilan antarmuka pemilihan satelit eksisting yang memungkinkan pengguna untuk mencari, memfilter, dan mengekstrak parameter operasional secara otomatis berdasarkan basis data satelit yang tersedia.

3.2.4 Realisasi Antarmuka Pemetaan Geometri Spasial

Segmen antarmuka ini berfungsi untuk memfasilitasi komputasi parameter spasial, seperti *slant range*, sudut elevasi, dan target *beamwidth* (khusus untuk sistem navigasi) antara stasiun bumi dan satelit. Untuk mengakomodasi berbagai skenario simulasi secara komprehensif, antarmuka geometri spasial ini dirancang ke dalam empat sub-modul terpisah yang diklasifikasikan berdasarkan kategori layanan (komunikasi atau navigasi) dan status operasional satelit (baru atau eksisting).

A. Antarmuka Geometri Satelit Komunikasi Baru

Antarmuka ini merupakan fondasi utama untuk mengonfigurasi parameter spasial dan identitas operasional satelit sebelum proses simulasi tautan dieksekusi. Secara visual dan fungsional, antarmuka ini mengintegrasikan beberapa fitur interaktif, meliputi: penyaringan regulasi layanan (seperti BSS, FSS, atau MSS) yang disesuaikan secara otomatis dengan arsitektur transmisi terpilih, integrasi peramban internal berbasis *WebView* untuk memuat peta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

interaktif (berbasis *Leaflet*) guna penitikan koordinat stasiun bumi secara otomatis, serta akses langsung menuju portal *satellitemap.space* untuk mencari referensi koordinat spasial dan identitas satelit.

Setelah koordinat spasial terpenuhi, sistem akan mengeksekusi komputasi *slant range* dan sudut elevasi dengan memanggil algoritma matematika dari modul ModGeometri. Hasil komputasi elevasi tersebut kemudian divalidasi oleh sistem peringatan fisika terintegrasi. Apabila hasil komputasi menunjukkan sudut elevasi di bawah 0° , sistem akan memunculkan peringatan *fatal error*. Sementara itu, jika sudut elevasi berada di rentang 0° sampai 10° , sistem akan menampilkan. Setelah seluruh proses komputasi spasial tervalidasi dan kelas orbit satelit teridentifikasi, parameter komputasi beserta identitas satelit (*NORAD ID*) akan diekstraksi ke dalam memori global sebelum sistem bertransisi menuju modul kalkulator utama. Seperti pada Gambar 3.14, Gambar 3.15, dan Gambar 3.16.

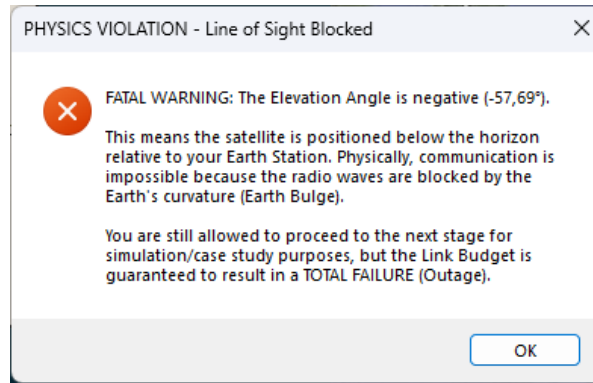
Gambar 3. 14 Antarmuka Geometri untuk Konstelasi Satelit Baru

Gambar 3.14 adalah tampilan antarmuka pemetaan geometri yang memfasilitasi konfigurasi titik koordinat spasial stasiun bumi dan satelit secara interaktif.



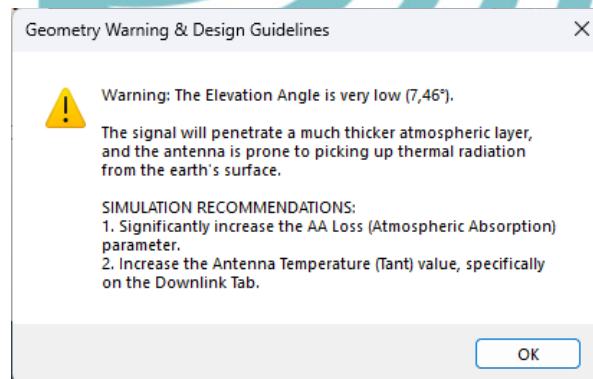
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 15 Peringatan galat fatal

Gambar 3.15 adalah notifikasi peringatan galat fatal yang muncul secara otomatis apabila hasil perhitungan sudut elevasi bernilai negatif, menandakan lintasan komunikasi tidak memungkinkan karena terhalang kelengkungan bumi.



Gambar 3. 16 Peringatan galat *warning*

Gambar 3.16 adalah notifikasi peringatan yang mengindikasikan potensi redaman sinyal atmosferik yang ekstrem karena hasil perhitungan sudut elevasi berada di bawah batas ideal (kurang dari 10°).

B. Antarmuka Geometri Satelit Komunikasi Eksisting

Secara fungsional, antarmuka ini memiliki kesamaan dengan versi satelit komunikasi baru, khususnya pada fitur integrasi pemetaan stasiun bumi, pelacakan referensi satelit, dan eksekusi komputasi matematika utama. Namun, perbedaan mendasarnya terletak pada mekanisme otomatisasi pemuatan data. Sistem meminimalkan kebutuhan masukan manual dengan mengekstraksi parameter teknis yang telah tersimpan di dalam basis data lokal. Sebagai contoh, jenis layanan regulasi (*Service Type*) akan terisi secara otomatis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berdasarkan spesifikasi satelit eksisting yang dipilih sebelumnya.. Seperti pada Gambar 3.17.

Gambar 3. 17 Otomatisasi Kolom Jenis Layanan (*Service Type*)

Gambar 3.17 adalah sebagian tampilan antarmuka geometri satelit komunikasi eksisting yang menunjukkan kolom jenis layanan telah terisi secara otomatis dan dikunci berdasarkan spesifikasi satelit yang dipilih.

Selain mekanisme di atas, sistem juga mengimplementasikan penyesuaian parameter spasial secara dinamis berdasarkan kelas orbit satelit yang dipilih. Apabila pengguna memilih satelit yang beroperasi pada orbit GEO, sistem mengasumsikan posisi satelit tersebut statis. Oleh karena itu, sistem akan secara otomatis mengisi dan mengunci parameter lintang (*latitude*), bujur (*longitude*), serta ketinggian (*altitude*) satelit. Sebaliknya, apabila satelit yang dipilih beroperasi pada orbit dinamis seperti LEO atau MEO, sistem akan membuka akses masukan manual pada kolom koordinat. Sistem kemudian akan menampilkan notifikasi interaktif yang menginstruksikan pengguna untuk membuka *satellitemap.space* untuk mendapatkan titik koordinat spasial dan identitas satelit (*NORAD ID*) secara aktual (*real-time*) sebelum mengeksekusi komputasi geometri akhir. Seperti pada Gambar 3.18 dan Gambar 3.19.

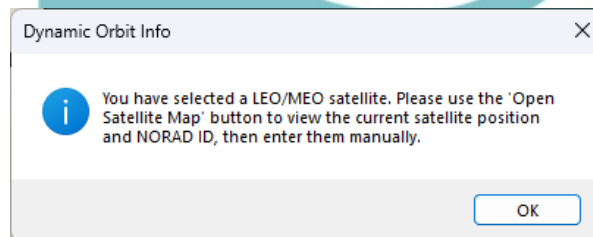


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 18 Panel Geometri Satelit Eksisting GEO

Gambar 3.18 menunjukkan otomatisasi pengisian koordinat satelit yang bersifat statis dan terkunci apabila pengguna memilih satelit eksisting yang mengorbit di GEO.



Gambar 3. 19 Notifikasi instruksional

Gambar 3.19 adalah notifikasi instruksional yang muncul secara otomatis ketika pengguna memilih satelit eksisting berorbit dinamis, yang bertujuan mengarahkan pengguna untuk melacak koordinat spasial satelit secara aktual.

C. Antarmuka Geometri Satelit Navigasi Baru

Antarmuka ini dirancang khusus untuk mengonfigurasi parameter spasial dalam skenario perancangan sistem navigasi satelit baru (RNSS). Secara visual dan fungsional, penetapan jenis layanan RNSS secara otomatis dan terkunci untuk mencegah kesalahan masukan, integrasi peta untuk penitikan koordinat stasiun bumi secara langsung, serta akses ke *satellitemap.space* untuk melacak referensi posisi satelit secara manual.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Setelah parameter koordinat spasial dimasukkan, sistem akan mengeksekusi komputasi *slant range*, sudut elevasi, dan menghitung parameter *target beamwidth*. Hasil perhitungan sudut elevasi tersebut kemudian divalidasi oleh sistem. Jika sudut elevasi berada di bawah 5° , sistem akan memunculkan peringatan *fatal error* karena parameter tersebut melanggar ambang batas sudut pandang minimum (*elevation mask*). Sementara itu, jika sudut elevasi berada pada rentang 5° hingga kurang dari 10° , sistem akan menampilkan peringatan terkait potensi degradasi sinyal akibat redaman atmosfer. Seluruh parameter hasil komputasi selanjutnya disimpan ke dalam ModGlobal sebelum menuju modul kalkulator utama. Seperti pada Gambar 3.20, Gambar 3.21 dan Gambar 3.22.

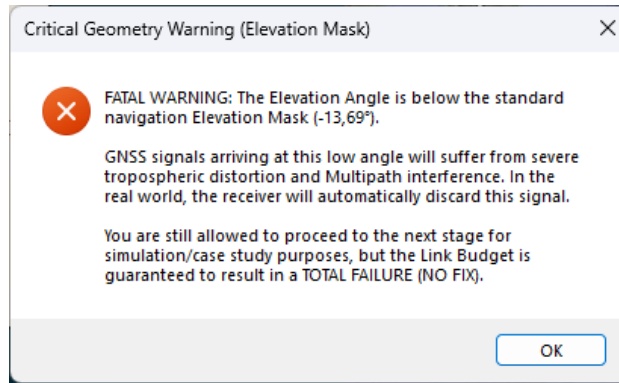
Gambar 3. 20 Antarmuka Geometri untuk Sistem Navigasi Satelit Baru

Gambar 3.20 adalah tampilan antarmuka pemetaan geometri yang dirancang khusus untuk mengonfigurasi parameter spasial pada perancangan sistem satelit navigasi (RNSS).



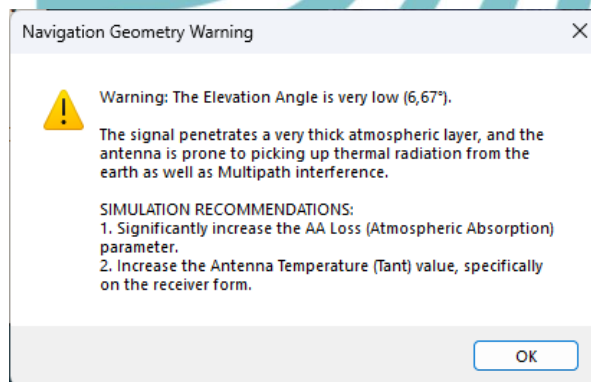
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 21 Notifikasi Peringatan *Elevation Mask* (Elevasi $< 5^\circ$)

Gambar 3.21 adalah notifikasi peringatan galat fatal yang muncul apabila hasil perhitungan sudut elevasi berada di bawah 5° , yang mengindikasikan pelanggaran operasional terhadap standar *elevation mask* GNSS.



Gambar 3. 22 Notifikasi Peringatan Degradasi Atmosfer ($5 \leq X \leq 10$)

Gambar 3.22 adalah notifikasi peringatan potensi redaman sinyal atmosferik karena hasil perhitungan sudut elevasi berada di rentang batas marginal (mulai dari 5° hingga kurang dari 10°).

D. Antarmuka Geometri Satelit Navigasi Eksisting

Secara fungsional, antarmuka ini memiliki kesamaan dengan versi satelit navigasi baru. Namun, perbedaan mendasarnya terletak pada otomatisasi pemuatan data dan penonaktifan komputasi *Target Beamwidth*. Pada antarmuka ini, sistem secara otomatis menonaktifkan kolom *Target Beamwidth* (ditandai dengan label "N/A") karena parameter sudut pandang tersebut tidak lagi dievaluasi ulang pada operasional satelit eksisting. Selain itu, parameter jenis layanan regulasi juga ditarik otomatis dari basis data.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem juga akan menampilkan instruksi yang mengarahkan pengguna untuk melacak referensi koordinat satelit aktual (*real-time*) karena orbit MEO bersifat dinamis. Seperti pada Gambar 3.23.

Gambar 3. 23 Antarmuka Geometri Satelit Navigasi Eksisting

Gambar 3.23 adalah tampilan antarmuka pemetaan geometri untuk satelit navigasi eksisting, menunjukkan penonaktifan parameter komputasi *Target Beamwidth* dan otomatisasi pengisian parameter jenis layanan operasional.

E. Komputasi Matematika Geometri Spasial

Secara fundamental, perhitungan geometri spasial memegang peranan awal dan paling krusial sebelum analisis FSPL dapat dieksekusi. Seluruh mode operasional menginduk pada satu modul matematika (*ModGeometri*).

A. Persamaan Geometri Fundamental

Mengingat arsitektur komputasi dasar trigonometri bola telah dijabarkan secara terperinci pada pembahasan modul *backend* ModGeometri sebelumnya, proses eksekusi jarak miring dan sudut elevasi pada antarmuka ini hanya bertindak sebagai pemanggil pustaka fungsi matematika dari modul tersebut. Namun, khusus untuk skenario perancangan satelit navigasi baru, sistem mengimplementasikan satu fungsi komputasi tambahan yakni perhitungan parameter *Target Beamwidth*. Berikut potongan kode tersebut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

' POTONGAN KODE KHUSUS NAVIGASI (TARGET BEAMWIDTH)

Dim R_bumi As Double = 6378.0

Dim tetaRad As Double = 2.0 * Math.Asin(R_bumi / (R_bumi + altSat))

B. Contoh Perhitungan Geometri (Mode Komunikasi)

Sebagai bentuk representasi dari algoritma matematika yang diimplementasikan pada perangkat lunak, berikut adalah penjabaran contoh komputasi geometri secara manual. Contoh perhitungan memproses parameter spasial berdasarkan skenario perancangan satelit komunikasi berorbit geostasioner. Adapun rincian parameter referensi yang digunakan dalam contoh perhitungan ini ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Parameter Geometri Skenario Komunikasi (GEO)

Parameter	Nilai Uji Coba
Latitude Stasiun Bumi (Lat_{es})	0.219726°
Longitude Stasiun Bumi (Lon_{es})	113.510742°
Latitude Satelit (Lat_{sat})	-0.0227°
Longitude Satelit (Lon_{sat})	91.509°
Altitude Satelit (h)	35803.24 km

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan geometri komunikasi:

Require: $Lat_{es}, Lon_{es}, Lat_{sat}, Lon_{sat}, h$

Ensure: Central Angle / ψ , Slant Range / d , Elevation Angle / El

Calculate Central Angle (ψ):

$$\cos(\psi) = \sin(Lat_{es}) \sin(Lat_{sat}) + \cos(Lat_{es}) \cos(Lat_{sat}) \cos(Lon_{sat} - Lon_{es})$$

Calculate Slant Range (d):

$$d = \sqrt{R_e^2 + (R_e + h)^2 - 2R_e(R_e + h)\cos(\psi)}$$

Calculate Elevation Angle (El):

$$El = \arcsin\left(\frac{(R_e + h) \cos(\psi) - R_e}{d}\right)$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Berdasarkan rumus 2.1, Sudut Pusat (*Central Angle* / ψ) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $\cos(\psi) = 0.927162$.
2. Berdasarkan rumus 2.2, Jarak Miring (*Slant Range* / d) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $d = 36344.96 \text{ km}$.
3. Berdasarkan rumus 2.3, Sudut Elevasi (*Elevation Angle* / El) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $El = 64.23^\circ$.

Hasil perhitungan matematis manual ini akan dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran pada antarmuka geometri.

C. Contoh Perhitungan Geometri (Mode Navigasi)

Berbeda dengan arsitektur sistem komunikasi sebelumnya, konstelasi satelit navigasi secara umum beroperasi pada orbit MEO yang posisinya dinamis. Sebagai bentuk representasi, berikut adalah ilustrasi perhitungan geometri spasial secara manual. Adapun parameter referensi yang digunakan untuk skenario perhitungan ini dijabarkan pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Parameter Geometri Skenario Navigasi (MEO)

Parameter	Nilai Uji Coba
Latitude Stasiun Bumi (Lat_{es})	-0.351560°
Longitude Stasiun Bumi (Lon_{es})	113.730469°
Latitude Satelit (Lat_{sat})	-5.2841°
Longitude Satelit (Lon_{sat})	151.8201°
Altitude Satelit (h)	23220.54 km

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan geometri navigasi:

Require: $Lat_{es}, Lon_{es}, Lat_{sat}, Lon_{sat}, h$

Ensure: *Central Angle* / ψ , *Slant Range* / d , *Elevation Angle* / El

Calculate Central Angle (ψ):

$$\cos(\psi) = \sin(Lat_{es}) \sin(Lat_{sat}) + \cos(Lat_{es}) \cos(Lat_{sat}) \cos(Lon_{sat} - Lon_{es})$$

Calculate Slant Range (d):



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$d = \sqrt{R_e^2 + (R_e + h)^2 - 2R_e(R_e + h)\cos(\psi)}$$

Calculate Elevation Angle (El):

$$El = \arcsin\left(\frac{(R_e + h) \cos(\psi) - R_e}{d}\right)$$

Calculate Target Beamwidth (θ_{3dB}):

$$\theta_{3dB} = 2 \times \arcsin\left(\frac{R_e}{R_e + h}\right)$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.1, Sudut Pusat (*Central Angle* / ψ) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $\cos(\psi) = 0.784248$.
2. Berdasarkan rumus 2.2, Jarak Miring (*Slant Range* / d) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $d = 24910.59 \text{ km}$.
3. Berdasarkan rumus 2.3, Sudut Elevasi (*Elevation Angle* / El) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $El = 42.52^\circ$.
4. Berdasarkan rumus 2.4, Lebar Berkas Pancaran (*Target Beamwidth* / θ_{3dB}) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar $\theta_{3dB} = 24.88^\circ$.

Hasil perhitungan matematis manual ini akan dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran pada antarmuka geometri.

3.2.5 Realisasi Antarmuka Kalkulator Simulasi Link Budget

Realisasi antarmuka ini dibagi menjadi lima aspek pembahasan agar penjabaran materi lebih terstruktur dan komprehensif.

A. Realisasi Antarmuka Kalkulator Simulasi Link Budget (Mode Komunikasi Baru)

Antarmuka kalkulator simulasi merupakan modul operasional yang bertugas mengeksekusi seluruh perhitungan matematis deterministik dari persamaan *link budget*. Mengingat tingginya tingkat kompleksitas dan banyaknya jumlah parameter teknis yang harus dikomputasi, struktur tata letak antarmuka ini diklasifikasikan ke dalam beberapa *tab* yang berurutan, yaitu *Downlink*, *Uplink*, *Digital Baseband*, dan *Result*. Untuk menyajikan pembahasan alur algoritma komputasi secara sistematis dan komprehensif,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

realisasi antarmuka kalkulator ini akan dibedah menjadi tiga bagian fungsional utama.

1. Inisialisasi Antarmuka dan Panduan Referensi Parameter

Antarmuka kalkulator simulasi dirancang menggunakan tata letak berbasis panel *tab* yang mengklasifikasikan pengisian parameter menjadi tiga segmen utama: *Downlink*, *Uplink*, *Digital Baseband*. Saat antarmuka dimuat, sistem mengevaluasi memori arsitektur transmisi yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Apabila pengguna merancang sistem komunikasi satu arah (*one-way*), sistem secara otomatis menonaktifkan akses menuju panel *Uplink* dan mengubah labelnya menjadi "*Disabled*". Jika pengguna mencoba membuka panel tersebut, sistem akan memunculkan kotak informasi peringatan.

Atarmuka ini dilengkapi dengan fitur panduan referensi untuk memastikan pengguna memasukkan nilai parameter yang valid sesuai standar industri. Fitur ini diakses melalui tombol panduan (*help button*) yang disematkan pada setiap blok parameter teknis. Sebagai contoh, pada blok alokasi frekuensi, sistem akan mengidentifikasi jenis layanan regulasi ITU-R yang sedang aktif. Jika layanan yang beroperasi adalah FSS, sistem akan memunculkan informasi jendela timbul (*pop-up*) berisi rentang operasional C-Band hingga Ka-Band. Sebaliknya, jika layanan MSS yang aktif, sistem akan merender panduan alokasi L-Band dan S-Band. Seperti pada Gambar 3.24, Gambar 3.25, Gambar 3.26 dan Gambar 3.27.

The screenshot shows the 'Downlink' tab of a communication calculator. It includes the following sections:

- Frequency and Power Parameters:** Downlink Frequency (MHz), Wavelength (cm), Sat Transmit Power (dBW).
- Environmental and Mechanical Parameters:** AA Loss (dB), AML Loss (dB), AA Loss: Atmospheric Absorption Loss, AML Loss: Antenna Misalignment Loss.
- Satellite Parameters:** Sat Antenna Diameter (m), Antenna Efficiency, Sat Feeder Loss (dB), Sat Polarization.
- Earth Station Parameters:** ES Antenna Diameter (m), Antenna Efficiency, ES Feeder Loss (dB), Noise Figure (dB), Antenna Temperature (K), ES Polarization.
- Downlink Output:** FS Temperature (K), System Temperature (K), Free Space Loss (dB), Gain Sat Downlink (dB), Gain ES Downlink (dB), Downlink EIRP (dBW), Downlink Polarization Loss (dB), Total Path Loss (dB), Downlink G/T (dB/K).

A 'Calculate' button is present at the bottom right of the Earth Station Parameters section. A 'Back' button is located at the bottom left of the interface.

Gambar 3. 24 *tab downlink* kalkulator komunikasi baru



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.24 adalah halaman *tab downlink* pada kalkulator komunikasi baru.

Gambar 3. 25 *tab uplink* kalkulator komunikasi baru

Gambar 3.25 adalah halaman *tab uplink* pada kalkulator komunikasi baru.

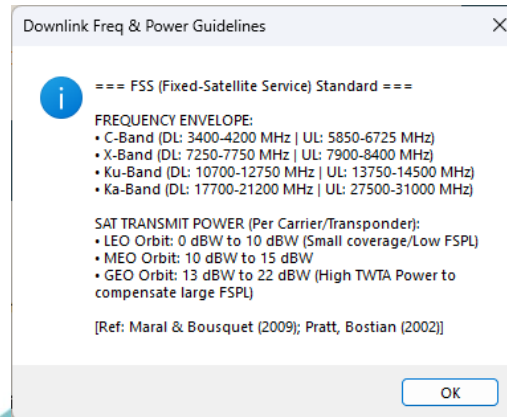
Gambar 3. 26 *tab digital* kalkulator komunikasi baru

Gambar 3.26 adalah halaman *tab digital* pada kalkulator komunikasi baru.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 27 Panduan Alokasi Parameter Frekuensi Layanan ITU-R

Gambar 3.27 adalah representasi fitur panduan referensi kontekstual (*pop-up*) yang memberikan arahan alokasi frekuensi operasional berdasarkan regulasi layanan ITU-R yang telah dipilih pengguna.

2. Komputasi Matematika Radio Frekuensi (RF) dan Digital Baseband

Pada realisasi antarmuka kalkulator komunikasi baru, proses perhitungan parameter gelombang radio frekuensi (RF) dan *digital baseband* dieksekusi secara otomatis saat pengguna menekan tombol kalkulasi pada sistem. Secara fungsional, antarmuka ini bertugas mengekstraksi nilai parameter masukan dari pengguna, lalu mendistribusikannya menuju modul *backend* RF dan modul *digital*.

Sebagai bentuk representasi matematis dari algoritma komputasi yang berjalan pada sistem, berikut dijabarkan contoh perhitungan manual menggunakan referensi data dari spesifikasi perhitungan geometri sebelumnya. *Slant Range* (d) yang digunakan adalah 36344,96 km, dengan konstanta $c = 299792458 \text{ m/s}$, $k = -228,6 \text{ dBW/K/Hz}$, dan $T_0 = 290 \text{ K}$. Persamaan matematis inti yang dieksekusi melalui antarmuka ini didefinisikan sebagai berikut:

A. Contoh Perhitungan Skenario *Downlink*

Parameter komputasi *downlink* yang digunakan dalam scenario ini ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Parameter Komputasi Downlink

Parameter	Satelit (Tx)	Stasiun Bumi (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Daya	$f = 10700 \text{ Mhz}$	$NF = 1 \text{ dB}$	$L_{atm} = 15 \text{ dB}$
Antena / Feeder	$D = 2\text{m}, \eta = 0,6$	$D = 1,5\text{m}$ $\eta = 0,6$	$L_{aml} = 1 \text{ dB}$
Rugi Feeder / Suhu	$L_{feed} = 1 \text{ dB}$ $P_{tx} = 13 \text{ dBW}$	$L_{feed} = 2 \text{ dB}$ $T_{ant} = 50 \text{ K}$	Pol = Horizontal (Match)

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan *Downlink*:

Require: $f, d, T_{ant}, NF, D_{sat}, D_{es}, \eta, P_{tx}, L_{feed}, L_{atm}, L_{aml}, L_{pol}$

Ensure: $T_{rx}, T_{sys}, FSPL, G_{sat_dl}, EIRP_{dl}, G_{es_dl}, G/T_{dl}, L_{total}$

Calculate Sytem Temperature:

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1)$$

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx}$$

Calculate FSPL:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45$$

Calculate Antenna Gain & EIRP (Satellite):

$$G_{sat_dl} = 10\log_{10}(\eta(\frac{\pi D f}{c})^2)$$

$$EIRP_{dl} = P_{tx} + G_{tx} - L_{feeder_tx}$$

Calculate Antenna Gain & EIRP (ES):

$$G_{es_dl} = 10\log_{10}(\eta(\frac{\pi D f}{c})^2)$$

$$G/T_{dl} = G_{rx} - L_{feeder_{rx}} - 10\log_{10}(T_{sys})$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.10 dan 2.11, Suhu Sistem dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 125.09 K .
2. Berdasarkan rumus 2.8, Redaman Ruang Bebas (FSPL) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 204.25 dB .



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.7, Penguatan Antena & EIRP (Satelit) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{sat_dl} sebesar 44.80 dBi dan $EIRP_{dl}$ sebesar 56.80 dBW.
4. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.12, Penguatan Antena & G/T (Stasiun Bumi) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{es_dl} sebesar 42.30 dBi dan G/T_{dl} sebesar 19,33 dB/K.
5. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 220.25 dB.

Hasil perhitungan manual *downlink* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

B. Contoh Perhitungan Skenario Uplink

Parameter komputasi *uplink* yang digunakan dalam scenario ini ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Parameter Komputasi Uplink

Parameter	Stasiun Bumi (Tx)	Satelit (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Daya	$f = 13750 \text{ Mhz}$	$NF = 1 \text{ dB}$	$L_{atm} = 15 \text{ dB}$
Antena / Feeder	$D = 1,5m$ $\eta = 0,6$	$D = 2m$ $\eta = 0,6$	$L_{ant} = 1 \text{ dB}$
Rugi Feeder / Suhu	$L_{feed} = 2 \text{ dB}$ $P_{tx} = 20 \text{ dBW}$	$L_{feed} = 1 \text{ dB}$ $T_{ant} = 290 \text{ K}$	Pol = Horizontal (Match)

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan *Uplink*:

Require: $f, d, T_{ant}, NF, D_{sat}, D_{es}, \eta, P_{tx}, L_{feed}, L_{atm}, L_{ant}, L_{pol}$

Ensure: $T_{rx}, T_{sys}, FSPL, G_{sat_ul}, EIRP_{ul}, G_{es_ul}, G/T_{ul}, L_{total}$

Calculate Sytem Temperature:

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1)$$

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx}$$

Calculate FSPL:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45$$

Calculate Antenna Gain & EIRP (ES):

$$G_{es_ul} = 10\log_{10}(\eta(\frac{\pi D f}{c})^2)$$

$$EIRP_{ul} = P_{tx} + G_{tx} - L_{feeder_tx}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Calculate Antenna Gain & EIRP (Satellite):

$$G_{sat_ul} = 10 \log_{10} \left(\eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right)$$

$$G/T_{ul} = G_{rx} - L_{feeder_{rx}} - 10 \log_{10}(T_{sys})$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.10 dan 2.11, Suhu Sistem dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 578.63 K.
2. Berdasarkan rumus 2.8, Redaman Ruang Bebas (FSPL) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 206.43 dB .
3. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.7, Penguatan Antena & EIRP (Stasiun Bumi) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{es_ul} sebesar 44.80 dBi dan $EIRP_{ul}$ sebesar 62.48 dBW.
4. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.12, Penguatan Antena & G/T (Satelit) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{sat_ul} sebesar 46.97 dBi dan G/T_{ul} sebesar 18,35 dB/K.
5. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 222.43 dB.

Hasil perhitungan manual *uplink* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

C. Contoh Perhitungan Digital Baseband

Parameter komputasi *digital* yang digunakan dalam scenario ini ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Parameter Komputasi Digital

Parameter Baseband	Nilai Input
Symbol Rate (R_s) & Roll-off (α)	35 Msps / 0.35
Modulasi Profil	QPSK 9/10
Orde (M) & Efisiensi Spektral (Γ)	4 / 1.8 bps/Hz
Ambang Batas Ideal (E_s/N_0)	6.42 dB



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan Digital:

Require: R_s , α , M , Γ , $K = -228.6$, parameter RF (EIRP, L_{total} , G/T) dan Ambang Batas Standar DVB-S2 ((E_b/N_0))

Ensure: BW , R_{b_raw} , R_{beff} , C/N_{dl} , C/N_{ul} , C/N_{total} , $(E_b/N_0)_{aktual}$, $(E_b/N_0)_{req}$, LM

Calculate Bandwith:

$$BW = R_s \times (1 + \alpha)$$

Calculate Effective Bit Rate:

$$R_{b_raw} = R_s \times \log_2(M)$$

$$R_{beff} = R_s \times \log_2(M) \times FEC$$

Calculate C/N:

$$C/N = EIRP - L_{total} + G/T - k - 10\log_{10}(BW)$$

Calculate C/N_{total}:

$$C/N_{total} = -10\log_{10}(10^{-(C/N_{ul})/10} + 10^{-(C/N_{dl})/10})$$

Calculate $(E_b/N_0)_{aktual}$:

$$(E_b/N_0)_{aktual} = C/N_{total} - 10\log_{10}\left(\frac{R_{beff}}{BW}\right)$$

Calculate $(E_b/N_0)_{req}$:

$$(E_b/N_0)_{req} = (E_b/N_0)_{threshold} - 10\log_{10}(\Gamma)$$

Calculate LM:

$$LM = (E_b/N_0)_{aktual} - (E_b/N_0)_{req}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.13, 2.14, dan 2.15, sistem memproses nilai *Bandwidth (BW)* dan Kecepatan Aliran Bit (Bit Rate), menghasilkan *BW* sebesar 47,25 MHz, R_{b_raw} sebesar 70,00 Mbps, dan R_{beff} sebesar 63,00 Mbps.
2. Selanjutnya, berdasarkan rumus 2.17, sistem mengalkulasi Rasio *Carrier-to-Noise (C/N)* secara spesifik, dengan hasil C/N_{dl} sebesar 7,74 dB dan C/N_{ul} sebesar 10,26 dB.



Hak Cipta :

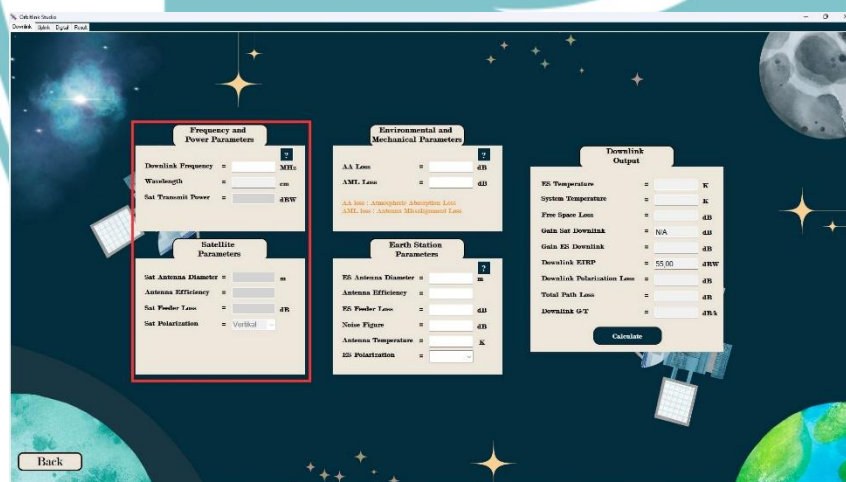
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Berdasarkan rumus 2.18 dan 2.19, komputasi Rasio C/N_{total} dan Kinerja Aktual dieksekusi, menghasilkan C/N_{total} sebesar 5,81 dB dan nilai $(E_b/N_0)_{aktual}$ sebesar 4,56 dB.
4. Terakhir, berdasarkan rumus 2.16 dan 2.20, kalkulasi Ambang Batas Kinerja Minimal dan *Link Margin* diakumulasi, menghasilkan $(E_b/N_0)_{Req}$ sebesar 3,87 dB dan penentuan nilai akhir *LM* sebesar 0,69 dB.

Hasil integrasi dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

B. Realisasi Antarmuka dan Komputasi Matematika Kalkulator Simulasi Link Budget (Mode Komunikasi Eksisting)

Secara fungsional, antarmuka ini memiliki alur komputasi utama yang identik dengan kalkulator simulasi pada mode satelit baru. Namun, perbedaan mendasarnya terletak pada mekanisme otomatisasi pemuatan data dan penerapan logika *bypass* kalkulasi secara khusus pada blok parameter satelit yang menyebabkan penguncian komponen (*disabled*). Seperti pada Gambar 3.28 dan Gambar 3.29.



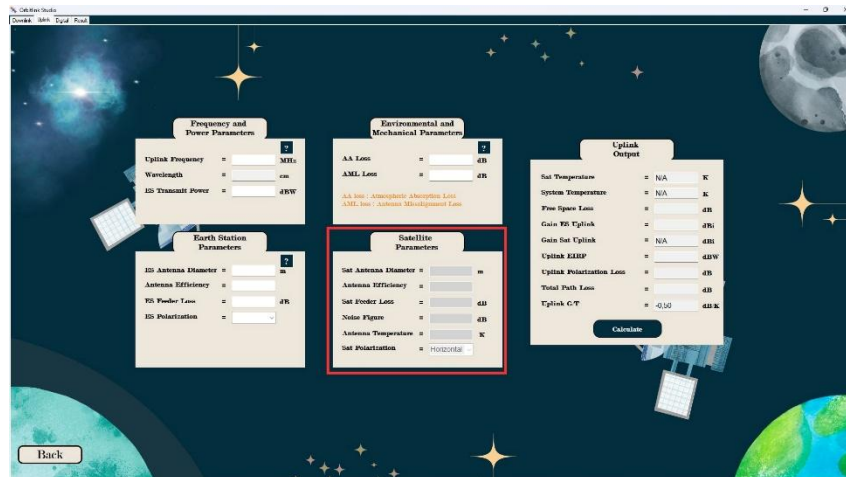
Gambar 3. 28 Antarmuka Kalkulator Eksisting di tab *downlink*

Gambar 3.28 menunjukkan antarmuka kalkulator simulasi eksisting di tab *downlink* yang menunjukkan penguncian blok parameter transmisi satelit akibat otomatisasi ekstraksi data.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 29 Antarmuka Kalkulator Eksisting di tab *uplink*

Gambar 3.29 menunjukkan antarmuka kalkulator simulasi eksisting di *tab uplink* yang menunjukkan penonaktifan blok parameter penerimaan satelit.

Sebagai bentuk representasi dari algoritma tersebut, persamaan matematis untuk mekanisme *bypass* pada operasional mode eksisting ini direpresentasikan sebagai berikut:

A. Skenario *Downlink* (Satelit sebagai Pemancar):

$$EIRP_{sat} = EIRP_{database}$$

$$G_{tx}, P_{tx}, L_{feeder_{tx}} = N/A$$

B. Skenario *Uplink* (Satelit sebagai Penerima):

$$G/T_{sat} = G/T_{database}$$

$$G_{rx}, T_{sys}, L_{feeder_{rx}} = N/A$$

Melalui mekanisme *bypass*, tahapan komputasi secara khusus pada perhitungan redaman lintasan propagasi (FSPL dan redaman lingkungan) serta spesifikasi parameter pada sisi stasiun bumi pengguna. Berikut dijabarkan contoh perhitungan manual menggunakan referensi data spesifikasi dari satelit Measat-3D. Jarak *Slant Range* (d) yang digunakan adalah 36344,96 km, dengan konstanta $c = 299792458 \text{ m/s}$, $k = -228,6 \text{ dBW/K/Hz}$, dan $T_0 = 290 \text{ K}$.

C. Contoh Perhitungan Skenario *Downlink*

Berdasarkan *database* sistem, satelit Measat-3D memiliki nilai pancaran mutlak $EIRP_{dl} = 44 \text{ dBW}$ dan beroperasi pada polarisasi vertikal.

Tabel 3. 8 Parameter Komputasi *Downlink* Eksisting

Parameter	Satelit Measat-3D (Tx)	Stasiun Bumi (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Daya	$f = 3700 \text{ Mhz}$	$NF = 0.5 \text{ dB}$	$L_{atm} = 10 \text{ dB}$
Antena / Feeder	<i>Bypass Database</i>	$D = 4\text{m}$ $\eta = 0,6$	$L_{aml} = 1 \text{ dB}$
Rugi Feeder / Suhu	$EIRP = 44 \text{ dBW}$	$L_{feed} = 1 \text{ dB}$ $T_{ant} = 50 \text{ K}$	Pol = Vertikal (Match)

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan *Downlink*:

Require: $f, d, T_{ant}, NF, EIRP_{dl}, D_{es}, \eta, L_{feed}, L_{atm}, L_{aml}, L_{pol}$

Ensure: $T_{rx}, T_{sys}, FSPL, G_{es_dl}, G/T_{dl}, L_{total}$

Calculate Sytem Temperature:

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1)$$

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx}$$

Calculate FSPL:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45$$

Calculate Antenna Gain & EIRP (ES):

$$G_{es_dl} = 10\log_{10}(\eta(\frac{\pi D f}{c})^2)$$

$$G/T_{dl} = G_{rx} - L_{feeder_{rx}} - 10\log_{10}(T_{sys})$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.10 dan 2.11, Suhu Sistem dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 85.39 K .
2. Berdasarkan rumus 2.8, Redaman Ruang Bebas (FSPL) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 195.02 dB .
3. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.12, Penguatan Antena & G/T (Stasiun Bumi) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{es_dl} sebesar 41.59 dBi dan G/T_{dl} sebesar 21.28 dB/K .



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 206.02 dB.

Hasil perhitungan manual *downlink* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

D. Contoh Perhitungan Skenario Uplink

Parameter komputasi *uplink* yang digunakan dalam scenario ini ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Parameter Komputasi *Uplink* Eksisting

Parameter	Stasiun Bumi (Tx)	Satelit Measat-3D (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Daya	$f = 5925 \text{ Mhz}$	<i>Bypass Database</i>	$L_{atm} = 10 \text{ dB}$
Antena / Feeder	$D = 4m$ $\eta = 0,6$	<i>Bypass Database</i>	$L_{aml} = 1 \text{ dB}$
Rugi Feeder / Suhu	$L_{feed} = 1 \text{ dB}$ $P_{tx} = 10 \text{ dBW}$	$G/T = 2 \text{ dB/K}$	Pol = Horizontal (Match)

Langkah-langkah perhitungan *Uplink*:

Require: $f, d, D_{es}, \eta, P_{tx}, L_{feed}, L_{atm}, L_{aml}, L_{pol}, G/T_{ul}$

Ensure: $G_{es_ul}, EIRP_{ul}, FSPL, L_{total}$

Calculate Antenna Gain & EIRP (ES):

$$G_{es_ul} = 10 \log_{10} \left(\eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right)$$

$$EIRP_{ul} = P_{tx} + G_{tx} - L_{feeder_tx}$$

Calculate FSPL:

$$FSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 92.45$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.8, Redaman Ruang Bebas (FSPL) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 199.11 dB .



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.7, Penguatan Antena & EIRP (Stasiun Bumi) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{es_ul} sebesar 45.68 dBi dan $EIRP_{ul}$ sebesar 54.68 dBW.
3. Berdasarkan rumus 2.5 dan 2.12, Penguatan Antena & G/T (Stasiun Bumi) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{sat_ul} sebesar 46.97 dBi dan G/T_{ul} sebesar 18,35 dB/K.
4. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 210.11 dB.

Hasil perhitungan manual *uplink* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

E. Contoh Perhitungan Skenario *Digital Baseband*

Parameter komputasi *digital* yang digunakan dalam scenario ini ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Parameter Komputasi *Digital* Eksisting

Parameter Baseband	Nilai Input
Symbol Rate (R_s) & Roll-off (α)	5 Msps / 0.35
Modulasi Profil	QPSK 8/9
Orde (M) & Efisiensi Spektral	4 / 1.77 bps/Hz
Ambang Batas Ideal (E_s/N_0)	6.2 dB

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan Digital:

Require: R_s , α , M , Γ , $K = -228.6$, parameter RF ($EIRP, L_{total}, G/T$) dan Ambang Batas Standar DVB-S2 ((E_s/N_0))

Ensure: $BW, R_{b_raw}, R_{beff}, C/N_{dl}, C/N_{ul}, C/N_{total}, (E_b/N_0)_{aktual}, (E_b/N_0)_{req}, LM$.

Calculate Bandwidth:

$$BW = R_s \times (1 + \alpha)$$

Calculate Effective Bit Rate:

$$R_{b_raw} = R_s \times \log_2(M)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$R_{b_{eff}} = R_s \times \log_2(M) \times FEC$$

Calculate C/N :

$$C/N = EIRP - L_{total} + G/T - k - 10\log_{10}(BW)$$

Calculate C/N_{total} :

$$C/N_{total} = -10\log_{10}(10^{-(C/N_{ul})/10} + 10^{-(C/N_{dl})/10})$$

Calculate $(E_b/N_0)_{aktual}$:

$$(E_b/N_0)_{aktual} = C/N_{total} - 10\log_{10}\left(\frac{R_{b_{eff}}}{BW}\right)$$

Calculate $(E_b/N_0)_{req}$:

$$(E_b/N_0)_{Req} = (E_s/N_0)_{threshold} - 10\log_{10}(\Gamma)$$

Calculate LM :

$$LM = (E_b/N_0)_{aktual} - (E_b/N_0)_{req}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.13, 2.14, dan 2.15, sistem memproses nilai *Bandwidth* (BW) dan Kecepatan Aliran Bit (Bit Rate), menghasilkan BW sebesar 6.75 MHz, $R_{b_{raw}}$ sebesar 10.00 Mbps, dan $R_{b_{eff}}$ sebesar 8.85 Mbps.
2. Selanjutnya, berdasarkan rumus 2.17, sistem mengalkulasi Rasio *Carrier-to-Noise* (C/N) secara spesifik, dengan hasil C/N_{dl} sebesar 19.57 dB dan C/N_{ul} sebesar 6.88 dB.
3. Berdasarkan rumus 2.18 dan 2.19, komputasi Rasio C/N_{total} dan Kinerja Aktual dieksekusi, menghasilkan C/N_{total} sebesar 6.65 dB dan nilai $(E_b/N_0)_{aktual}$ sebesar 5.47 dB.
4. Terakhir, berdasarkan rumus 2.16 dan 2.20, kalkulasi Ambang Batas Kinerja Minimal dan *Link Margin* diakumulasi, menghasilkan $(E_b/N_0)_{Req}$ sebesar 3.72 dB dan penentuan nilai akhir LM sebesar 1.75 dB.

Hasil integrasi dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

C. Realisasi Antarmuka Kalkulator Simulasi Link Budget (Mode Navigasi Baru)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Antarmuka kalkulator navigasi dirancang secara spesifik untuk memproses komputasi analisis tautan Sistem Satelit Navigasi. Komputasi analisis pada mode ini difokuskan pada pemenuhan ambang batas akuisisi sinyal, yang secara matematis direpresentasikan melalui metrik C/N_0 . Untuk menyajikan pembahasan alur algoritma secara sistematis dan komprehensif, realisasi antarmuka kalkulator ini dibedah menjadi dua bagian fungsional utama.

1. Inisialisasi Antarmuka dan Panduan Referensi Parameter

Antarmuka kalkulator navigasi menampilkan halaman pengisian parameter operasional yang terintegrasi dengan modul panduan referensi standar *Radio Navigation Satellite Service* (RNSS) berdasarkan regulasi ITU-R. Fitur panduan ini disematkan secara strategis pada setiap blok parameter.

Secara fungsional, sistem secara otomatis menarik parameter fisis seperti *slant range* dan sudut elevasi yang telah dikomputasi sebelumnya. Pada tahapan ini, opsi polarisasi linear dihapus secara otomatis, sehingga opsinya hanya memilih polarisasi sirkuler (RHCP atau LHCP) yang merupakan standar mutlak dalam transmisi sinyal satelit navigasi. *User* dapat pemanggilan referensi spesifik akan dieksekusi dengan tombol bantuan. Seperti pada Gambar 3.30 dan Gambar 3.31.

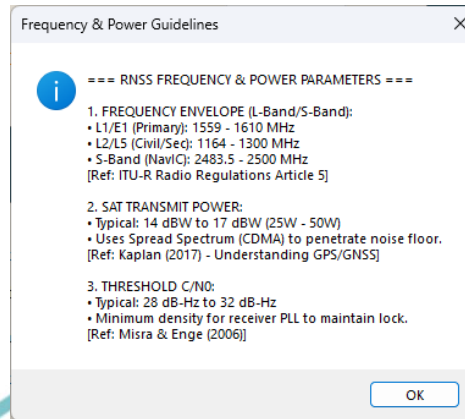
Gambar 3. 30 Tampilan halaman kalkulator satelit navigasi

Gambar 3.30 menampilkan halaman kalkulator untuk user menginput parameter link dari navigasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 31 Panduan Alokasi Parameter Navigasi (RNSS)

Gambar 3.31 adalah representasi fitur jendela informasi interaktif yang menyajikan panduan alokasi parameter navigasi sesuai standar regulasi ITU-R guna mencegah kesalahan spesifikasi rancangan.

2. Komputasi Matematika Tautan Navigasi (RNSS)

Pada realisasi antarmuka sistem satelit navigasi (RNSS) mode baru, komputasi dieksekusi dalam satu lintasan (*downlink*). Sebagai bentuk representasi matematis dari algoritma komputasi tersebut, berikut dijabarkan ilustrasi perhitungan manual menggunakan skenario perancangan tautan satelit navigasi baru, di mana mengacu pada tahapan geometri sebelumnya, nilai *Slant Range* (d) yang digunakan adalah 24910,59 km, dengan target *Beamwidth* (θ_{3dB}) 24,88°. Konstanta fisika yang digunakan meliputi $c = 299792458 \text{ m/s}$, $k = -228,6 \text{ dBW/K/Hz}$, dan $T_0 = 290 \text{ K}$, $(C/N_0)_{Threshold} = 30,00 \text{ dB-Hz}$.

Tabel 3. 11 Parameter Komputasi Tautan Navigasi (Baru)

Parameter	Satelit Navigasi (Tx)	Pengguna (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Daya	$f = 1164 \text{ MHz}$	$NF = 2 \text{ dB}$	$L_{atm} = 1 \text{ dB}$
Antena / Target	$K_a = 35000$ $\theta_{3dB} = 24,88^\circ$	$G_{rx} = 0 \text{ dBi}$	$L_{env} = 20 \text{ dB}$
Rugi Feeder / Suhu	$L_{feed} = 1 \text{ dB}$ $P_{tx} = 14 \text{ dBW}$	$T_{ant} = 100 \text{ K}$	$Pol = RHCP$ (Match)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan GNSS:

Require: $f, d, T_{ant}, NF, K_a, \theta_{3dB}, P_{tx}, G_{rx}, L_{feed}, L_{env}, L_{atm}, L_{pol}, (C/N_0)_{Threshold}, k = -228,6$

$N_0)_{Threshold}, k = -228,6$

Ensure: $T_{rx}, T_{sys}, FSPL, G_{tx_sat}, EIRP, L_{total}, P_{rx_aktual}, N_0, (C/N_0)_{aktual}, LM$

$N_0)_{aktual}, LM$

Calculate System Temperature:

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1)$$

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx}$$

Calculate FSPL:

$$FSPL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45$$

Calculate Antenna Gain & EIRP (Satellite):

$$G_{tx_sat} = 10\log_{10}\left(\frac{K_a}{\theta_{3dB}^2}\right)$$

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{feeder_tx}$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Calculate Received Power (P_{rx_aktual}):

$$P_{rx_aktual} = EIRP_{sat} - L_{total} + G_{rx_{es}}$$

Calculate Noise Spectral Density (N_0):

$$N_0 = k + 10\log_{10}(T_{sys})$$

Calculate Signal Quality (C/N_0)_{aktual}):

$$(C/N_0)_{aktual} = P_{rx_aktual} - N_0$$

Calculate LM:

$$LM = (C/N_0)_{aktual} - (C/N_0)_{threshold}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.10 dan 2.11, Suhu Sistem dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 269.62 K.
2. Berdasarkan rumus 2.8, Redaman Ruang Bebas (FSPL) dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 181.70 dB.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Berdasarkan rumus 2.6 dan 2.7, Penguatan Antena & EIRP (Satelit) dan didapatkan hasil kalkulasi G_{tx_sat} sebesar 17.52 dBi dan EIRP sebesar 30.52 dBW .
4. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 202.70 dB.
5. Berdasarkan rumus 2.21, Daya Terima Sinyal Aktual (P_{rx_aktual}) pada stasiun penerima dihitung, dan didapatkan nilai -172,18 dBW.
6. Berdasarkan rumus 2.23, komputasi Kerapatan Spektral Derau (N_0) dieksekusi untuk merepresentasikan batas *noise floor sistem*, menghasilkan nilai -204,29 dBW/Hz.
7. Berdasarkan rumus 2.24, Kualitas Sinyal Aktual atau Rasio *Carrier-to-Noise Density* ($(C/N_0)_{aktual}$) diproses dengan hasil sebesar 32,12 dB-Hz.
8. Berdasarkan rumus 2.25, *Link Margin* dihitung dengan membandingkan kualitas aktual terhadap ambang batas kinerja minimum (30,00 dB-Hz), menghasilkan nilai akhir *LM* sebesar 2,12 dB.

Hasil perhitungan manual *link* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

D. Realisasi Antarmuka dan Komputasi Matematika Kalkulator Simulasi Link Budget (Mode Navigasi Eksisting)

Secara fungsional, antarmuka ini identik dengan kalkulator simulasi navigasi pada mode baru. Perbedaan paling menonjol terletak pada otomatisasi pemuatan parameter satelit dan penerapan mekanisme *bypass* terhadap komputasi daya terima sinyal. Pada antarmuka ini, blok parameter transmisi satelit dikunci sepenuhnya. Seperti pada Gambar 3.32.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 32 Tampilan blok parameter satelit navigasi dikunci

Gambar 3.32 adalah tampilan halaman panel kalkulator simulasi navigasi eksisting yang menunjukkan penonaktifan blok parameter frekuensi dan transmisi satelit (kecuali C/N_0 Threshold).

Karena parameter konstelasi navigasi diambil dari spesifikasi *datasheet* resmi instrumen satelit. Berikut perhitungan manual menggunakan spesifikasi referensi dari satelit Galileo OS SIS ICD. Satelit beroperasi pada frekuensi $1575,42 \text{ MHz}$ dengan polarisasi RHCP, dan menjamin daya terima minimum di permukaan bumi sebesar $P_{rx_min} = -157,25 \text{ dBW}$. Konstanta fisika yang digunakan meliputi $c = 299792458 \text{ m/s}$, $k = -228,6 \text{ dBW/K/Hz}$, dan $T_0 = 290 \text{ K}$, $(C/N_0)_{Threshold} = 28.00 \text{ dB - Hz}$.

Tabel 3. 12 Parameter Komputasi Tautan Navigasi Eksisting

Parameter	Satelit Navigasi (Tx)	Pengguna (Rx)	Lingkungan
Frekuensi / Polaritas	$f = 1575,42 \text{ MHz}$ $Pol = RHCP$	$Pol = RHCP$ (Match)	$L_{atm} = 1 \text{ dB}$
Parameter Satelit	Bypass Database	$G_{rx} = 0 \text{ dBi}$	$L_{env} = 17 \text{ dB}$
Daya Terima Pijakan	$P_{rx_min} =$ -157.25 dBW	$NF = 2 \text{ dB}$ $T_{ant} = 100 \text{ K}$	$(C/N_0)_{Threshold} =$ 28.00 dB - Hz

Algoritma dan langkah-langkah perhitungan GNSS Eksisting:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Require: $P_{rx_min}, f, T_{ant}, NF, G_{rx}, L_{feed}, L_{env}, L_{atm}, L_{pol}, (C/N_0)_{Threshold}, k = -228,6$

Ensure: $T_{rx}, T_{sys}, L_{total}, P_{rx_aktual}, N_0, (C/N_0)_{aktual}, LM$

Calculate System Temperature:

$$T_{rx} = T_0(10^{NF/10} - 1)$$

$$T_{sys} = T_{ant} + T_{rx}$$

Calculate Total Loss (L_{total}):

$$L_{total} = FSPL + L_{atm} + L_{env} + L_{pol}$$

Calculate Received Power (P_{rx_aktual}):

$$P_{rx_aktual} = P_{rx_min} - L_{atm} - L_{env} - L_{pol} + G_{rx_es}$$

Calculate Noise Spectral Density (N_0):

$$N_0 = k + 10 \log_{10}(T_{sys})$$

Calculate Signal Quality ($(C/N_0)_{aktual}$):

$$(C/N_0)_{aktual} = P_{rx_aktual} - N_0$$

Calculate LM:

$$LM = (C/N_0)_{aktual} - (C/N_0)_{threshold}$$

Perhitungan dieksekusi sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus 2.10 dan 2.11, Suhu Sistem dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 269.62 K.
2. Berdasarkan rumus 2.9, Total Redaman dan didapatkan hasil kalkulasi sebesar 18 dB.
3. Berdasarkan rumus 2.22, Daya Terima Sinyal Aktual (P_{rx_aktual}) pada stasiun penerima dihitung, dan didapatkan nilai -175.25 dBW .
4. Berdasarkan rumus 2.23, komputasi Kerapatan Spektral Derau (N_0) dieksekusi untuk merepresentasikan batas *noise floor* sistem, menghasilkan nilai -204.29 dBW/Hz .
5. Berdasarkan rumus 2.24, Kualitas Sinyal Aktual atau Rasio *Carrier-to-Noise Density* ($(C/N_0)_{aktual}$) diproses dengan hasil sebesar $29.04 \text{ dB} - \text{Hz}$.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Berdasarkan rumus 2.25, *Link Margin* dihitung dengan membandingkan kualitas aktual terhadap ambang batas kinerja minimum (28,00 dB-Hz), menghasilkan nilai akhir *LM* sebesar 1.04 dB.

Berdasarkan Hasil perhitungan manual *link* dikonversi ke dalam kode sistem dan menampilkan keluaran antarmuka sistem.

E. Arsitektur Mesin Validasi (*Blueprint Engine*), Ekspor Dokumen dan Visualisasi Satelit

Sebagai tahap evaluasi akhir pada seluruh simulasi, sistem mengimplementasikan mesin validasi (*Blueprint Engine*) untuk mengevaluasi tingkat kelayakan *link*. Setelah tahapan komputasi selesai dieksekusi, sistem menyediakan fitur ekspor untuk mengunduh ringkasan parameter simulasi ke dalam format dokumen PDF. Pengujian parameter yang diklasifikasikan ke dalam dua tingkatan validasi utama:

A. Kasta Merah (*Fatal Errors*) - Hukum Fisika dan Absolut

Tingkatan validasi ini mengevaluasi parameter yang melanggar batasan termodinamika, geometri spasial, atau batas spesifikasi perangkat keras, yang secara fisis mengakibatkan kegagalan *link* (*outage*). Seperti pada Tabel 3.13.

Tabel 3. 13 Rangkuman Parameter Validasi Fatal Error (Kasta Merah)

Parameter Kritis	Batas Komunikasi	Batas Navigasi
Margin Tautan	$E_b/N_{0_aktual} > E_b/N_{0_req}$	$C/N_{0_aktual} > C/N_{0_req}$
Sudut Elevasi	$< 0^\circ$	$< 5^\circ$
Polarisasi Mismatch	Ortogonal Mutlak	Ortogonal Mutlak
Spektrum Frekuensi	Di luar batas <i>bandwidth</i> transponder satelit eksisting	Di luar pita GNSS Standar (L1/E1, L2/L5, S-Band)
Suhu & Derau (NF)	$T_{ant} \leq 0, NF < 0$	$T_{ant} \leq 0, NF < 0$ $L_{atm} < 0, L_{env} < 0$
Parameter Digital	$\eta \leq 0$ atau $\eta \geq 0$ $\alpha \leq 0$ atau $\alpha \geq 0$	N/A
Konstanta Antena	N/A	$K_a \leq 0$ atau $K_a \geq 41.253$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

B. Kasta Kuning (*Design Warnings*) - Standar Operasional Industri

Tingkatan validasi ini mengevaluasi rancangan *link* yang secara matematis berstatus *feasible*, namun memiliki parameter masukan yang menyimpang dari standar regulasi atau spesifikasi tipikal industri. Algoritma peringatan ini beroperasi secara adaptif mengikuti *variable* layanan dan kelas orbit. Rangkuman parameter dapat dilihat pada Tabel 3.14 dan Tabel 3.15.

Tabel 3. 14 Rangkuman Parameter Validasi Design Warning Komunikasi

Parameter Design	FSS	MSS	BSS
Batas Elevasi Bawah	$0^\circ \leq X \leq 10^\circ$	$0^\circ \leq X \leq 10^\circ$	$0^\circ \leq X \leq 10^\circ$
Alokasi Frek (ITU-R)	Di luar C, X, Ku, Ka-Band	Di luar L-Band, S-Band	Di luar Ku-Band, Ka-Band
Daya Satelit	LEO: 0-10, MEO: 10-15, GEO: 13-22 dBW	LEO: 0-7, GEO: 10-20 dBW	GEO > 20 dBW
Daya Bumi UL	VSAT: 3-10, GTW: 20-35 dBW	-3 hingga 3 dBW	Feeder GTW: 20-35 dBW
Diameter Satelit	LEO/MEO: 0.5-1.5 m GEO: 1.5-4.0 m	LEO: 1.0-2.0 m GEO: 9.0-18.0 m	GEO: 2.0-3.0 m
Diameter Bumi	VSAT: 0.6-2.4 m Gateway: 4.0-30.0 m	Handheld/ helix: 0.01-1.0 m	Parabola Konsumen: 0.45-1.2 m
Redaman Feeder Satelit	0.5 - 1.5 dB	0.5 - 1.5 dB	0.5 - 1.5 dB
Redaman Feeder Bumi	DL: 0.5-3.0, UL: 1.0-3.0 dB	DL: 0.5-3.0, UL: 1.0-3.0 dB	DL: 0.5-3.0 dB,
Antenna Misalignment	Maksimal 1.0 dB	Maksimal 1.0 dB	Maksimal 1.0 dB
Efisiensi Antena	Toleransi 0.40 - 0.85	Toleransi 0.40 - 0.85	Toleransi 0.40 - 0.85
Polarisasi Mismatch	Linear ke Sirkuler (Loss 3 dB)	Tautan menggunakan Linear	Linear ke Sirkuler (Loss 3 dB)
Suhu Bumi	30 - 150 K	100 - 150 K	30 - 150 K
Suhu Satelit	280 - 300 K	280 - 300 K	N/A
Noise Figure Bumi	0.5 - 2.0 dB	2.0 - 3.5 dB	0.5 - 2.0 dB
Noise Figure Satelit	2.0 - 5.0 dB	2.0 - 5.0 dB	N/A
Laju Simbol	VSAT: 2-45, HTS: 100-500 Msps	0.05 - 1.0 Msps	2 - 45 Msps
Faktor Roll-Off	0.20, 0.25, 0.35	0.20, 0.25, 0.35	0.20, 0.25, 0.35
Modulasi Tidak Ideal	16/32APSK pada orbit LEO/MEO	Pemakaian 16/32APSK	Pemakaian 16/32APSK



Hak Cipta :

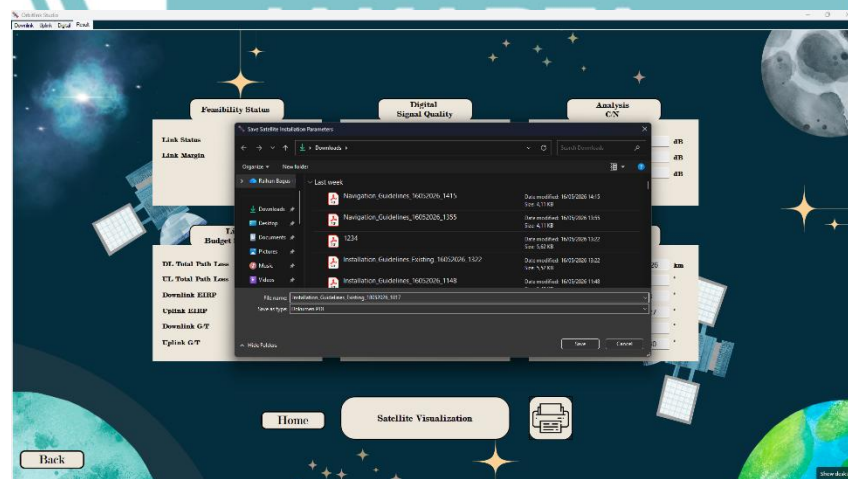
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 3. 15 Rangkuman Parameter Validasi *Design Warning* RNSS

Parameter Desain GNSS	Tipikal Standar Navigasi
Batas Elevasi Rentan	$5^{\circ} \leq X \leq 10^{\circ}$
Daya Pancar Satelit	14 - 17 dBW
Threshold C/N_0	28 - 32 dB-Hz
Konstanta Antena	27.000 - 33.000
Redaman Atmosfer (AA)	$\leq 0.5 \text{ dB}$
Redaman Lingkungan	Maksimal 15 dB
Penguatan Antena Rx	-5 hingga 3 dBi
Suhu Noise Bumi	100 - 130 K
Noise Figure (NF) Rx	2.0 - 3.5 dB
Redaman Feeder Satelit	0.5 - 1.5 dB

C. Eskpor Dokumen dan Visualisasi Satelit

Proses ekspor dokumen dieksekusi saat pengguna menekan ikon cetak pada antarmuka. Pustaka *iTextSharp* memetakan hasil komputasi berdasarkan klasifikasi validasi ke dalam tabel PDF terstruktur. Seperti pada Gambar 3.33.



Gambar 3. 33 Tampilan Penyimpanan Berkas Dokumen PDF

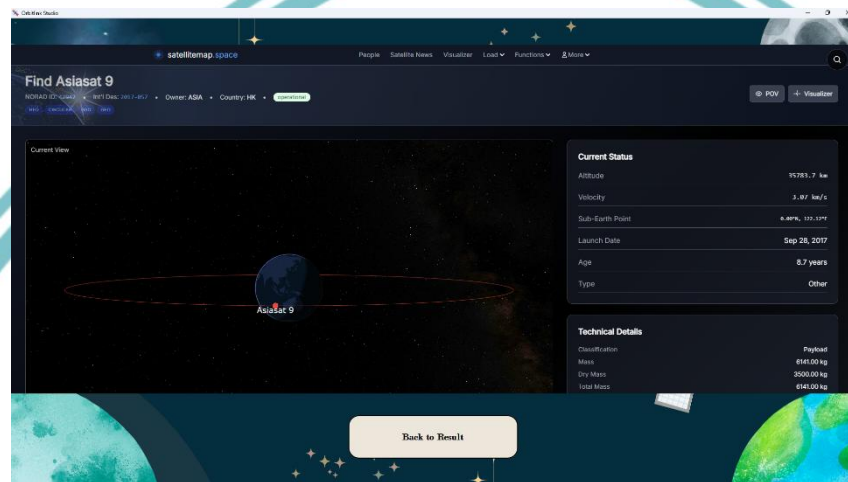


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.33 menunjukkan tampilan antarmuka sistem saat memproses penyimpanan berkas hasil simulasi ke dalam format dokumen PDF.

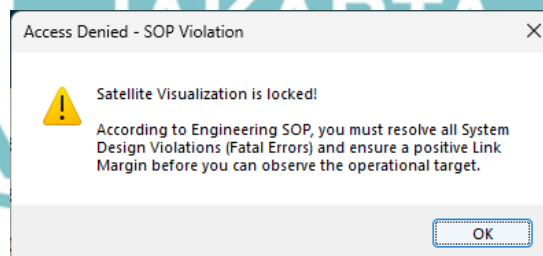
Selain dokumen cetak, sistem menyediakan visualisasi posisi satelit secara *real-time*. Fungsionalitas visualisasi ini beroperasi dalam dua kondisi, yaitu pelacakan koordinat dinamis berbasis parameter *NORAD ID* yang diinput secara manual, atau pemanggilan otomatis dari *database internal eksisting* untuk satelit GEO. Contoh visualisasi ditunjukkan pada Gambar 3.34.



Gambar 3. 34 Tampilan Visualisasi Satelit

Gambar 3.34 menunjukkan visualisasi satelit Asiasat 9 secara aktual.

Fungsionalitas visualisasi ini berfungsi secara kondisional terhadap luaran status kelayakan tautan akhir, Jika tautan tidak laya maka *user* tidak dapat memvisualisasikan satelitnya. Seperti pada Gambar 3.35.



Gambar 3. 35 Tampilan Notifikasi *Block* Visualisasi Satelit

Gambar 3.35 merepresentasikan antarmuka penanganan galat berupa pemblokiran akses visualisasi (*Access Denied*) sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) perancangan yang dibuat.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengujian dan analisis terhadap perangkat lunak simulasi *link budget* satelit multiorbit yang telah dirancang pada Bab III. Prosedur pengujian dieksekusi menggunakan metode *Black-Box Testing* untuk memverifikasi fungsionalitas antarmuka sistem, akurasi algoritma komputasi matematis, serta ketepatan evaluasi parameter validasi berdasarkan standar regulasi industri. Tahapan evaluasi ini dijabarkan secara terstruktur, dimulai dari pengujian antarmuka dan komputasi geometri spasial, analisis komparasi akurasi menggunakan studi kasus konstelasi satelit eksisting hingga analisis hasil simulasi komunikasi *multiorbit*. Adapun ruang lingkup pengujian yang dilaksanakan pada bab ini adalah sebagai berikut:

Lokasi	: Politeknik Negeri Jakarta
Waktu Pelaksanaan	: 04-05-2026
Pelaksana	: Raihan Bagus Maulana
Pembimbing	: Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

4.1 Pengujian Fungsionalitas Sistem Geometri Spasial

Pengujian ini mengevaluasi modul komputasi spasial dan pemetaan visual pada aplikasi. Tujuannya adalah memastikan keakuratan perhitungan matematis posisi satelit terhadap stasiun bumi, serta kesesuaiannya dengan visualisasi di antarmuka. Tahapan evaluasi ini dijabarkan melalui deskripsi, prosedur, dan data hasil pengujian sebagai berikut:

4.1.1 Deskripsi Pengujian Fungsionalitas Sistem Geometri Spasial

Pengujian ini bertujuan memvalidasi integrasi pustaka pemetaan (Leaflet dan *satellitemap.space*) dengan komputasi spasial aplikasi. Selain itu, pengujian juga mengevaluasi keandalan algoritma dalam mendeteksi sudut elevasi di bawah ambang batas operasional untuk layanan komunikasi dan navigasi.

4.1.2 Prosedur Pengujian Fungsionalitas Sistem Geometri Spasial

Pengujian fungsionalitas geometri ini dilakukan melalui langkah-langkah terstruktur sebagai berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Mengakses antarmuka utama aplikasi dan mengarahkan sistem ke modul kalkulator Geometri Spasial.
2. Berinteraksi langsung dengan pustaka pemetaan interaktif (Leaflet) dengan cara mengklik titik lokasi stasiun bumi yang diinginkan pada peta. Memverifikasi bahwa sistem secara otomatis mengekstrak titik tersebut dan mengisi parameter Lintang (*Latitude*) dan Bujur (*Longitude*) ke dalam kotak teks stasiun bumi tanpa *input* manual.
3. Membuka platform *satellitemap.space* untuk menentukan target satelit referensi. Selanjutnya, memasukkan parameter lintasan satelit tersebut secara manual ke dalam area teks aplikasi sesuai dengan data dari platform pelacak.
4. Menjalankan pengujian respons elevasi dengan mengatur titik stasiun bumi pada peta ke dalam 4 (empat) skenario uji kritis yaitu komunikasi (rentan & fatal) dan navigasi (rentan & fatal).

4.1.3 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem Geometri Spasial

Berdasarkan prosedur pengujian di atas, ringkasan data hasil komputasi numerik beserta respons sistem dijabarkan pada Tabel 4.1 dan divisualisasikan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Peta Interaktif dan *Geometric Constraint*

Layanan	Posisi Bumi	Lokasi Bumi	Posisi Satelit	Elevasi Aktual
Komunikasi	Lat: 15.538376 Lon: 103.886719	Thailand Timur Laut	Lat: 5.7072 Lon: 116.1303 Alt: 482.50	7.22°
Komunikasi	Lat: 35.065973 Lon: 107.402344	China Tengah	Lat: 5.7072 Lon: 116.1303 Alt: 482.50	-7.58°
Navigasi	Lat: 36.879621 Lon: 82.705078	China Barat	Lat: 52.6728 Lon: -22.7692 Alt: 23218.08	8.04°
Navigasi	Lat: -0.263671 Lon: 112.895508	Kalimantan Tengah	Lat: 52.6728 Lon: -22.7692 Alt: 23218.08	-35.97°

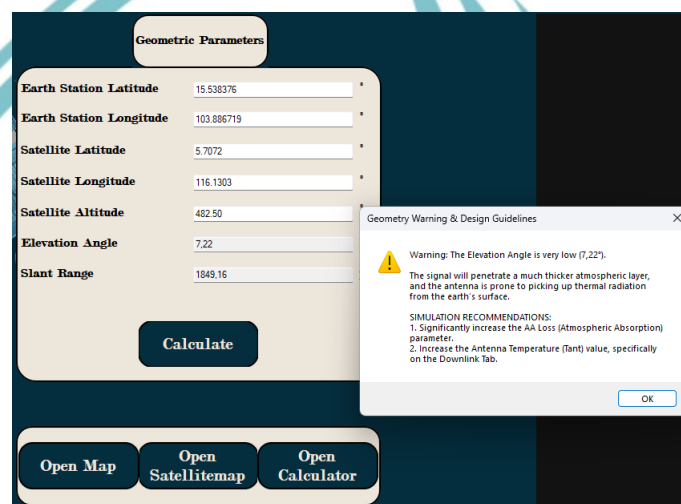


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

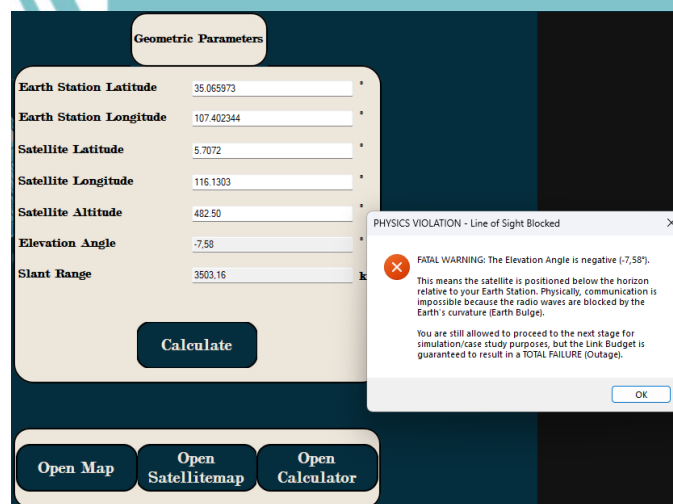
Data hasil pengujian pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa modul komputasi geometri spasial telah terintegrasi secara fungsional dengan antarmuka peta visual dan algoritma evaluasi parameter. Proses ekstraksi titik koordinat dari interaksi pengguna melalui pustaka *Leaflet* berhasil untuk menghasilkan nilai sudut elevasi yang akurat.

Hasil pengujian visual yang memvalidasi fungsionalitas ekstraksi koordinat stasiun bumi secara otomatis, serta respons sistem dalam menampilkan notifikasi peringatan berdasarkan klasifikasi validasi geometri.



Gambar 4. 1 Pengujian Skenario 1 Komunikasi (Elevasi Rentan 0° - 10°)

Gambar 4.1 menunjukkan respons sistem skenario 1. Komputasi sistem menghasilkan sudut elevasi aktual sebesar 7,22°. Mengacu pada batasan standar industri ($0^\circ \leq \text{Elevasi} \leq 10^\circ$), sistem menghasilkan status *Design Warning*





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 2 Pengujian Skenario 2 Komunikasi (Elevasi Fatal $< 0^\circ$)

Gambar 4.2 menunjukkan respons sistem skenario 2 berupa *fatal error* sudut elevasi diluar standar operasional mode komunikasi yaitu sebesar -7.58° karena ketiadaan *line-of-sight*.

Gambar 4. 3 Pengujian Skenario 3 Navigasi (Elevasi Rentan $5^\circ - 10^\circ$)

Gambar 4.3 menunjukkan respons sistem skenario 3. Komputasi sistem menghasilkan sudut elevasi sebesar $8,04^\circ$. Mengacu pada rentang batasan marginal GNSS ($5^\circ \leq \text{Elevasi} \leq 10^\circ$), sistem mengklasifikasikan nilai tersebut dengan status *Design Warning*.

Gambar 4. 4 Pengujian Skenario 4 Navigasi (Elevasi Fatal $< 5^\circ$)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.4 menunjukkan respons sistem skenario 4. Komputasi sudut elevasi menghasilkan nilai $-35,97^\circ$. Kondisi tersebut memicu status *Fatal Error* akibat terjadinya pemblokiran topografi, di mana nilai elevasi berada jauh di bawah ambang batas minimum operasional (Elevasi $< 5^\circ$).

4.2 Pengujian Kendali Interaktif Antarmuka Kalkulator (*Routing UI*)

Pengujian ini mengevaluasi lapisan antarmuka untuk mengatur alur masukan data secara dinamis. Tujuannya adalah mencegah galat masukan (*input error*) sebelum komputasi matematis dieksekusi.

4.2.1 Deskripsi Pengujian *Routing UI*

Pengujian ini memvalidasi perubahan status komponen antarmuka (seperti *enabled/disabled*) sesuai mode simulasi yang dipilih. Evaluasi berfokus pada respons sistem dalam membatasi akses parameter *uplink* dan navigasi berdasarkan jenis layanan pada tahap inisialisasi.

4.2.2 Prosedur Pengujian *Routing UI*

Pengujian mekanisme pengaturan rute antarmuka (*Routing UI*) dilakukan dengan mengeksekusi langkah-langkah uji (*test cases*) berikut:

1. Membuka aplikasi dan mengarahkan kursor ke panel "Pemilihan Mode Simulasi" pada tampilan awal.
2. Memilih mode Komunikasi Dua Arah.
3. Mengubah pilihan mode menjadi "Komunikasi Satu Arah".
4. Mengubah pilihan mode ke jenis layanan yang berbeda, yaitu "Navigasi".
5. Mengamati setiap perubahan keluaran pada *Tab Geometri*, memverifikasi status keaktifan (*enabled/disabled*) pada seluruh blok parameter input (*Downlink*, *Uplink*, dan *Digital*), serta menganalisis perubahan tata letak (*layout*) secara menyeluruh pada *Tab Kalkulator* khusus mode "Navigasi".

4.2.3 Hasil Pengujian *Routing UI*

Matriks perubahan status fungsional dijabarkan pada Tabel 4.2 dan divisualisasikan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Keaktifan dan Perubahan *Routing UI*

Mode Simulasi	Tab Geometri	Konfigurasi Layout Tab Kalkulator	Status Keaktifan Parameter
Komunikasi Dua Arah	Menghitung <i>Slant Range</i> & Sudut Elevasi	Menampilkan blok <i>Downlink, Uplink, dan Digital</i>	Seluruh blok (<i>DL, UL, Digital</i>) berstatus Terbuka (<i>Enabled</i>).
Komunikasi Satu Arah	Menghitung <i>Slant Range</i> & Sudut Elevasi	Menampilkan blok <i>Downlink, Uplink, dan Digital</i>	Blok <i>Downlink & Digital</i> Terbuka. Blok <i>Uplink</i> Terkunci (<i>Disabled</i>)
Navigasi	Menghitung <i>Slant Range, Sudut Elevasi, & Target Beamwidth</i>	Menampilkan blok "Link"	Menampilkan blok khusus "Navigasi".

Berdasarkan Tabel 4.2, instruksi berbasis kejadian (*event-driven*) pada program secara fungsional mengendalikan perubahan status dan tata letak antarmuka sesuai dengan mode simulasi yang dikonfigurasi.

Hasil pengujian fungsionalitas pengondisian status antarmuka ditunjukkan melalui gambar layar aplikasi. Sistem secara otomatis melakukan adaptasi tata letak, pembatasan akses input, serta penyesuaian parameter keluaran berdasarkan mode simulasi yang dipilih oleh pengguna.

Gambar 4. 5 Keluaran Kalkulasi *Tab Geometri* pada Mode Komunikasi

Gambar 4.5 menunjukkan parameter keluaran berupa komputasi *slant range* dan sudut elevasi pada pengujian mode komunikasi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

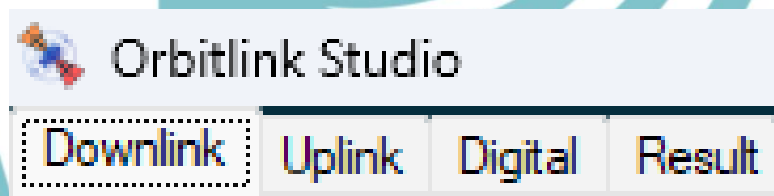


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

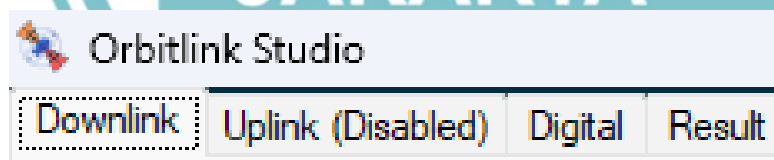
Gambar 4. 6 Penambahan Target Beamwidth pada Tab Geometri Navigasi

Gambar 4.6 menampilkan penyesuaian parameter mode navigasi, sistem mengaktifkan komputasi tambahan berupa *target beamwidth* untuk mengakomodasi parameter cakupan sinyal GNSS.



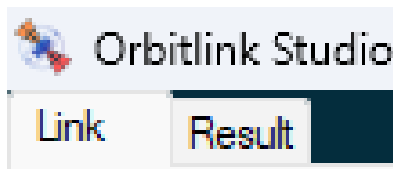
Gambar 4. 7 Antarmuka Kalkulator pada Mode Komunikasi Dua Arah

Gambar 4.7 menunjukkan status fungsional antarmuka yang untuk blok parameter *downlink* dan *uplink* pada pengujian komunikasi dua arah.



Gambar 4. 8 Antarmuka Kalkulator pada Mode Komunikasi Satu Arah

Gambar 4.8 menunjukkan penonaktifan fungsionalitas pada blok parameter *uplink* saat sistem beroperasi pada mode komunikasi satu arah, blok parameter *uplink* dinonaktifkan (*disabled*) untuk memblokir masukan data yang tidak relevan dengan arsitektur transmisi searah.



Gambar 4. 9 Visualisasi Antarmuka Parameter Link Khusus Navigasi

Gambar 4.9 menampilkan adaptasi antarmuka yang dikonfigurasi untuk mengakomodasi parameter masukan dan keluaran pada mode navigasi. Sistem merekonfigurasi tata letak antarmuka secara komprehensif dengan menonaktifkan blok parameter komunikasi dan menampilkan blok parameter spesifik navigasi.

4.3 Pengujian Otomatisasi Basis Data dan Mekanisme *Bypass* Mode Eksisting

Pengujian ini difokuskan pada fungsionalitas integrasi basis data. Evaluasi dilakukan terhadap kemampuan sistem dalam mengeksekusi pengisian data otomatis (*auto-fill*) antarlayanan, serta mekanisme penguncian parameter perangkat keras saat sistem mengonfigurasi simulasi untuk konstelasi satelit eksisting.

4.3.1 Deskripsi Pengujian Otomatisasi Basis Data dan Mekanisme *Bypass* Mode Eksisting

Pengujian ini memvalidasi fungsionalitas ekstraksi data parameter dari basis data internal ke dalam sistem antarmuka. Evaluasi juga mencakup eksekusi algoritma *bypass* yang berfungsi *mendisabled* pada blok parameter satelit, serta menyesuaikan logika masukan koordinat dan komputasi *beamwidth*.

4.3.2 Prosedur Pengujian Otomatisasi Basis Data dan Mekanisme *Bypass* Mode Eksisting

Pengujian mekanisme ekstraksi basis data dilakukan dengan mengeksekusi langkah-langkah uji berikut:

1. Menjalankan aplikasi dan mengatur Mode Simulasi ke "Komunikasi Dua Arah".
2. Memilih Target Satelit ke mode "Satelit Baru".
3. Mengubah Target Satelit ke mode "Satelit Eksisting" dan memilih satu nama satelit referensi (misalnya: Measat-3D).
4. Mengatur ulang Mode Simulasi ke "Navigasi".





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Memilih Target Satelit ke mode "Satelit Baru".
6. Mengubah Target Satelit ke mode "Satelit Eksisting" dan memilih satu standar referensi navigasi (misalnya: Galileo OS SIS ICD).
7. Di setiap percobaan amati "Input Koordinat Satelit", "Output yang dihitung" pada *Tab* Geometri dan "Parameter Perangkat Satelit" pada *Tab* Kalkulator.

4.3.3 Hasil Pengujian Otomatisasi Basis Data dan Mekanisme *Bypass Mode* Eksisting

Matriks perbandingan respons sistem antara mode satelit baru dan satelit eksisting untuk layanan Komunikasi dan Navigasi dirangkum pada Tabel 4.3 dan divisualisasikan pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Ekstraksi Basis Data

Jenis Layanan	Jenis Mode	Satelit Eksisting yang dipilih	Respons Sistem Geometri	Respons Sistem Kalkulator
Komunikasi	Satelit Baru	N/A	Input Koordinat Satelit <i>Enabled</i>	Blok Parameter Satelit <i>Enabled</i>
Komunikasi	Satelit Eksisting	Measat-3D	Non-Geo: Input Koordinat Satelit <i>Enabled</i> Geo: Input Koordinat Satelit <i>Disabled</i>	Blok Parameter Satelit <i>Disabled</i>
Navigasi	Satelit Baru	N/A	Menghitung Target Beamwidth	Blok Parameter Satelit <i>Enabled</i>
Navigasi	Satelit Eksisting	Galileo OS SIS ICD	Tidak menghitung Target Beamwidth	Blok Parameter Satelit <i>Disabled</i>

Berdasarkan Tabel 4.3, sistem berhasil mengimplementasikan transisi status fungsional pengoperasian mode perancangan satelit baru dan mode satelit eksisting.

Hasil pengujian visual pada antarmuka menampilkan komparasi transisi status fungsional (*enabled* menjadi *disabled*) antara pengoperasian mode perancangan satelit baru dan mode satelit eksisting.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Komunikasi Baru	Komunikasi Eksisting Non-Geo	Komunikasi Eksisting Geo
Geometric Parameters		
Earth Station Latitude	Earth Station Latitude	Earth Station Latitude
Earth Station Longitude	Earth Station Longitude	Earth Station Longitude
Satellite Latitude	Satellite Latitude	Satellite Latitude 0.0227
Satellite Longitude	Satellite Longitude	Satellite Longitude 91.509
Satellite Altitude	Satellite Altitude	Satellite Altitude 35803.24
Elevation Angle	Elevation Angle	Elevation Angle
Slant Range	Slant Range	Slant Range
Calculate	Calculate	Calculate

Gambar 4. 10 Perbandingan Status Input Koordinat *Tab* Geometri

Gambar 4.10 adalah perbandingan Status Input Koordinat pada *Tab* Geometri Komunikasi di mana pemilihan satelit eksisting Measat-3D memicu penonaktifan akses pada blok parameter satelit *downlink* dan *uplink*. Pada antarmuka geometri, sistem mengklasifikasikan Measat-3D sebagai satelit geostasioner (GEO), sehingga kolom masukan koordinat satelit *bypass* karena GEO bersifat tetap (*stasioner*). Sebaliknya, saat profil satelit mengorbit di NonGEO, kolom masukan koordinat tetap berstatus aktif (*enabled*) karena orbit yang dinamis.

Navigasi Baru	Navigasi Eksisting
Geometric Parameters	
User Latitude	User Latitude
User Longitude	User Longitude
Satellite Latitude	Satellite Latitude
Satellite Longitude	Satellite Longitude
Satellite Altitude	Satellite Altitude
Elevation Angle	Elevation Angle
Slant Range	Slant Range
Target Beamwidth	Target Beamwidth
Calculate	Calculate

Gambar 4. 11 Perbandingan Algoritma Kalkulasi *Tab* Geometri Navigasi

Gambar 4.11 adalah perbandingan perubahan Algoritma Kalkulasi pada *Tab* Geometri Navigasi di mana konfigurasi perancangan "Satelit Baru" mengaktifkan fungsionalitas komputasi *target beamwidth*. Namun, ketika basis data referensi "Galileo OS SIS ICD" dieksekusi, fungsi komputasi tersebut di nonaktif karena merujuk pada spesifikasi *Interface Control Document* (ICD) navigasi, di mana parameter cakupan sinyal telah ditetapkan sebagai nilai konstan, sehingga meniadakan kebutuhan komputasi sekunder secara manual.

Komunikasi Baru (DL)		Komunikasi Eksisting (DL)	
Frequency and Power Parameters		Frequency and Power Parameters	
Downlink Frequency =	MHz	Downlink Frequency =	MHz
Wavelength =	cm	Wavelength =	cm
Sat Transmit Power =	dBW	Sat Transmit Power =	dBW
Satellite Parameters		Satellite Parameters	
Sat Antenna Diameter =	m	Sat Antenna Diameter =	m
Antenna Efficiency =		Antenna Efficiency =	
Sat Feeder Loss =	dB	Sat Feeder Loss =	dB
Sat Polarization =		Sat Polarization =	RHCP

Gambar 4. 12 Perbandingan Mekanisme *Bypass Downlink* Komunikasi

Gambar 4.12 adalah perbandingan Mekanisme *Bypass* pada Blok Parameter *Downlink* Komunikasi di mana seluruh kolom masukan pada blok parameter satelit pada *downlink* menjadi *disabled* untuk menjamin integritas parameter masukan terhadap standar dokumen referensi.

Komunikasi Baru (UL)		Komunikasi Eksisting (UL)	
Satellite Parameter		Satellite Parameters	
Sat Antenna Diameter =	m	Sat Antenna Diameter =	m
Antenna Efficiency =		Antenna Efficiency =	
Sat Feeder Loss =	dB	Sat Feeder Loss =	dB
Noise Figure =	dB	Noise Figure =	dB
Antenna Temperature =	K	Antenna Temperature =	K
Sat Polarization =		Sat Polarization =	LHCP

Gambar 4. 13 Perbandingan Mekanisme *Bypass Uplink* Komunikasi

Gambar 4.13 adalah perbandingan Mekanisme *Bypass* pada Blok Parameter *Uplink* Komunikasi di mana seluruh kolom masukan pada blok parameter satelit pada *uplink* menjadi *disabled* untuk menjamin integritas parameter masukan terhadap standar dokumen referensi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Navigasi Baru		Navigasi Eksisting	
Frequency and Power Parameters		Frequency and Power Parameters	
Frequency	= MHz	Frequency	= 1575.42 MHz
Wavelength	= cm	Wavelength	= 19.04 cm
Sat Transmit Power	= dBW	Sat Transmit Power	= N/A dBW
Threshold CN0	= dB-Hz	Threshold CN0	= dB-Hz
Satellite Parameters		Satellite Parameters	
Ka	= ?	Ka	= N/A
Sat Feeder Loss	= dB	Sat Feeder Loss	= N/A dB
Sat Polarization	=	Sat Polarization	= RHCP

Gambar 4. 14 Perbandingan Mekanisme Bypass Link Navigasi

Gambar 4.14 adalah perbandingan Mekanisme *Bypass* pada Blok Parameter Kalkulator Navigasi di mana seluruh kolom masukan pada blok parameter satelit navigasi menjadi *disabled* untuk menjamin integritas parameter masukan terhadap standar dokumen referensi.

4.4 Pengujian Validasi Batasan Spektrum Frekuensi Transponder

Pengujian ini berfokus pada validasi parameter operasional satelit. Evaluasi dilaksanakan untuk memastikan sistem mampu mencegah eksekusi komputasi matematis apabila pengguna menginputkan nilai frekuensi kerja yang tidak sesuai dengan spesifikasi spektrum transponder dari satelit referensi.

4.4.1 Deskripsi Pengujian Validasi Batasan Spektrum Frekuensi Transponder

Pengujian ini memvalidasi fungsionalitas deteksi kesesuaian alokasi spektrum frekuensi pada mode satelit eksisting. Fokus evaluasi mencakup verifikasi pembatalan eksekusi komputasi saat sistem mendeteksi masukan parameter frekuensi *downlink* maupun *uplink* yang berada di luar rentang batas operasional spesifikasi perangkat keras satelit.

4.4.2 Prosedur Pengujian Validasi Batasan Spektrum Frekuensi Transponder

Pengujian detektor pelanggaran spektrum dilakukan melalui langkah-langkah uji berikut:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Menjalankan aplikasi dan mengatur Mode Simulasi ke "Komunikasi Dua Arah".
2. Memilih Target Satelit ke mode "Satelit Eksisting" dan memilih referensi satelit pada pita frekuensi tertentu (misalnya: Telkom-4 pada C-Band).
3. Mengisi *textbox* frekuensi *Downlink* dan *Uplink* dengan nilai valid sesuai alokasi spektrum referensi, kemudian menekan tombol kalkulasi. Mengamati berjalannya proses perhitungan.
4. Mengubah nilai frekuensi *Downlink* atau *Uplink* menjadi nilai ekstrem di luar batas operasional referensi (misalnya memasukkan frekuensi 12.000 MHz pada satelit C-Band).
5. Menekan tombol kalkulasi dan mengamati respons penghentian sistem serta kemunculan kotak pesan galat (*error message*).

4.4.3 Hasil Pengujian Validasi Batasan Spektrum Frekuensi Transponder

Matriks respons sistem terhadap masukan parameter spektrum frekuensi yang berada di luar rentang spesifikasi operasional dijabarkan pada Tabel 4.4 dan divisualisasikan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Batasan Spektrum Frekuensi Satelit Eksisting

Referensi Satelit Eksisting	Alokasi Spektrum Resmi	Input Frekuensi Pengguna	Respons Sistem
Measat-3D (FSS)	DL: 3.700 - 4.200 MHz UL: 5.925 - 6.425 MHz	DL: 4.000 MHz UL: 5.925 MHz	Sistem normal
Measat-3D (FSS)	DL: 3.700 - 4.200 MHz UL: 5.925 - 6.425 MHz	DL: 5.000 MHz UL: 7.000 MHz	Menampilkan notifikasi galat

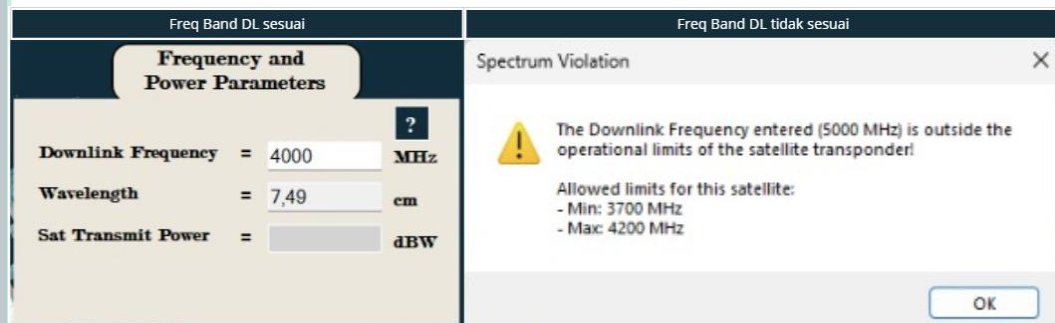
Berdasarkan Tabel 4.4, sistem berhasil mengimplementasikan validasi Batasan spektrum frekuensi di mana sistem akan memberikan respons penghentian sistem dengan memberikan notifikasi galat.



Hak Cipta :

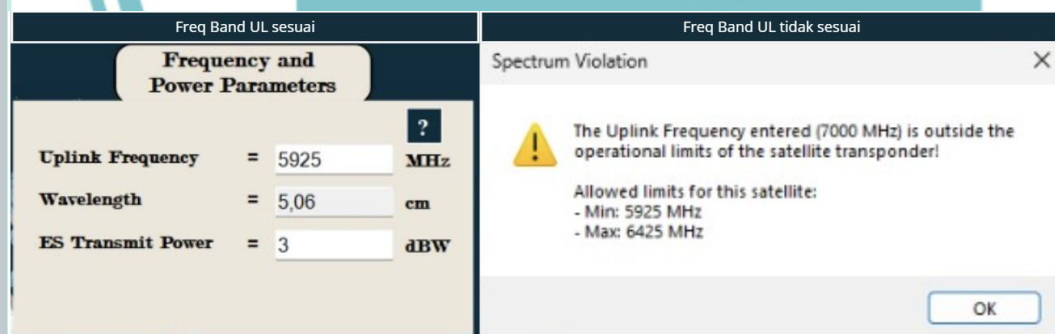
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hasil pengujian visual yang menunjukkan pembatalan eksekusi komputasi beserta pemunculan notifikasi peringatan pada antarmuka akibat ketidaksesuaian rentang spektrum frekuensi, ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. 15 Perbandingan Respons Validasi Frekuensi *Downlink*

Gambar 4.15 adalah perbandingan Respons Sistem terhadap Validasi Frekuensi *Downlink* di mana sistem berhasil memvalidasi batas alokasi pita frekuensi secara presisi. Masukan *downlink* 4.000 MHz sukses diproses sebagai nilai C-Band yang valid. Namun, ketika parameter diubah ke 5.000 MHz, sistem mendeteksi angka tersebut berada di luar spesifikasi satelit Measat-3D dan seketika menghentikan eksekusi dengan memunculkan pesan peringatan.



Gambar 4. 16 Perbandingan Respons Validasi Frekuensi *Uplink*

Gambar 4.16 adalah perbandingan Respons Sistem terhadap Validasi Frekuensi *Uplink* di mana adanya respons proteksi yang sama pada parameter *uplink*, di mana masukan 5.925 MHz diproses tanpa galat dan 7.000 MHz otomatis ditolak. Mekanisme ini membuktikan keandalan perangkat lunak dalam menjaga integritas simulasi sesuai regulasi spektrum ITU, sehingga mencegah terjadinya kalkulasi *Free Space Path Loss* (FSPL) yang fiktif pada desain tautan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.5 Pengujian Akurasi Perhitungan Algoritma Matematis

Pengujian ini berfokus pada validasi akurasi fungsionalitas komputasi sistem. Evaluasi dilakukan untuk memverifikasi bahwa seluruh algoritma matematis yang dieksekusi oleh modul komputasi perangkat lunak memiliki tingkat presisi yang sesuai dengan perhitungan analitis teoretis yang telah diuraikan pada Bab III.

4.5.1 Deskripsi Pengujian Perhitungan Algoritma Matematis

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi hasil komputasi aplikasi. Hasil perhitungan matematis pada Bab III ditetapkan sebagai nilai referensi dalam proses komparasi. Ruang lingkup pengujian diklasifikasikan ke dalam dua aspek komputasi utama, yaitu: komputasi geometri spasial (mode komunikasi dan navigasi), serta komputasi parameter frekuensi radio dan *baseband* digital pada empat skenario simulasi operasional (mode komunikasi profil baru, komunikasi satelit eksisting, navigasi profil baru, dan navigasi satelit eksisting).

4.5.2 Prosedur Pengujian Perhitungan Algoritma Matematis

Pengujian akurasi komputasi ini dilaksanakan melalui tahapan komparatif sebagai berikut:

1. Menyiapkan data parameter masukan manual dan data referensi satelit eksisting (Measat-3D dan Galileo OS) yang telah dihitung secara manual pada Bab III.
2. Menjalankan aplikasi simulator, lalu mengondisikan pengaturan pada mode layanan Komunikasi.
3. Menginput parameter geometri dan kalkulator untuk skenario Komunikasi Baru dan Komunikasi Eksisting secara bergantian, mengeksekusi fungsi kalkulasi, lalu mencatat nilai keluaran sistem.
4. Mengubah pengaturan mode layanan ke mode Navigasi.
5. Menginput parameter geometri dan kalkulator untuk skenario Navigasi Baru dan Navigasi Eksisting secara bergantian, mengeksekusi fungsi kalkulasi, lalu mencatat nilai keluaran sistem.
6. Mengompilasi seluruh data keluaran ke dalam tabel hasil pengujian untuk dihitung nilai selisih absolutnya (*error*) terhadap hasil hitung manual teoretis.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.5.3 Hasil Pengujian Algoritma Matematis

Data hasil pengujian komputasi diklasifikasikan berdasarkan modul geometri spasial dan masing-masing skenario operasional layanan.

4.5.3.1 Hasil Pengujian Modul Geometri

Matriks komparasi akurasi komputasi spasial dijabarkan pada Tabel 4.5. Visualisasi keluaran parameter geometri pada antarmuka aplikasi ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.

Tabel 4. 5 Hasil Validasi Akurasi Komputasi Modul Geometri

Layanan	Parameter Keluaran	Hasil Hitung Manual	Hasil Aplikasi
Komunikasi	Jarak Miring	36344.96 km	36345.74 km
	Sudut Elevasi	64.23°	64.23°
Navigasi	Jarak Miring	24910.59 km	24910.69 km
	Sudut Elevasi	42.52°	42.52°
	Target Beamwidth	24.88°	24.88°

Berdasarkan Tabel 4.5, Hasil validasi skenario geometri menunjukkan selisih mutlak (*error*) pada hasil sudut elevasi secara konsisten berada pada angka 0,00 dan deviasi berada pada batas toleransi pada hasil jarak miring diakibatkan oleh karakteristik presisi titik ambang (*floating-point precision*) pada resolusi tipe data *Double* di lingkungan pemrograman *Visual Basic* saat mengeksekusi operasi pembagian dan logaritma. Secara keseluruhan, fungsionalitas komputasi terverifikasi akurat secara kuantitatif dan memenuhi kelayakan operasional untuk digunakan dalam pemodelan *link budget* satelit.

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian nilai komputasi pada panel keluaran aplikasi ditampilkan pada gambar-gambar berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Geometric Parameters	
Earth Station Latitude	0.219726 °
Earth Station Longitude	113.510742 °
Satellite Latitude	-0.0227 °
Satellite Longitude	91.509 °
Satellite Altitude	35803.24 °
Elevation Angle	64.23 °
Slant Range	36345.74 km
Calculate	

Gambar 4. 17 Hasil Komputasi Geometri Komunikasi pada Aplikasi

Gambar 4.17 menunjukkan hasil komputasi Geometri Komunikasi pada aplikasi yang menunjukkan nilai elevasi sebesar 64.23°.

Geometric Parameters	
User Latitude	-0.351560 °
User Longitude	113.730469 °
Satellite Latitude	-5.2841 °
Satellite Longitude	151.8201 °
Satellite Altitude	23220.54 °
Elevation Angle	42.52 °
Slant Range	24910.69 km
Target Beamwidth	24.89 °
Calculate	

Gambar 4. 18 Hasil Komputasi Geometri Navigasi pada Aplikasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.18 menunjukkan hasil komputasi Geometri Navigasi pada aplikasi yang menunjukkan nilai elevasi sebesar 42.52° dan nilai target beamwidth sebesar 24.88° .

4.5.3.2 Hasil Pengujian Skenario Komunikasi Baru

Matriks komparasi parameter frekuensi radio dan digital dijabarkan pada Tabel 4.6. Visualisasi hasil komputasi pada panel antarmuka perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 4.19, Gambar 4.20, Gambar 4.21 dan Gambar 4.22.

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Skenario Komunikasi Baru

Segmen	Parameter Keluaran	Hasil Hitung Manual	Hasil Aplikasi
Downlink	Suhu Penerima & Suhu Sistem	75,09 / 125.09	75,09 / 125.09
	Redaman Ruang Bebas (FSPL)	204.25	204.25
	Penguatan Antena & EIRP (Satelit)	44.80 / 56.80	44.80 / 56.80
	Penguatan Antena & G/T (Stasiun Bumi)	42.30 / 19,33	42.30 / 19,33
	Total Redaman	220.25	220.25
	Suhu Penerima & Suhu Sistem	288,63 / 578.63	288,63 / 578.63
	Redaman Ruang Bebas (FSPL)	206.43	206,43
Uplink	Penguatan Antena & EIRP (Stasiun Bumi)	44.48 / 62.48	44.48 / 62.48
	Penguatan Antena & G/T (Satelit)	46.97 / 18,35	46.97 / 18,35
	Total Redaman	222.43	222.43
	Bandwidth & Kecepatan Aliran Bit (Bit Rate)	47.25 / 63.00	47.25 / 63.00
Digital	Rasio C/N Downlink dan Uplink	7.74 / 10.26	7.74 / 10.26
	Rasio C/N Total & Kinerja Aktual	5.81 / 4.56	5.81 / 4.56
	Ambang Batas Kinerja Minimal	3.87	3.87
	Link Margin	0.69	0.69

Berdasarkan data pada Tabel 4.6, pengujian skenario komunikasi baru menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan komputasi parameter utama kelayakan tautan dengan tingkat presisi yang sempurna. Hal ini dibuktikan oleh



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

selisih *link margin* manual dengan aplikasi yang secara konsisten bernilai 0,00, menegaskan bahwa tidak ada deviasi sama sekali antara kalkulasi *link margin* teoritis secara manual dengan keluaran (*output*) algoritma deterministik aplikasi.

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian nilai komputasi pada panel keluaran perangkat lunak ditampilkan pada gambar-gambar berikut:

The screenshot displays the 'Downlink' communication calculation interface. It is divided into several sections for parameter input and output results.

Section	Parameter	Value	Unit
Frequency and Power Parameters	Downlink Frequency	10700	MHz
	Wavelength	2,80	cm
	Sat Transmit Power	13	dBW
Environmental and Mechanical Parameters	AA Loss	15	dB
	AML Loss	1	dB
Satellite Parameters	Sat Antenna Diameter	2	m
	Antenna Efficiency	0.6	
	Sat Feeder Loss	1	dB
	Sat Polarization	Horizontal	
Earth Station Parameters	ES Antenna Diameter	1.5	m
	Antenna Efficiency	0.6	
	ES Feeder Loss	2	dB
	Noise Figure	1	dB
	Antenna Temperature	50	K
Downlink Output	ES Temperature	75,09	K
	System Temperature	125,09	K
	Free Space Loss	204,25	dB
	Gain Sat Downlink	44,80	dB
	Gain ES Downlink	42,30	dB
	Downlink EIRP	56,80	dBW
Downlink Polarization Loss	0,00	dB	
Total Path Loss	220,25	dB	
Downlink G-T	19,33	dB K	

A 'Calculate' button is located at the bottom right of the output section.

Gambar 4. 19 Hasil *Downlink* Komunikasi Baru pada Aplikasi

Gambar 4.19 menunjukkan hasil *downlink* skenario komunikasi baru pada aplikasi.

The screenshot displays the 'Uplink' communication calculation interface. It is divided into several sections for parameter input and output results.

Section	Parameter	Value	Unit
Frequency and Power Parameters	Uplink Frequency	13750	MHz
	Wavelength	2,18	cm
	ES Transmit Power	20	dBW
Environmental and Mechanical Parameters	AA Loss	15	dB
	AML Loss	1	dB
Earth Station Parameters	ES Antenna Diameter	1.5	m
	Antenna Efficiency	0.6	
	ES Feeder Loss	2	dB
	ES Polarization	Horizontal	
Satellite Parameter	Sat Antenna Diameter	2	m
	Antenna Efficiency	0.6	
	Sat Feeder Loss	1	dB
	Noise Figure	3	dB
	Antenna Temperature	290	K
Uplink Output	Sat Temperature	288,63	K
	System Temperature	578,63	K
	Free Space Loss	206,43	dB
	Gain ES Uplink	44,48	dB
	Gain Sat Uplink	46,97	dB
	Uplink EIRP	62,48	dBW
Uplink Polarization Loss	0,00	dB	
Total Path Loss	222,43	dB	
Uplink G-T	18,35	dB K	

A 'Calculate' button is located at the bottom right of the output section.

Gambar 4. 20 Hasil *Uplink* Komunikasi Baru pada Aplikasi

Gambar 4.20 menunjukkan hasil *uplink* skenario komunikasi baru pada aplikasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Digital Parameter		Digital Output	
Symbol Rate	= 35 Msps	Bandwidth	= 47,25 MHz
Roll-off Factor	= 0.35	Bit Rate	= 70,00
Modulation	= QPSK 9/10	Bit Rate Effective	= 63,00
		Total C/N	= 5,81 dB
		Actual EB/No	= 4,56
		Required EB/No	= 3,87

Gambar 4. 21 Hasil *Tab Digital* Komunikasi Baru pada Aplikasi

Gambar 4.21 menunjukkan hasil digital skenario komunikasi baru pada aplikasi.

Feasibility Status		Digital Signal Quality		Analysis C/N	
Link Status	= FEASIBLE	Actual Eb/No	= 4,56	Downlink C/N	= 7,74 dB
Link Margin	= 0,69 dB	Required Eb/No	= 3,87	Uplink C/N	= 10,26 dB
				Total C/N	= 5,81 dB

Gambar 4. 22 Hasil *Tab Result* Komunikasi Baru pada Aplikasi

Gambar 4.22 menunjukkan *tab result* skenario komunikasi baru pada aplikasi.

4.5.3.3 Hasil Pengujian Skenario Komunikasi Eksisting

Matriks komparasi parameter frekuensi radio dan digital untuk skenario komunikasi eksisting dijabarkan pada Tabel 4.7. Visualisasi hasil komputasi pada panel antarmuka perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 4.23, Gambar 4.24, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26.



Tabel 4. 7 Hasil Validasi Akurasi Komputasi Skenario Komunikasi Eksisting

Segmen	Parameter Keluaran	Hasil Hitung Manual	Hasil Aplikasi
Downlink	Suhu Penerima & Suhu Sistem	35.39 / 85.39	35.39 / 85.39
	FSPL	195.02	195.02
	Penguatan Antena & EIRP (Satelit)	<i>Bypassed</i>	<i>Bypassed</i>
	Penguatan Antena & G/T (Stasiun Bumi)	41.59 / 21.28	41.59 / 21.28
	Total Redaman	206.02	206.02
	Suhu Penerima & Suhu Sistem	<i>Bypassed</i>	<i>Bypassed</i>
Uplink	FSPL	199.11	199.11
	Penguatan Antena & EIRP (Stasiun Bumi)	45.68 / 54.68	45.68 / 54.68
	Penguatan Antena & G/T (Satelit)	<i>Bypassed</i>	<i>Bypassed</i>
	Total Redaman	210.11	210.11
	<i>Bandwidth & Bit Rate</i>	6.75 / 8.85	6.75 / 8.85
	Rasio C/N Downlink dan Uplink	19.57 / 6.88	19.57 / 6.88
Digital	Rasio C/N Total & Kinerja Aktual	6.65 / 5.47	6.65 / 5.47
	Ambang Batas Kinerja Minimal	3.72	3.72
	Link Margin	1.75	1.75

Berdasarkan data pada Tabel 4.7, pengujian skenario komunikasi eksisting menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan komputasi parameter utama kelayakan tautan dengan tingkat presisi yang sempurna. Hal ini dibuktikan oleh selisih *link margin* manual dengan aplikasi yang secara konsisten bernilai 0,00, menegaskan bahwa tidak ada deviasi sama sekali antara kalkulasi *link margin* teoritis secara manual dengan keluaran (*output*) algoritma deterministik aplikasi.

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian nilai komputasi pada panel keluaran perangkat lunak ditampilkan pada gambar-gambar berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Frequency and Power Parameters		Environmental and Mechanical Parameters		Downlink Output	
Downlink Frequency	= 3700 MHz	AA Loss	= 10 dB	ES Temperature	= 35,39 K
Wavelength	= 8,10 cm	AML Loss	= 1 dB	System Temperature	= 85,39 K
Sat Transmit Power	= dBW	AA loss : Atmospheric Absorption Loss AML loss : Antenna Misalignment Loss		Free Space Loss	= 195,02 dB
				Gain Sat Downlink	= N/A dB
				Gain ES Downlink	= 41,59 dB
				Downlink EIRP	= 44,00 dBW
				Downlink Polarization Loss	= 0,00 dB
				Total Path Loss	= 206,02 dB
				Downlink G-T	= 21,28 dBK
				Calculate	

Gambar 4. 23 Hasil *Tab Downlink* Komunikasi Eksisting pada Aplikasi

Gambar 4.23 menunjukkan *tab downlink* komunikasi eksisting pada aplikasi.

Frequency and Power Parameters		Environmental and Mechanical Parameters		Uplink Output	
Uplink Frequency	= 5925 MHz	AA Loss	= 10 dB	Sat Temperature	= N/A K
Wavelength	= 5,06 cm	AML Loss	= 1 dB	System Temperature	= N/A K
ES Transmit Power	= 10 dBW	AA loss : Atmospheric Absorption Loss AML loss : Antenna Misalignment Loss		Free Space Loss	= 199,11 dB
				Gain ES Uplink	= 45,68 dB
				Gain Sat Uplink	= N/A dB
				Uplink EIRP	= 54,68 dBW
				Uplink Polarization Loss	= 0,00 dB
				Total Path Loss	= 210,11 dB
				Uplink G-T	= 2,00 dBK
				Calculate	

Gambar 4. 24 Hasil *Tab Uplink* Komunikasi Eksisting pada Aplikasi

Gambar 4.24 menunjukkan *tab uplink* komunikasi eksisting pada aplikasi.

Digital Parameters		Digital Output	
Symbol Rate	= 5 Msps	Bandwidth	= 6,75 MHz
Roll-off Factor	= 0,35	Bit Rate	= 10,00
Modulation	= QPSK 8/9	Bit Rate Effective	= 8,85
		Total C/N	= 6,65 dB
		Actual EB/No	= 5,47
		Required EB/No	= 3,72
		Calculate	

Gambar 4. 25 Hasil *Tab Digital* Komunikasi Eksisting pada Aplikasi

Gambar 4.25 menunjukkan *tab digital* komunikasi eksisting pada aplikasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Feasibility Status		Digital Signal Quality		Analysis CN	
Link Status	=	FEASIBLE	Actual Eb/No	=	5,47
Link Margin	=	1,75 dB	Required Eb/No	=	3,72
				Downlink CN	= 19,57 dB
				Uplink CN	= 6,88 dB
				Total CN	= 6,65 dB
Link Budget Summary		System Information		Geometry Information	
DL Total Path Loss	=	206,02 dB	Satellite Type	=	Two-way Sat
UL Total Path Loss	=	210,11 dB	System Mode	=	Existing Sat
Downlink EIRP	=	44,00 dBW	Modulation	=	QPSK 8/9
Uplink EIRP	=	54,68 dBW	Symbol Rate	=	5 Mbps
Downlink G/T	=	21,28 dB K	Bandwidth	=	6,75 MHz
Uplink G/T	=	2,00 dB K	Service Type	=	FSS (Fixed-S)
				Slant Range	= 36.345,74 km
				Elevation Angle	= 64,23 °
				ES Latitude	= 0,2197 °
				ES Longitude	= 113,5107 °
				Sat Latitude	= -0,0227 °
				Sat Longitude	= 91,5090 °

Gambar 4. 26 Hasil *Tab Result* Komunikasi Eksisting pada Aplikasi

Gambar 4.26 menunjukkan *tab result* komunikasi eksisting pada aplikasi.

4.5.3.4 Hasil Pengujian Skenario Navigasi Baru

Matriks komparasi parameter tautan untuk skenario navigasi baru dijabarkan pada Tabel 4.8. Visualisasi ditunjukkan pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.

Tabel 4. 8 Hasil Validasi Akurasi Komputasi Skenario Navigasi Baru

Parameter Keluaran				Hasil Hitung Manual	Hasil Aplikasi
Suhu	Penerima	&	Suhu	169.62 / 269.62	169.62 / 269.62
Sistem					
FSPL				181.70	181.70
Penguatan Antena (<i>Coverage Based</i>) & EIRP (Satelit)				17.52 / 30.52	17.52 / 30.52
Total Redaman				202.70	202.70
Daya Terima Sinyal				-172.18	-172.18
Kerapatan Spektral Derau				-204.29	-204.29
Kualitas Sinyal Aktual				32.12	32.12
Link Margin				2.12	2.12

Berdasarkan data pada Tabel 4.8, pengujian skenario navigasi baru menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan komputasi parameter utama kelayakan tautan dengan tingkat presisi yang sempurna. Hal ini dibuktikan oleh selisih *link margin* manual dengan aplikasi yang secara konsisten bernilai 0,00, menegaskan bahwa tidak ada deviasi sama sekali antara kalkulasi *link margin* teoritis secara manual dengan keluaran (*output*) algoritma deterministik aplikasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian nilai komputasi pada panel keluaran perangkat lunak ditampilkan pada gambar-gambar berikut:

Frequency and Power Parameters		Environmental and Mechanical Parameters		Output	
Frequency	= 1164 MHz	AA Loss	= 1 dB	Rx Temperature	= 169,62 k
Wavelength	= 25,77 cm	ENV Loss	= 20 dB	System Temperature	= 269,62 k
Sat Transmit Power	= 14 dBW	AA loss : Atmospheric Absorption Loss ENV loss : Multipath Loss		Free Space Loss	= 181,7 dB
Threshold CN0	= 30 dB-Hz			Sat Gain	= 17,52 dBi
				EIRP	= 30,52 dBW
				Polarization Loss	= 0 dB
				Total Path Loss	= 202,7 dB
				Received Power	= -172,18 dBW
				Noise Density	= -204,29 dBW-Hz
				Actual CN0	= 32,12 dB-Hz
				Link Margin	= 2,12 dB
				<button>Calculate</button>	

Gambar 4. 27 Hasil *Tab Link* navigasi baru pada aplikasi

Gambar 4.27 menunjukkan *tab link* navigasi baru pada aplikasi.

Feasibility Status		Analysis CN0		Geometry Information	
Link Status	= FEASIBLE	Actual CN0	= 32,12 dB-Hz	Slant Range	= 24910,69 km
Link Margin	= 2,12 dB	Threshold CN0	= 30 dB-Hz	Elevation Angle	= 42,52 °
				User Latitude	= -0,35156 °
				User Longitude	= 113,730469 °
				Sat Latitude	= -5,2841 °
				Sat Longitude	= 151,8201 °

Link Budget Summary		System Information	
Total Pathloss	= 202,7 dB	Satellite Type	= Satellite Navi
EIRP	= 30,52 dBW	System Mode	= New Satellite
Received Power	= -172,18 dBW	Target Beamwidth	= 24,89 °
Noise Density	= -204,29 dBW-Hz	Service Type	= RNSS (Radic

Gambar 4. 28 Hasil *Tab Result* navigasi baru pada aplikasi

Gambar 4.28 menunjukkan *tab result* navigasi baru pada aplikasi.

4.5.3.5 Hasil Pengujian Skenario Navigasi Eksisting

Matriks komparasi parameter tautan untuk skenario navigasi eksisting dijabarkan pada Tabel 4.9. Visualisasi status penguncian parameter beserta hasil komputasi akhir pada panel antarmuka aplikasi ditunjukkan pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 9 Hasil Validasi Akurasi Komputasi Skenario Navigasi Eksisting

Parameter Keluaran	Hasil Hitung Manual	Hasil Aplikasi
Suhu Penerima & Suhu Sistem	169.62 / 269.62	169.62 / 269.62
Redaman Ruang Bebas (FSPL)	<i>Bypassed</i>	<i>Bypassed</i>
Penguatan Antena (<i>Coverage Based</i>) & EIRP (Satelit)	<i>Bypassed</i>	<i>Bypassed</i>
Total Redaman	18	18
Daya Terima Sinyal	-175.25	-175.25
Kerapatan Spektral Derau	-204.29	-204.29
Kualitas Sinyal Aktual	29.04	29.04
Link Margin	1.04	1.04

Berdasarkan Tabel 4.9, pada skenario navigasi eksisting sistem menunjukkan hasil nilai selisih mutlak (*error*) pada komputasi parameter utama penentu kelayakan tautan (*link*) secara konsisten berada pada angka 0,00. Hal ini menunjukkan bahwa arsitektur aplikasi mampu memproses variabel bebas (masukan pengguna) maupun variabel terikat (ekstraksi basis data) tanpa menghasilkan galat logika komputasi (*logical error*)

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian nilai komputasi pada panel keluaran perangkat lunak ditampilkan pada gambar-gambar berikut:

The screenshot displays a software interface for link navigation calculations. It is divided into several sections: 'Frequency and Power Parameters', 'Environmental and Mechanical Parameters', 'Satellite Parameters', 'User Parameters', and 'Output'. Each section contains various input fields with numerical values and units. A 'Calculate' button is located at the bottom right of the 'Output' section.

Section	Parameter	Value	Unit
Frequency and Power Parameters	Frequency	1575.42	MHz
	Wavelength	19.04	cm
	Sat Transmit Power	N/A	dBW
	Threshold C/N0	28	dB-Hz
Environmental and Mechanical Parameters	AA Loss	1	dB
	ENV Loss	17	dB
Satellite Parameters	Ka	N/A	
	Sat Feeder Loss	N/A	dB
	Sat Polarization	RHCP	
User Parameters	Rx Gain	0	dBi
	Noise Figure	2	dB
	Antenna Temperature	100	K
Output	Rx Temperature	169.62	K
	System Temperature	269.62	K
	Free Space Loss	N/A	dB
	Sat Gain	N/A	dB
	EIRP	N/A	dBW
	Polarization Loss	0	dB
Total Path Loss	18	dB	
Received Power	-175.25	dBW	
Noise Density	-204.29	dBW-Hz	
Actual C/N0	29.04	dB-Hz	
Link Margin	1.04	dB	

Gambar 4. 29 Hasil *Tab Link* navigasi eksisting pada aplikasi

Gambar 4.29 menunjukkan *tab link* navigasi eksisting pada aplikasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 30 Hasil *Tab Result* navigasi eksisting pada aplikasi

Gambar 4.30 menunjukkan *tab result* navigasi eksisting pada aplikasi.

4.6 Pengujian Keandalan Mesin Validasi Parameter (*Poka-Yoke*)

Sistem simulator ini diintegrasikan dengan modul validasi berbasis aturan yang dirancang untuk mengendalikan integritas parameter masukan pengguna. Pengujian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi keandalan algoritma dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan anomali parameter ke dalam dua tingkatan galat: Peringatan Standar Industri (*Yellow Warning*) dan Kesalahan Fisis Fatal (*Red Fatal Error*).

4.6.1 Deskripsi Pengujian Keandalan Mesin Validasi Parameter (*Poka-Yoke*)

Pengujian ini tidak mengeksekusi validasi pada setiap batasan parameter secara individual, melainkan mengimplementasikan metode pengujian *Equivalence Partitioning*. Evaluasi sistem difokuskan pada tiga skenario representatif yang mewakili klasifikasi status fungsional berikut:

1. Kondisi Ideal (Status Hijau: *Optimal & Feasible*),
2. Kondisi di Luar Standar Industri (Status Kuning: *Feasible with Warnings*),
3. Kondisi Pelanggaran Hukum Fisika (Status Merah: *Not Feasible / Fatal Errors*).

4.6.2 Prosedur Pengujian Keandalan Mesin Validasi Parameter (*Poka-Yoke*)

Langkah-langkah pengujian mesin validasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menjalankan aplikasi pada mode Komunikasi Baru (FSS C-Band).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Skenario 1 (Hijau): Mengisi seluruh parameter sesuai dengan standar industri. Menekan tombol kalkulasi dan mencetak dokumen PDF.
3. Skenario 2 (Kuning): Mengubah parameter secara sengaja agar menyalahi kebiasaan industri namun secara matematis masih bisa beroperasi. Menekan tombol kalkulasi dan mencetak PDF.
4. Skenario 3 (Merah): Mengubah parameter secara ekstrem hingga melanggar hukum termodinamika atau geometri. Menekan tombol kalkulasi dan mencetak PDF.

4.6.3 Hasil Pengujian Keandalan Mesin Validasi Parameter (*Poka-Yoke*)

Matriks respons fungsional sistem validasi terhadap variasi masukan parameter pada ketiga skenario tersebut dijabarkan pada Tabel 4.10 dan divisualisasikan pada Gambar 4.31, Gambar 4.32, Gambar 4.33, Gambar 4.34, Gambar 4.35, dan Gambar 4.36.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Klasifikasi Galat pada Mesin Validasi

Skenario Uji	Injeksi Parameter Uji	Klasifikasi Deteksi Mesin	Respons Antarmuka & Dokumen PDF
Skenario 1 (Ideal)	Parameter normal sesuai referensi standar.	<i>Feasible</i>	Mencetak PDF dengan status OPTIMAL & FEASIBLE (Warna Hijau)
Skenario 2 (Anomali Industri)	ES diameter: 0.5 m	<i>Yellow Warning</i> (Peringatan Non-Standar)	Mencetak PDF dengan status FEASIBLE WITH WARNINGS (Warna Oranye/Kuning), melampirkan daftar anomali desain.
Skenario 3 (Pelanggaran Fisika)	Sat NF: -2 dB	Red Fatal Error (Kesalahan Kritis)	Mencetak PDF dengan status NOT FEASIBLE (FATAL ERRORS) (Warna Merah), melampirkan alasan fisik penyebab kegagalan <i>link</i> .

Berdasarkan Tabel 4.10, sistem menunjukkan fungsionalitas evaluasi terhadap spesifikasi perangkat. Saat pengguna memasukkan parameter diameter antena stasiun bumi yang tidak lazim, sistem mengidentifikasi bahwa nilai tersebut berada

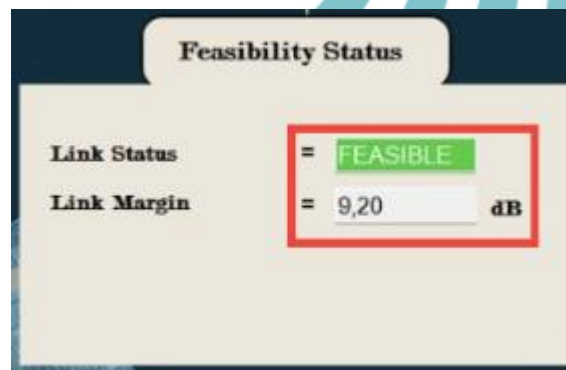


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

di luar rentang standar tipikal layanan *Fixed-Satellite Service* (FSS), sistem mengklasifikasikan status tautan sebagai *Design Warning* dan sistem berhasil memvalidasi terhadap batasan parameter fisis terverifikasi pada perancangan, ini dibuktikan dengan sistem mendeteksi adanya anomali fisis, yakni parameter *noise figure* satelit yang bernilai negatif. Modul validasi secara deterministik menolak hasil kalkulasi numerik tersebut, dan menetapkan status akhir tautan sebagai *NOT FEASIBLE*.

Berikut visualisasi yang menunjukkan sinkronisasi fungsional antara modul deteksi pada antarmuka *tab result* dengan fungsionalitas pencetakan dokumen berformat PDF, ditampilkan pada Gambar 4.31, Gambar 4.32, Gambar 4.33, Gambar 4.34, Gambar 4.35, Gambar 4.36.



Gambar 4. 31 Hasil Status Kelayakan Tautan Kondisi Ideal pada Aplikasi

Gambar 4.31 menunjukkan hasil skenario 1 yaitu *link feasible* dengan indikator berwarna hijau pada *tab result* karena seluruh parameter *input* sesuai dengan industri dan hukum fisika.

Satellite Installation Parameters Guidelines

Powered By : Orbitlink Studio
Generated At : 29 May 2026, 21:36:50

PARAMETER	ACTUAL VALUE	TYPICAL STANDARD
EXECUTIVE SUMMARY		
Final Link Status	OPTIMAL & FEASIBLE	Must be Feasible
System Mode	New Satellite	User Defined
Orbit Class	LEO	LEO / MEO / GEO
ITU-R Service	FSS (Fixed-Satellite Service)	FSS (FIXED-SATELLITE SERVICE)

Gambar 4. 32 Dokumen Cetak *Blueprint* pada Kondisi Ideal



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.32 menunjukkan hasil *link feasible* dengan indikator berwarna hijau pada dokumen PDF.



Gambar 4. 33 Hasil Status Kelayakan Tautan Kondisi *Warning* pada Aplikasi.

Gambar 4.33 menunjukkan hasil skenario 2 yaitu *link feasible with warning* dengan indikator berwarna oren pada *tab result* karena penyimpangan parameter *input* terhadap industri yaitu ES diameter : 0.5 m.

Satellite Installation Parameters Guidelines

Powered By : Orbitlink Studio
Generated At : 29 May 2026, 22:24:28

DESIGN WARNINGS (Non-Standard / Overkill):

- ES DL DIAMETER: FSS typical is 0.6-2.4m (VSAT) or 4.0-30.0m (Gateway).
- ES UL DIAMETER: FSS typical is 0.6-2.4m (VSAT) or 4.0-30.0m (Gateway).

PARAMETER	ACTUAL VALUE	TYPICAL STANDARD
EXECUTIVE SUMMARY		
Final Link Status	FEASIBLE WITH WARNINGS	Must be Feasible
System Mode	New Satellite	User Defined
Orbit Class	LEO	LEO / MEO / GEO
ITU-R Service	FSS (Fixed-Satellite Service)	FSS (FIXED-SATELLITE SERVICE)

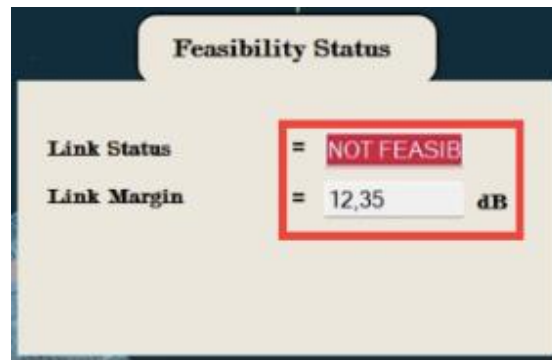
Gambar 4. 34 Dokumen Cetak Blueprint dengan Peringatan Non-Standar

Gambar 4.34 menunjukkan hasil *feasible with warning* dengan indikator berwarna oren pada dokumen PDF.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 35 Hasil Status Kelayakan Tautan Kondisi fatal pada Aplikasi

Gambar 4.35 menunjukkan hasil skenario 3 yaitu *link not feasible* dengan indikator berwarna merah pada *tab result* karena penyimpangan parameter input terhadap hukum fisika yaitu Sat NF: -2 dB.

Satellite Installation Parameters Guidelines

Powered By : Orbitlink Studio
Generated At : 29 May 2026, 22:27:42

FATAL ERRORS DETECTED (System Will Fail):

- SAT NOISE FIGURE: Cannot be negative.

DESIGN WARNINGS (Non-Standard / Overkill):

- SAT NOISE FIGURE: Typical spacecraft Rx is 2.0 - 5.0 dB.

PARAMETER	ACTUAL VALUE	TYPICAL STANDARD
EXECUTIVE SUMMARY		
Final Link Status	NOT FEASIBLE (FATAL ERRORS)	Must be Feasible
System Mode	New Satellite	User Defined
Orbit Class	LEO	LEO / MEO / GEO
ITU-R Service	FSS (Fixed-Satellite Service)	FSS (FIXED-SATELLITE SERVICE)

Gambar 4. 36 Dokumen Cetak Blueprint dengan Penolakan Kesalahan Fatal

Gambar 4.36 menunjukkan hasil *link not feasible* dengan indikator berwarna merah pada dokumen PDF. Mekanisme ini mengonfirmasi bahwa aplikasi tidak sekadar mengeksekusi komputasi numerik, melainkan memiliki kapabilitas untuk memvalidasi kelayakan operasional berdasarkan prinsip fisis dan standar telekomunikasi yang berlaku.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.7 Pengujian Analisis Hasil Simulasi Komunikasi Multiorbit

Pada tahapan akhir pengujian, sistem dioperasikan untuk mengeksekusi simulasi komparatif terhadap tiga klasifikasi utama orbit satelit. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi kapabilitas aplikasi dalam memodelkan dinamika fisis propagasi multiorbit, serta mengevaluasi pengaruh variasi geometri ketinggian orbit terhadap kinerja tautan (*link performance*) telekomunikasi.

4.7.1 Deskripsi Pengujian Analisis Hasil Simulasi Komunikasi Multiorbit

Pengujian tahap akhir ini bertujuan untuk menganalisis kapabilitas sistem dalam memodelkan dinamika fisis propagasi multiorbit. Evaluasi dilakukan melalui simulasi komparatif antara konstelasi LEO, MEO, dan GEO guna mengevaluasi pengaruh variasi ketinggian dan geometri orbit terhadap *free-space path loss* serta margin tautan akhir (*link margin*).

4.7.2 Prosedur Pengujian Analisis Hasil Simulasi Komunikasi Multiorbit

Untuk menjamin objektivitas analisis komparatif, simulasi dieksekusi dengan menetapkan spesifikasi parameter *input* yang seragam pada ketiga skenario klasifikasi orbit. Tahapan pengujian dilaksanakan sebagai berikut:

1. Menetapkan parameter desain statis pada *Tab* Kalkulator (*Downlink*, *Uplink*, dan *Digital*) menggunakan spesifikasi dan dikunci pada nilai yang konstan.
2. Melakukan simulasi pertama dengan memasukkan parameter koordinat stasiun bumi dan satelit.
3. Mengulangi proses kalkulasi dengan menggeser target satelit ke koordinat dan ketinggian MEO dan GEO tanpa mengubah parameter *Radio Frequency* (RF) sedikit pun.
4. Mengompilasi ketiga hasil keluaran untuk dievaluasi secara komparatif.

4.7.3 Hasil Pengujian Analisis Hasil Simulasi Komunikasi Multiorbit

Rincian parameter masukan statis yang ditetapkan secara konstan selama proses simulasi komparatif berlangsung, dijabarkan pada Tabel 4.11 dan divisualisasikan pada Gambar 4.37, Gambar 4.38, dan Gambar 4.39.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 11 Parameter *Input* Statis Simulasi Komparatif

Kategori Parameter	Parameter Design	Nilai Parameter
Frekuensi	Frekuensi Downlink	10700 MHz
	Frekuensi Uplink	13750 MHz
Lingkungan	<i>AA Loss</i>	15 dB
	<i>AML Loss</i>	1 dB
Digital	Laju Simbol	120 Msps
	Faktor Roll-Off	0.35
	Modulasi	QPSK 1/4
Satelit	Daya	3 dBW
	Diameter Antena	0.5 m
	Efisiensi Antena	0.6
	Feeder Loss	1 dB
	Polarisasi	Horizontal
	Noise Figure	3 dB
Stasiun Bumi	Temperature Antena	290 K
	Daya	3 dBW
	Diameter Antena	0.6 m
	Efisiensi Antena	0.6
	Feeder Loss	1 dB
	Polarisasi	Horizontal
	Noise Figure	1 dB
	Temperature Antena	50 K

Variasi data geometri yang dikonfigurasi sebagai variabel bebas dalam simulasi ini menghasilkan nilai *slant range*. Pengujian dilakukan dengan menetapkan posisi stasiun bumi pada koordinat lintang $-0,878872^\circ$ dan bujur $113,159180^\circ$, di mana ringkasan data tersebut dijabarkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Variasi Parameter Geometri Simulasi *Multi orbit*

Orbit	<i>Altitude</i> Satelit	<i>Latitude</i> Satelit	<i>Longitude</i> Satelit	<i>Slant Range</i>
LEO	488,59 km	7.9166	118.2213	1.266,56 km
MEO	8.068,68 km	-0.0582	128.0295	8.442,97 km
GEO	35.800,45 km	-0.0164	122.0793	35.891,00 km



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan Tabel 4.12, Sistem menghitung *Slant Range* dan didapatkan perbandingan parameter geometri *Multi orbit* di mana didapatkan LEO sebesar 1.266,56 km, MEO 8.442,97 km, dan GEO 35.891,00 km.

Perbandingan metrik performa propagasi dari ketiga skenario geometri di atas dirangkum pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Komparasi Output Parameter Fisika pada Simulasi Multi orbit

Orbit	Total Path Loss	Total Path Loss	Total C/N	Link Margin
	Downlink	Uplink		
LEO	191.09 dB	193.27 dB	-3.26	0.39 dB
MEO	207.57 dB	209.75 dB	-19.74	-16.09 dB
GEO	220.14	222.32	-32.31	-28.66 dB

Berdasarkan Tabel 4.13, sistem mengonfirmasi bahwa jarak miring (*slant range*) merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap degradasi sinyal. Pada skenario orbit LEO, jarak tempuh terpendek (1.266,56 km) menghasilkan redaman *Total Path Loss Downlink* paling minimum, yakni sebesar 191,09 dB. Kondisi ini memungkinkan level daya sinyal terima untuk memenuhi ambang batas kelayakan (*threshold*), sehingga menghasilkan *Total C/N* sebesar -3,26 dB dengan *link margin* akhir yang bernilai positif (0,39 dB).

Sebaliknya, saat simulasi dikonfigurasi untuk orbit MEO dan GEO dengan menetapkan spesifikasi perangkat radio yang identik, kualitas tautan diidentifikasi mengalami kegagalan transmisi (*Not Feasible*). Pada orbit GEO, jarak *slant range* yang meningkat secara signifikan hingga 35.891,00 km mengakibatkan kenaikan *Total Path Loss Downlink* menjadi 220,14 dB (mengalami deviasi peningkatan lebih dari 29 dB dibandingkan orbit LEO). Akibat tingginya redaman ruang bebas (*free-space path loss*) tersebut, daya sinyal mengalami atenuasi yang signifikan sehingga nilai *Total C/N* menurun menjadi -32,31 dB dengan defisit *link margin* mencapai -28,66 dB.

Korelasi fungsional antara peningkatan jarak dan degradasi *link margin* pada komputasi ini memvalidasi keandalan operasional sistem simulator. Perangkat lunak terverifikasi secara matematis memiliki kapabilitas untuk mengeksekusi komputasi redaman secara akurat, sekaligus mengonfirmasi secara analitis bahwa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

rancangan spesifikasi stasiun bumi untuk satelit LEO tidak dapat diimplementasikan secara universal pada orbit GEO tanpa disertai dengan penyesuaian parameter RF yang proporsional.

Berikut visualisasi yang menunjukkan kesesuaian hasil komputasi pada ketiga klasifikasi orbit tersebut pada panel *tab result* aplikasi ditampilkan pada Gambar 4.37, Gambar 4.38 dan Gambar 4.39:



Gambar 4. 37 Hasil Kelayakan Tautan Simulasi Statis Orbit LEO

Gambar 4.37 menunjukkan hasil simulasi statis orbit LEO pada *tab result* yang menunjukkan *link margin feasible* dengan *link margin* sebesar 0.39 dB.



Gambar 4. 38 Hasil Kelayakan Tautan Simulasi Statis Orbit MEO



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.38 menunjukkan hasil simulasi statis orbit MEO pada *tab result* yang menunjukkan *link margin not feasible* dengan *link margin* sebesar -16.09 dB.



Gambar 4. 39 Hasil Kelayakan Tautan Simulasi Statis Orbit GEO

Gambar 4.39 menunjukkan hasil simulasi statis orbit GEO pada *tab result* yang menunjukkan *link margin not feasible* dengan *link margin* sebesar -28.66 dB.

4.8 Pengujian Fungsional Visualisasi Satelit

Sub-bab ini memaparkan tahapan pengujian fungsional terhadap modul visualisasi satelit.

4.8.1 Deskripsi Pengujian Fungsional Visualisasi Satelit

Pengujian fungsional dieksekusi menggunakan metode *Black-Box Testing* untuk memvalidasi keluaran sistem. Pengujian dirancang untuk menguji keberhasilan sistem melalui tiga skenario operasional: input *NORAD ID* manual pada kondisi *Feasible*, penggunaan satelit eksisting pada kondisi *Feasible with Warning*, dan eksekusi pemblokiran akses visualisasi secara otomatis pada kondisi *Not Feasible*.

4.8.2 Prosedur Pengujian Fungsional Visualisasi Satelit

Prosedur eksekusi pengujian fungsionalitas modul visualisasi ditetapkan melalui tahapan sistematis berikut:

1. Inisialisasi perangkat lunak simulator "Orbitlink Studio".



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Skenario 1 (Input Manual - *Feasible*): Pilih *New Satellite Mode*, lalu konfigurasi parameter geometri hingga mencapai status *Feasible*, setelah itu masukkan nilai NORAD ID secara manual.
3. Skenario 2 (Satelit Eksisting - *Feasible with Warning*): Pilih *Existing Satellite Mode*, lalu pilih satelit Asiasat-9, setelah itu konfigurasi parameter hingga mencapai status *Feasible with Warning*.
4. Skenario 3 (Satelit Eksisting – *Not Feasible*): Pilih *Existing Satellite Mode*, lalu pilih objek satelit Asiasat-9, setelah itu beri parameter yang menyimpang dari standar regulasi hingga status tautan berubah menjadi *Not Feasible*.
5. Amati keluaran button visualisasi untuk setiap skenario pengujian.

4.8.3 Hasil Pengujian Fungsional Visualisasi Satelit

Luaran data dari hasil eksekusi ketiga skenario pengujian fungsionalitas visualisasi dirangkum secara terstruktur pada Tabel 4.14 dan divisualisasikan pada Gambar 4.40, Gambar 4.41 dan Gambar 4.42.

Tabel 4. 14 Data Hasil Pengujian Fungsional Visualisasi Satelit

Skenario Uji	Satelit	NORAD ID	Status Tautan	Ekspetasi Luaran	Hasil Visualisasi
Skenario 1	Starlink 35722	66976	<i>Feasible</i>	Visualisasi dapat dilakukan	Visualisasi dapat dilakukan
Skenario 2	Asiasat-9	<i>Bypassed</i>	<i>Feasible With Warning</i>	Visualisasi dapat dilakukan	Visualisasi dapat dilakukan
Skenario 3	Asiasat-9	<i>Bypassed</i>	<i>Not Feasible</i>	Visualisasi tidak dapat dilakukan	Visualisasi tidak dapat dilakukan

Berdasarkan Tabel 4.14, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Pada Skenario 1, sistem berhasil menampilkan visualisasi satelit input parameter *NORAD ID* pada formulir geometri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.40. Pada Skenario 1. Pada Skenario 2, sistem berhasil mengekstrak *NORAD ID* satelit Asiasat 9 dari basis data internal dan menampilkan visualisasi satelit saat status tautan bernilai *Feasible with Warning*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.41. Pada Skenario 2. Pada Skenario 3, ketika parameter diubah hingga mencapai status *Not Feasible*, sistem memblokir fungsi visualisasi satelit

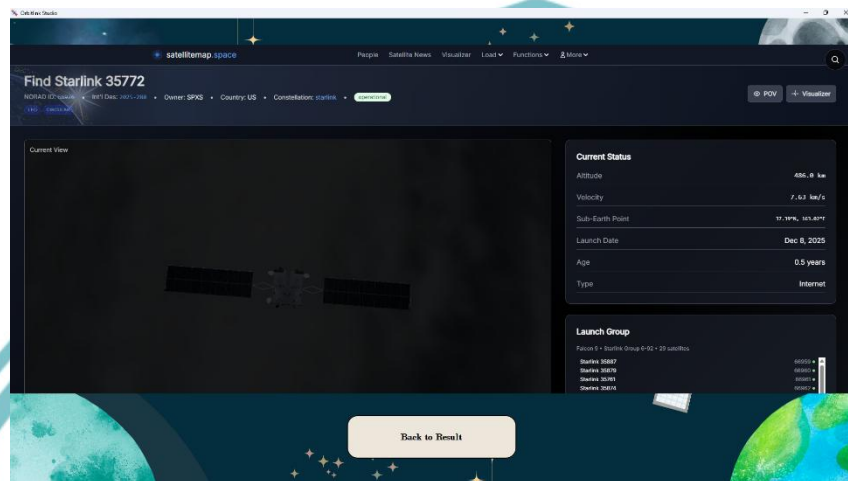


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

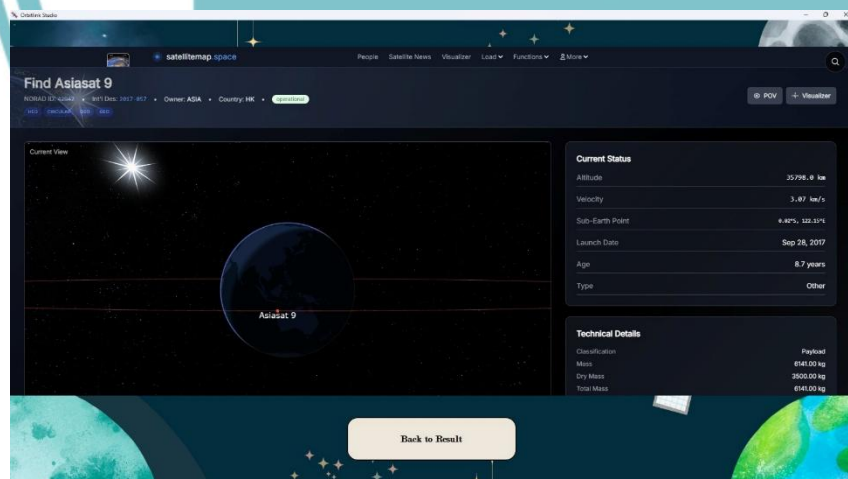
dan menampilkan kotak dialog *Access Denied - SOP Violation*. Hasil pengujian ini mengonfirmasi bahwa sistem berjalan sebagaimana semestinya.

Berikut visualisasi yang menunjukkan hasil berdasarkan ketiga skenario tersebut. Ditampilkan pada Gambar 4.40, Gambar 4.41 dan Gambar 4.42:



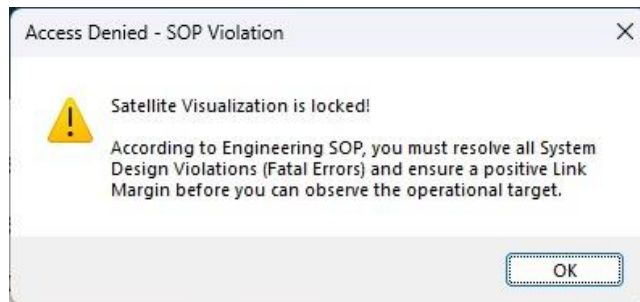
Gambar 4. 40 Tampilan Visualisasi Satelit Starlink 35722

Gambar 4.40 menunjukkan visualisasi satelit Starlink 35722 berhasil dengan status *link feasible*.



Gambar 4. 41 Tampilan Visualisasi Satelit Asiasat-9

Gambar 4.41 menunjukkan visualisasi satelit Asiasat-9 berhasil dengan status *link feasible with warning*.



Gambar 4. 42 Notifikasi Pemblokiran Visualisasi

Gambar 4.42 menunjukkan notifikasi pemblokiran visualisasi satelit Asisat-9 tidak dapat dilalukan karena status *link not feasible*.

4.9 Pengujian Studi Kasus Sudut Elevasi Ekstrem

Sub-bab ini memaparkan tahapan pengujian Studi Kasus Sudut Elevasi Ekstrem serta cara mengoptimasinya.

4.9.1 Deskripsi Pengujian Studi Kasus Sudut Elevasi Ekstrem

Pengujian ini merupakan simulasi studi kasus yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana cara memitigasi sudut elevasi ekstrem pada perancangan. Skenario difokuskan pada pengujian batas fisis visibilitas (*Line of Sight*) antara stasiun bumi dan satelit melalui parameter sudut elevasi.

4.9.2 Prosedur Pengujian Studi Kasus Sudut Elevasi Ekstrem

Prosedur eksekusi pengujian fungsionalitas modul visualisasi ditetapkan melalui tahapan sistematis berikut:

1. Inisialisasi perangkat lunak simulator "Orbitlink Studio".
2. Memasukkan koordinat stasiun bumi dan satelit pada aplikasi yang secara sengaja dirancang untuk menghasilkan sudut elevasi negatif (di bawah 0°).
3. Melakukan proses kalkulasi untuk melihat respons sistem dalam memblokir anomali fisika (memunculkan *Fatal Error*).
4. Melakukan langkah optimasi dengan cara mengubah titik koordinat stasiun penerima menjadi lebih dekat dengan garis ekuator, atau memilih satelit referensi lain yang posisinya lebih ideal.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Menjalankan ulang kalkulasi untuk memastikan sudut elevasi telah berubah menjadi positif dan simulasi *Link Budget* dapat dilanjutkan ke tahap Radio Frekuensi.
6. Amati keluaran sebelum optimasi dan setelah optimasi.

4.9.3 Hasil Pengujian Studi Kasus Sudut Elevasi Ekstrem

Berikut adalah komparasi parameter geometri beserta hasil tangkapan layar antarmuka aplikasi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi relokasi titik penerima seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.15 dan divisualisasikan pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44.

Tabel 4. 15 Komparasi Data Optimasi Sudut Elevasi

Parameter	Skenario Awal	Skenario Akhir
Stasiun Bumi (Lat, Long)	-7.231699, 106.787109	-0.307616, 112.148438
Satelit Referensi (Lat,Long)	11.4642, 118.0014	11.4642, 118.0014
Hasil Sudut Elevasi	-0.16	10,99
Respons Aplikasi	Peringatan <i>Fatal Error</i>	Kondisi Ideal (Kalkulasi Lanjut)
Lokasi Stasiun Bumi	Kota Sukabumi	Kabupaten Nanga Pinoh

Berdasarkan Tabel 4.15, sistem menunjukkan bahwa pada skenario awal, stasiun bumi ditempatkan di koordinat yang terlalu jauh dari letak satelit (-7.23, 106.78). Jarak geometris ini menghasilkan sudut elevasi negatif (-0.16°). Kondisi ini berarti satelit tenggelam di bawah cakrawala dan pancaran sinyalnya terhalang total oleh kelengkungan bumi. Aplikasi merespons dengan tepat dengan memunculkan *Fatal Error* untuk menghentikan proses desain yang mustahil secara fisik ini.

Untuk memperbaiki hal tersebut, dilakukan optimasi dengan titik stasiun bumi direlokasi mendekati ekuator (-0.30, 112.14) agar posisinya lebih sejajar dengan target satelit. Pemindahan lokasi ini terbukti sukses memulihkan *Line of Sight* (LoS). Sudut elevasi melonjak naik menjadi 10,99°. Karena angka ini sudah positif dan berhasil melewati ambang batas aman dari gangguan atmosfer ($> 10^\circ$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berikut visualisasi yang menunjukkan hasil berdasarkan kedua skenario tersebut. Ditampilkan pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44:

Geometric Parameters	
Earth Station Latitude	-7.231699
Earth Station Longitude	106.787109
Satellite Latitude	11.4642
Satellite Longitude	118.0014
Satellite Altitude	481.51
Elevation Angle	-0.16
Slant Range	2541.66 km

Calculate

Gambar 4. 43 Visualisasi Skenario 1 Elevasi Ekstrem

Gambar 4.43 diatas menunjukkan visualisasi skenario di mana menunjukkan sudut elevasi -0.16.

Geometric Parameters	
Earth Station Latitude	-0.307616
Earth Station Longitude	112.148438
Satellite Latitude	11.4642
Satellite Longitude	118.0014
Satellite Altitude	481.51
Elevation Angle	10.99
Slant Range	1585.67 km

Calculate

Gambar 4. 44 Visualisasi Skenario 2 Elevasi Ekstrem

Gambar 4.44 diatas menunjukkan visualisasi skenario 2 dimana menunjukkan sudut elevasi 10.99.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.10 Analisis Keseluruhan Kinerja Sistem Terintegrasi

Integrasi seluruh modul membuktikan bahwa sistem mampu menyelaraskan antarmuka dinamis (Routing UI), ekstraksi basis data, dan komputasi matematis. Eksekusi numerik menghasilkan selisih error mutlak 0,00 pada parameter utama, di mana deviasi minor pada limit desimal murni diakibatkan oleh karakteristik presisi *floating-point* pada Visual Basic dan tidak mendegradasi kelayakan hasil simulasi.

Keunggulan utama dari arsitektur aplikasi ini terletak pada mesin *Validation Engine* berlapis yang menerapkan prinsip *Poka-Yoke*. Sistem menjaga integritas perancangan dan tidak sekadar bertindak sebagai kalkulator. Hal ini terbukti dari ketepatan sistem dalam memblokir alokasi frekuensi di luar standar ITU, mengunci parameter saat mode bypass satelit eksisting aktif, hingga menolak anomali fisika secara mutlak (*Fatal Error*). Sistem cerdas membatalkan kelayakan desain ketika mendeteksi ketiadaan *Line of Sight* (elevasi negatif) atau input fiktif (*noise figure negatif*), meskipun secara matematis luaran *Link Margin* bernilai positif.

Pada tingkat implementasi lapangan, simulator ini secara presisi memvalidasi korelasi redaman ruang bebas akibat perbedaan jarak (*Slant Range*) pada skenario lintas orbit (LEO, MEO, dan GEO). Seluruh hasil desain divisualisasikan melalui integrasi API pemetaan satelit yang responsif, di mana akses visualisasi secara otomatis diblokir (*Access Denied - SOP Violation*) apabila desain terdeteksi tidak layak (*Not Feasible*).

Secara keseluruhan, integrasi antara antarmuka yang dinamis, basis data referensi, dan algoritma komputasi deterministik ini menghasilkan sebuah ekosistem simulasi yang andal. Sistem ini teruji valid dalam membantu perancang (*engineer*) untuk menganalisis, mengoptimasi, dan memvalidasi kelayakan tautan komunikasi maupun navigasi satelit sebelum memasuki fase implementasi perangkat keras, sekaligus memastikan seluruh parameter desain mematuhi kaidah fisika spasial dan regulasi telekomunikasi standar.