

Perencanaan Jaringan Komunikasi Antara Patani Dan Sorong Menggunakan Radio *Microwave*

Nurwendah Puspita, Rianto Nugroho

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional

Korespondensi : riantnugroho@yahoo.com

ABSTRAK. Pembangunan jaringan telekomunikasi antara pulau Maluku – Papua menggunakan radio *microwave* dengan teknologi SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) yang dapat memenuhi kapasitas yang besar dan kehandalan yang cukup tinggi. Pemilihan komunikasi dengan radio *microwave* pada link ini disebabkan banyaknya kendala pada proses implementasinya, dimana link ini melewati lautan, oleh sebab itu tidak memungkinkan membangun komunikasi kabel laut dalam waktu relatif singkat. Maka sistem komunikasi radio *microwave* memberikan suatu solusi. Sistem ini merambat dalam garis pandang (*line of sight*) atau ruang bebas sehingga tidak diperlukan syarat utama yang harus dipenuhi dalam membangun komunikasi radio *microwave*. Sebelum membangun sistem komunikasi radio *microwave* maka dibutuhkan perencanaan agar sistem ini memenuhi kebutuhan suatu sistem komunikasi. Perencanaan dilakukan terdiri atas beberapa tahap seperti penentuan lokasi, penentuan rute radio link, konfigurasi radio link dan *path analysis*. Tahap-tahap tersebut dilaksanakan agar mendapatkan hasil yang maksimal pada suatu perencanaan. Hasil perencanaan dapat digunakan sebagai referensi penentuan penggunaan perangkat yang sesuai dengan spesifikasi dalam pembangunan komunikasi radio *microwave* dengan rute pulau Maluku – Papua agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan standarisasi internasional. Dalam hal ini standar yang digunakan mengacu pada ITU-R

Kata kunci : SDH (*synchronous digital hierarchy*), *radio microwave*

ABSTRACT. Telecommunication network development between Maluku island - Papua island using radio microwave with SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) Technology can be solution for the big capacity and high performance. Choosing communication using radio microwave for link because a lot of constraint at process implementation, which one this link pass the ocean and than that impossible build cable on the ocean in the quick time, and radio microwave become solution for this issue. This system creep at Line of Sight or Free Space Lost and so we no need physical line are like cable. LOS condition becomes the first condition if we want to build the microwave communication. Before build the system radio microwave communication we need planning, that is location determination, Radio Link route, Radio link configuration and path analysis. That is maximum result. The planning result can be use as reference for equipment match with specification, on the built communication, Radio microwave with route Maluku island - Papua island getting result according to international standardization that is ITU-R.

Keywords : SDH (*synchronous digital hierarchy*), *radio microwave*.

PENDAHULUAN

Patani dan Sorong merupakan pulau yang terletak di bagian Utara Pulau Maluku dan Barat Pulau Papua. Kedua pulau tersebut dipisahkan oleh selat. Karena kebutuhan telekomunikasi pada area tersebut sangat tinggi maka diperlukan suatu sistem komunikasi yang dapat melewati perairan. Sistem komunikasi yang dipilih adalah menggunakan sistem komunikasi radio gelombang *microwave* dengan media transmisi udara. Sistem komunikasi radio gelombang *microwave* dipilih karena dapat melayani beberapa ribu saluran suara (*voice*) dengan tingkat kehandalan yang cukup tinggi serta jarak tempuh yang lebih efisien karena melewati media transmisi udara. Dalam studi perencanaan jaringan komunikasi di wilayah Patani – Sorong. Perencanaan jaringan komunikasi ini akan disesuaikan dengan karakteristik pulau Maluku Utara dan Papua Barat.

PARAMETER KINERJA SISTEM KOMUNIKASI

Sistem komunikasi dengan *microwave* sekarang beroperasi dengan modulasi QAM (*Quadrature Amplitudo Modulation*). Unjuk kerja dari komunikasi digital ini diukur dalam BER (*Bite Error Rate*). Level daya ambang batas untuk peralatan *transceiver* sering didefinisikan dimana BER (*Bite Error Rate*) mencapai 10^{-6} walaupun nilai BER yang lain dapat diterima. Nilai tersebut menjadi parameter peralatan *receiver*. *Microwave* bekerja pada rentang Frekuensi 2 GHz – 23 GHz. Gelombang radio dari pemancar merambat menurut arah garis lurus. Ketika daya bergerak menjauhi sumber radiator *isotropis*, daya rata-rata (P_r) terpancar sama kesemua arah dan akan menyebar dalam bentuk bola, sehingga pada jarak (d), kerapatan daya pada gelombang yang ada adalah daya persatuan luas permukaan gelombang yaitu ;

$$P_{Di} = \frac{P_r}{4\lambda \cdot d^2} \quad w/m^2$$

dimana :

P_{Di} : kecepatan daya isotropik

P_r : daya rata-rata

d : jarak

Perolehan keterarahan (*Directivity Gain*) antena adalah perbandingan dari kerapatan daya yang sesungguhnya pada sumbu utama dari radiasi antena. Perolehan keterarahan maksimum (G_r) dari antena pemancar dan kerapatan daya di sepanjang arah dengan radiasi maksimum adalah :

$$P_D = P_{Di} \cdot G_T = \frac{P_r}{4\lambda \cdot d^2} G_T$$

dimana :

G_T : Perolehan keterarahan maksimum

Koordinat lokasi dibutuhkan untuk menentukan beberapa parameter jarak antara dua titik, posisi, *azimut* dan kontur permukaan bumi yang akan dilalui oleh lintasan gelombang radio. Dengan bantuan peta berskala yang dilengkapi dengan garis-garis koordinat dan garis kontur permukaan bumi. Koordinat lokasi diperoleh dengan menentukan titik pada kontur bumi berupa posisi titik tersebut pada garis Lintang dan garis Bujur.

Path profile (Peta Penampang) dengan metode *flat earth curve* adalah alat bantu berupa grafik berskala yang dipergunakan untuk menentukan kondisi lintasan memenuhi syarat *LOS* atau tidak *LOS* dengan proyeksi permukaan bumi datar. Parameter yang harus diperhatikan dalam penggambarannya adalah daerah *fresnell*, tinggi *obstacle* sepanjang lintasan, koreksi ketinggian tiap *obstacle* di sepanjang lintasan, *high clearance* dan jarak.

Daerah *fresnell* adalah tempat kedudukan titik-titik sinyal tak langsung (berbentuk *ellips*) dalam lintasan gelombang radio, dimana daerah tersebut dibatasi oleh gelombang tak langsung yang mempunyai beda panjang lintasan dengan sinyal langsung, seperti rumus dibawah ini :

$$F1 = 17,3 \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{f \cdot d}} \text{ m}$$

dimana :

f : frekuensi (GHz)

d : jarak lintasan (Km)

$d1$ & $d2$: jarak (Km) dari terminal ke lintasan *obstacle*

Parameter berin=kutnya adalah koreksi ketinggian, koreksi ketinggian diperlukan karena penggambaran terhadap kondisi bumi yang terbentuk bulat, hal ini memberikan pengaruh terhadap tinggi *obstacle* pada sepanjang lintasan sistem telekomunikasi gelombang radio mikro, seperti persamaan dibawah ini :

$$h_k = \frac{d_1 \cdot d_2}{12,75 \times K} m$$

dimana :

- h_k : koreksi ketinggian (m) terhadap permukaan laut
- K : faktor kelengkungan bumi (konstanta)
- d_1 & d_2 : jarak (Km) dari terminal ke lintasan *obstacle*

Parameter berikutnya adalah high *clearance* yaitu jarak antara sumbu utama lintasan gelombang radio dengan puncak penghalang (*obstacle*). Agar syarat *Line Of Sight* (LOS) terpenuhi maka besarnya tinggi *obstacle* harus diperhitungkan pada titik dimana terletak *obstacle* yang tertinggi, yaitu :

$$h_c = \frac{h_1 \cdot d_2 + h_2 \cdot d_1}{d} - h_k - h_s$$

dimana :

- h_c : ketinggian *obstacle* (m) terhadap permukaan laut
- h_1 : ketinggian antenna 1 (m) terhadap permukaan laut
- h_2 : ketinggian antenna 2 (m) terhadap permukaan laut
- h_k : koreksi ketinggian (m) terhadap permukaan laut
- h_s : ketinggian *obstacle* (m) terhadap permukaan laut
- d_1 & d_2 : jarak (Km) dari terminal ke lintasan *obstacle*

Power Link Budget atau yang disebut juga level daya terima nominal (*Receive Signal Level*) sistem transmisi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$RSL = P_t + G_{total} + L_{transmisi}$$

dimana :

- RSL : level daya terima (dBm)
- P_t : Daya Transmisi (dBm)
- G_{total} : *Gain* Total Antena Rx dan Tx (dB)
- L_{tra} : Redaman Transmisi (dB)

Frequency Selective Fading

Fading adalah variasi sinyal terima saat sebagai fungsi dari *fasa*, polarisasi dan kuatnya sinyal terima akibat pengaruh hambatan lintasan baik itu pembiasan, pemantulan, difraksi, hamburan, redaman dan karena akibat-akibat yang lain. Sedangkan *flat fading* mempunyai karakteristik dimana level sinyal naik turun dengan lambat, hal ini menyebabkan putusnya hubungan yang lama. *Flat fading* terjadi akibat pembelokan *beam* yang di sebabkan oleh perubahan indeks bias atmosfer. Pada kondisi standar faktor $K = 4/3$. Kondisi super refraksi $K > 4/3$ menyebabkan *beam* membelok ke bawah. Pembelokan ini akan menyebabkan gelombang akan terpantul oleh permukaan bumi, sehingga akan membentuk lintasan lain selain lintasan gelombang langsung.

Beikutnya adalah **Fading Margin** yaitu perbedaan antara level sinyal terima nominal dengan level sinyal terima minimum (*threshold*), yang sesuai dengan *bit error rate* (BER) yang diinginkan. *Flat Fading Margin* (FFM) dihitung untuk mengatasi *error* yang disebabkan *thermal noise*. Dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$FFM = RSL - R_{x (threshold)}$$

dimana :

- FFM : *Flat Fading Margin*
- RS : level daya terima (dBm)
- $R_{x (threshold)}$: level *threshold* dari *thermal noise* penerima (dBm)

Probabilitas Outage

Probabilitas *outage* adalah kemungkinan putusnya suatu hubungan komunikasi. Probabilitas *outage* perlu diperhitungkan dalam perancangan sistem gelombang mikro karena diperlukan

untuk mengestimasi kondisi terburuk atau dalam kondisi *fading* terburuk agar komunikasi tidak terputus. Pada transmisi gelombang mikro, *outage* disebabkan oleh distorsi gelombang akibat *Frequency Selective Fading*, *interferensi* dan *noise thermal*. Rekomendasi ITU-R 633-3 menetapkan propagasi *outage* dengan panjang lintasan 2500 Km dan maksimum 9 hop, untuk $280 \leq L \leq 2500 \text{ Km}$ yaitu $P_t \leq 0,000448$

Availability sistem radio diatur oleh rekomendasi ITU-R F634-3, dimana untuk sistem radio dengan panjang lintasan $\leq 280 \text{ Km}$ adalah $AV \geq 0,999252$

Probabilitas Outage untuk Sistem Tanpa Menggunakan Teknik Diversity

Berdasarkan rekomendasi ITU-R P.530-8 untuk menghitung probabilitas outage total sistem adalah sebagai berikut :

$$P_t = P_{ns} + P_s + P_{xp}$$

dimana :

- P_{ns} : probabilitas *outage* disebabkan *non-selective fading*
- P_s : probabilitas *outage* disebabkan *selective fading*
- P_{xp} : probabilitas *outage* disebabkan *xp degradasi*

Probabilitas Outage untuk Sistem Menggunakan Teknik Diversitas

Teknik diversitas adalah suatu teknik dimana memiliki penerimaan rangkap. Adapun teknik yang digunakan adalah teknik *space diversity*. Penggunaannya saat kasus *radio link* memiliki jarak yang jauh dan untuk menghindari *multipath fading*. Harga total probabilitas *outage* menggunakan teknik diversitas dihitung dengan persamaan :

$$P_t = P_d \times P_{xp}$$

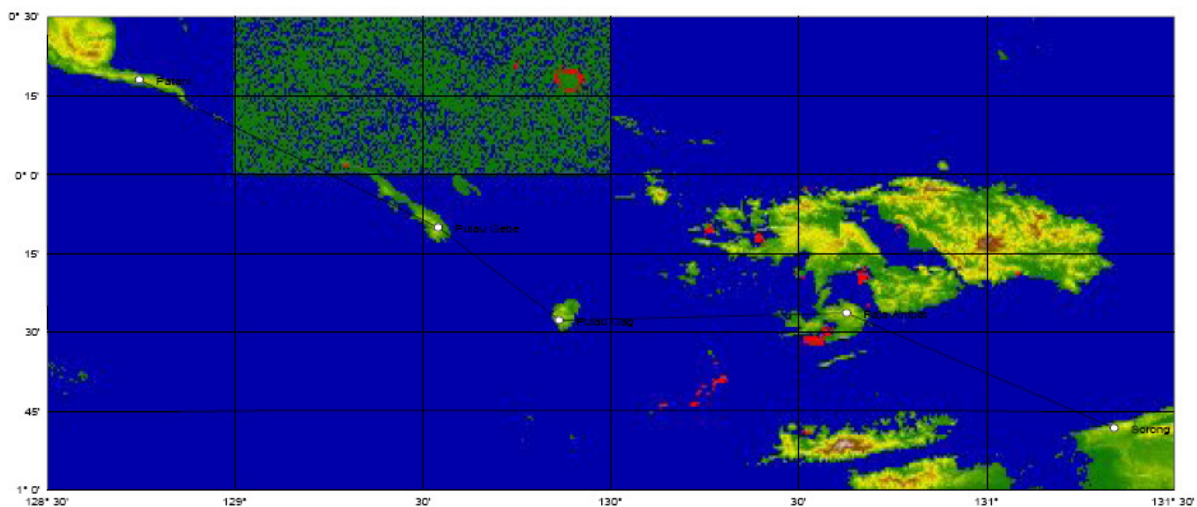
dimana :

- P_d : kombinasi *probabilitas outage* disebabkan oleh *selective* dan *non selective*

PERENCANAAN JARINGAN TRANSMISI

Penentuan Lokasi dan Route Radio Link

Peta rute dibuat untuk melihat jalur yang akan digunakan untuk jaringan radio *microwave* dan juga melihat kondisi geografisnya secara umum. Lokasi yang akan dijadikan stasiun berjumlah 5 Site.



GAMBAR 1. Peta lokasi geografis pemasangan sistem radio komunikasi.

TABEL 1. Data geografi untuk pemasangan

No	Nama Site	Longitude	Latitude	Elevasi (mASL)
1	Patani	00°18'03.12" N	128°44' 42.50" E	277
2	Pulau Gebe	00°10' 08.87" S	129°32' 29.99" E	352
3	Pulau Gag	00°27' 40.75" S	129°51' 50.47" E	297
4	Raja Ampat	00°26' 21.68" S	130°37' 38.88" E	327
5	Sorong	00°48' 12.89" S	131°20' 29.61" E	328

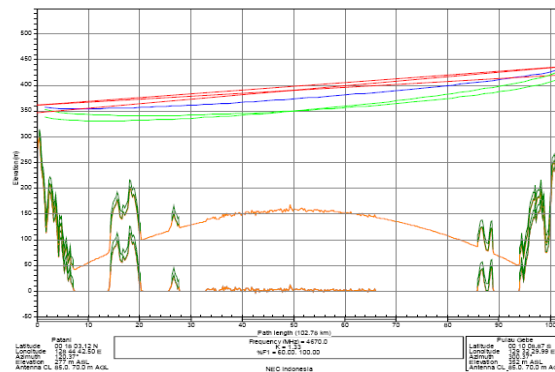
TABEL 2. Data pulau dan jarak pemasangan

No	Site A	Site B	Jarak (Km)	Keterangan
1	Patani	Pulau Gebe	102.78	LOS
2	Pulau Gebe	Pulau Gag	48.29	LOS
3	Pulau Gag	Raja Ampat	85.02	LOS
4	Raja Ampat	Sorong	89.11	LOS

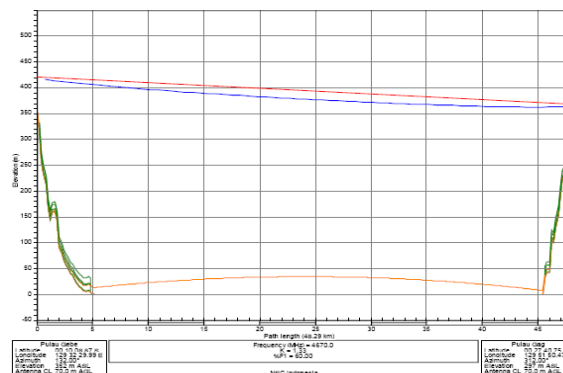
Konfigurasi Radio Link

Pada SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) adalah teknologi yang memiliki sinkronisasi *clock* dan kapasitas yang tinggi. Pada perencanaan ini di asumsikan kebutuhan akan kapasitas kanal besar 5 x STM-1 (155 Mbps), maka radio yang akan digunakan teknologi SDH STM-1. Sedangkan frekuensi kerja yang digunakan adalah 5GHz.

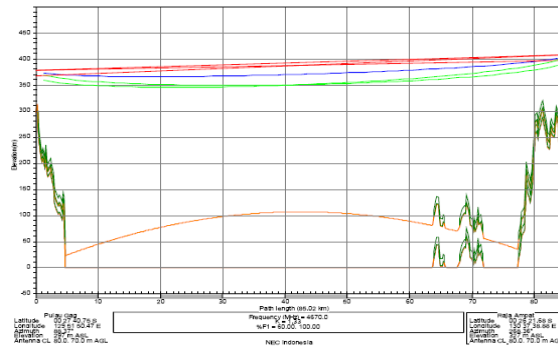
Path Profile Radio Link



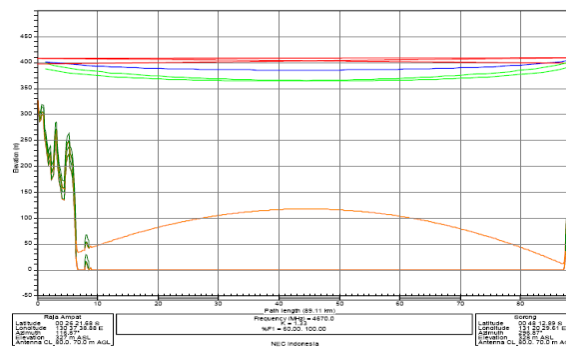
GAMBAR 2. Link Patani – Pulau Gebe



GAMBAR 3. Link Pulau Gebe – Pulau Gag



GAMBAR 4. Link Pulau Gag – Raja Ampat



GAMBAR 5. Link Raja Ampat - Sorong

ANALISA PERENCANAAN PADA RADIO LINK

Berdasarkan data yang diperoleh akan dihitung secara teoritis perencanaan *radio link* dengan menggunakan *microwave* yang kemudian akan dianalisa hasil perencanaan jaringan transmisi tersebut. Adapun *link* yang akan dianalisa hanya diambil salah satu link saja, mengingat cara penghitungan link-link yang lain adalah sama sebagai berikut :

- Patani – Pulau Gebe
- Pulau Gebe – Pulau Gag
- Pulau Gag – Raja Ampat
- Raja Ampat – Sorong

Analisa perencanaan *radio link* yang telah disebutkan diatas mencakup beberapa hal sebagai berikut :

- Pembuatan *Path Profile* seperti perhitungan jari-jari *Fresnell 1*, perhitungan koreksi ketinggian dan perhitungan *high clearance*
- Perhitungan *Power Link Budget* meliputi perhitungan redaman, perhitungan level daya terima (RSL), dan perhitungan *flat fade margin*.
- *Perhitungan Probabilitas Outage* Tanpa Menggunakan Teknik Diversitas diantaranya perhitungan *probabilitas non-selective outage*, dan perhitungan *probabilitas Selective outage*
- Perhitungan *Probabilitas Outage* Dengan Menggunakan Teknik Diversitas

Analisa Radio Link Patani - Pulau Gebe

Perhitungan Jari-jari *Fresnell 1*

Perhitungan jari-jari *fresnell 1* dapat dihitung pada lintasan gelombang radio yang melalui *obstacle* tertinggi sesuai dengan jarak 100,9 Km ($d1$) dari Patani dan dari *obstacle* tertinggi ke Pulau Gebe 1,88 Km ($d2$) dengan kriteria $F1 = 10,5$ m

Perhitungan Koreksi Ketinggian

Faktor koreksi terhadap kelengkungan bumi pada titik *obstacle* tertinggi sesuai dengan kriteria $h_k = 11,2$ m

Perhitungan *High Clearence*

Kondisi lintasan dalam *link* Patani – Pulau Gebe merupakan kontur perbukit dan laut dengan perkiraan ketinggian pepohonan 20 meter sehingga tinggi *obstacle* bertambah 20 meter. Maka *high clearence* di peroleh dengan kriteria $h_c = 72,1$ m

Perhitungan *Power Link Budget*

Perhitungan Redaman Transmisi

Besarnya redaman transmisi pada suatu lintasan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$L_{tra} = FSL + L_b + L_f + L_{rain} + L_{atm} + L_o$$

- Perhitungan Redaman Ruang Bebas (*FSL*), redaman ruang bebas diperoleh dengan persamaan :

$$FSL = 32,44 + 20 \text{ Log } f(\text{MHz}) + 20 \text{ Log } d(\text{km})$$

$$FSL = 146,06 \text{ dB}$$

- Redaman *Branching Circuit* (L_b)

Redaman pada *connector* atau *branching* biasanya berkisar antara 0.01 – 0.05 dB. Sehingga kita asumsikan Redaman *Branching Circuit* (L_b) baik di Pemancar maupun di Penerima masing-masing sebesar 0.05 dB.

- Redaman *feeder* (L_f)

$$L_{feeder} = \text{panjang feeder (m)} / 100 \times 4.5 \text{ dB/m (dB)}$$

diasumsikan panjang feeder 100 m sehingga

$$L_{feeder} = 4.5 \text{ dB}$$

- Perhitungan redaman *atmosfer* (L_{atm})

$$L_{atm} = I \alpha \times d \text{ dB}$$

$$L_{atm} = 0,0524 \times 102,78 \text{ dB}$$

$$L_{atm} = 5,39 \text{ dB}$$

- Perhitungan Redaman Hujan (L_{rain})

Pada perhitungan redaman hujan agar dapat mengantisipasi keadaan terburuk diasumsikan antena berpolarisasi *horizontal* karena memberikan redaman maksimal dan hujan terjadi di sepanjang lintasan. Berdasarkan rekomendasi ITU-R P.8372 Indonesia termasuk ke dalam zona P dengan curah hujan 145 mm/h :

$$r = \frac{1}{1 + d / d_0}$$

dimana :

K : Faktor iklim

R : Curah hujan

α : 1.332

d_0 : 7.810

Berdasarkan rekomendasi ITU-R P.530-8, nilai $C_o=3.5$; $C_{lat}= 0$; $C_{ion}= 0 \text{ dB}$. Untuk nilai P_L dapat direkomendasikan ITU-R P.353 maka didapat $P_L=20 \%$. Perhitungan *geoclimatic factor* berdasarkan letak *radio link* yang termasuk dalam kategori *coastal link with large size bodies of water* sehingga di dapat perhitungan sebagai berikut :

$$K_i = 5.0 \times 10^{-7} \times 10^{0.1(C_o - C_{lat} - C_{Lon})} P_L^{1.5}$$

$$K_i = 0.000019976$$

dimana :

PL : variabel iklim (%)

C_o ; C_{lat} ; C_{Lon} : tetapan (dB)

Maka akan diperoleh redaman transmisi adalah $L_{transmisi} = 158,04 \text{ dB}$

- Perhitungan *Gain* Antena

Diameter antena yang digunakan pada link ini adalah 4,6 meter sehingga $G = 44,62 \text{ dB}$

Gain total dari penjumlahan gain pada antenna dan gain pada perangkat. Data dari perangkat di peroleh penguatan (gain) sebesar 33 dBm. Maka diperoleh gain totalnya adalah $G_{total} = 122.24 \text{ dBm}$

Perhitungan Receiving Signal Level (RSL)

Level sinyal yang di terima, di peroleh dari penguatan total (gain total) dengan redaman transmisi. Maka di peroleh level sinyal yang di terima adalah sebagai berikut :

$$RSL = -35.8 \text{ dBm}$$

Perhitungan Flat Fading Margin (FFM)

Flat Fading Margin di peroleh dari pengurangan RSL dengan level ambang terima ($R_{x_{threshold}}$). Dari daftar tabel diperoleh $R_{x_{threshold}}$ sebesar -74.60 dBm, sehingga Flat Fading Margin sebesar :

$$FFM = 38.8 \text{ dB}$$

dimana :

- FFM : Flat Fading Margin
- RSL : Level daya terima (dBm)
- $R_{x_{threshold}}$: Level threshold dari thermal noise penerima (dBm)

Perhitungan Probabilitas Outage Tanpa Menggunakan Teknik Diversitas

Kemampuan operasional sistem transmisi dalam menyalurkan informasi di ukur dalam dua parameter, yaitu Probabilitas total outage dan Availability. Probabilitas total outage (P_t) pada BER = 10^{-6} yang telah ditetapkan oleh rekomendasi ITU-R F.634-3 untuk sistem radio dengan panjang lintasan $L \leq 280 \text{ Km}$ adalah $P_t \leq 0,000448$

Availability sistem radio di atur oleh rekomendasi ITU-R F.634-3, dimana untuk sistem radio dengan panjang lintasan $L \leq 280 \text{ Km}$ adalah $AV \geq 0,999252$

- Perhitungan Geoclimatic Factor
Berdasarkan rekomendasi ITU-R P.530-8, nilai $C_o=3.5$; $C_{lat}=0$; $C_{ion}=0 \text{ dB}$. Untuk nilai P_L dapat direkomendasikan ITU-R P.353 maka didapat $P_L=20 \%$. Perhitungan geoclimaticfactor berdasarkan letak radio link yang termasuk dalam kategori coastal link with large size bodies of water sehingga di dapat perhitungan sebagai berikut :

$$K_i = 5.0 \times 10^{-7} \times 10^{0.1(C_o - C_{lat} - C_{Lon})} P_L^{1.5}$$

$$K_i = 0.000019976$$

- dimana :
- P_L : variabel iklim (%)
- C_o ; C_{lat} ; C_{Lon} : tetapan (dB)

- Perhitungan Magnitudo Kemiringan Lintasan

$$|\epsilon p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} \text{ mrad}$$

- dimana :
- h_r ; h_e : Tinggi antenna terhadap permukaan laut (m)
- d : Jarak radio link (Km)

$$|\epsilon p| = \frac{|348 - 420|}{102,78} \text{ mrad}$$

$$|\epsilon p| = 0,7005 \text{ mrad}$$

- Perhitungan P_w

$$P_w = K \times d^{3.6} \times f^{0.89} \times (1 + |\epsilon p|)^{-1.4} \times 10^{-A/10}$$

$$P_w = 0.015832\%$$

dimana :

- d : Jarak radio *link* (Km)
- f : Frekuensi (Ghz)
- K : Faktor iklim dan efek *terrain*
- εp : Magnitudo dari kemiringan lintasan
- A : *Flat fading margin* (dB)

Perhitungan Probabilitas Outage Non-Selective

$$P_{ns} = \frac{P_w}{100}$$

$$P_{ns} = 0.00015832$$

- Perhitungan *Multipath Occurance*

$$P_o = \frac{P_w}{100} \text{ dengan } A=0 (\%).$$

$$P_o = 121.8$$

- Perhitungan *Multipath Activity*

$$\eta = 1 - \exp(-0,2xp_o^{0,75})$$

$$\eta = 0,999$$

- Perhitungan *Mean Time Delay*

$$\tau_m = 0,7 \left(\frac{d}{50} \right)^{1,3}$$

$$\tau_m = 1,79ns$$

Perhitungan Probabilitas Outage Selective

$$P_s = 2,15\eta \left(W_m \times 10^{-B_m/20} \times \frac{\tau_m^2}{\tau_r M} + W_{MN} \times 10^{-B_{MN}/20} \times \frac{\tau_m^2}{\tau_r MN} \right)$$

dimana :

$\eta = 0,999$; $\tau_m = 1,79ns$; $W_m = 0.024$ GHz; $W_{MN} = 0.024$ GHz; $B_m = 32$; $B_{MN} = 25$; τ_r , $M = \tau_r$, $MN = 6.3$;

dan

- η : parameter *multipath activity*
- W_m : *minimum phase signature width*
- W_{MN} : *non minimum phase signature width*
- B_m : *Minimum phase notch depth*
- B_{MN} : *Non minimum pahse notch depth*
- τ_r : *Peference time delay of signature curve*
- τ_m : *Mean time delay*

$$P_s = 2,15(0,999) \left(0,024 \times 10^{-32/20} \times \frac{1,79^2}{6,3} + 0,024 \times 10^{-25/20} \times \frac{1,79^2}{6,3} \right)$$

$$P_s = 0,0021178$$

- Perhitungan Probabilitas *Outage* Total yaitu $P_t = P_{ns} + P_s$ sehingga diperoleh $P_t = 0,002276$
- Perhitungan *Availability* adalah $A_v = 1 - P_t$ sehingga diperoleh $A_v = 0,997723$

Perhitungan Probabilitas Outage Menggunakan Teknik Space Diversitas

Probabilitas total outage (P_t) pada BER = 10^{-6} yang telah ditetapkan oleh rekomendasi ITU-R F.634-3 untuk sistem radio dengan panjang lintasan $L \leq 280$ Km adalah $P_t \leq 0,000448$

Availability sistem radio di atur oleh rekomendasi **ITU-R F.634-3**, dimana untuk sistem radio dengan panjang lintasan $L \leq 280 \text{ Km}$ adalah $AV \geq 0,999252$.

- Perhitungan Probabilitas Outage Dengan Teknik *Space Diversity*.

$$I_{ns} = \left[1 - \exp\left(-3,34 \times 10^{-4} S^{0,87} f^{-0,12} d^{0,48} P_o^{-1,04}\right) \right] \times 10^{(A-V)/10}$$

$$V = |G_1 - G_2|$$

$$V = 0$$

$$P_o = \frac{P_w \times 10^{A/10}}{100}$$

$$P_w = K \times d^{3,6} \times f^{0,89} \times (1 + |\epsilon p|)^{-1,4} \times 10^{-A/10}$$

- Perhitungan *Geoclimatic Factor*

Berdasarkan rekomendasi **ITU-R P.530-8**, nilai $C_o=3.5$; $C_{lat}=0$; $C_{ion}=0 \text{ dB}$. Untuk nilai P_L direkomendasikan **ITU-R P.353** maka didapat $P_L=20 \%$

$$K_i = 5.0 \times 10^{-7} \times 10^{0,1(C_o - C_{lat} - C_{Lon})} P_L^{1,5}$$

$$K_i = 0.000019976$$

dimana :

P_L : variabel iklim (%)

C_o ; C_{lat} ; C_{Lon} : tetapan (dB)

- Perhitungan *Magnitudo Kemiringan Lintasan*

$$|\epsilon p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} \text{ mrad}$$

$$|\epsilon p| = 0,7005 \text{ mrad}$$

dimana :

h_r ; h_e : Tinggi antenna terhadap permukaan laut (m)

d : Jarak radio link (Km)

- Perhitungan P_w menggunakan persamaan $P_w = K \times d^{3,6} \times f^{0,89} \times (1 + |\epsilon p|)^{-1,4} \times 10^{-A/10}$ sehingga $P_w = 0.015832\%$.

- Perhitungan *Multipath Occurance* dengan $P_o = \frac{P_w \times 10^{A/10}}{100}$, sehingga diperoleh

$$P_o = 121.78$$

- Perhitungan *Multipath Activity*

$$\eta = 1 - \exp\left(-0,2 \times P_o^{0,75}\right)$$

$$\eta = 0,999$$

- Perhitungan *Improvement Factor*

$$I_{ns} = \left[1 - \exp\left(-3,34 \times 10^{-4} S^{0,87} f^{-0,12} d^{0,48} P_o^{-1,04}\right) \right] \times 10^{(A-V)/10} \text{ sehingga diperoleh}$$

$$I_{ns} = 0.33458$$

dimana :

S : Jarak pemisahan antar antenna penerima (m)

f : Frekuensi (GHz)

d : Jarak radio link (Km)

P_o : Faktor multipath occurance

A : Flat fading margin

- Perhitungan Kuadrat Koefisien Korelasi Non-selective $K_{ns}^2 = 1 - \frac{I_{ns} \times P_{ns}}{\eta}$ sehingga

diperoleh $K_{ns}, S^2 = 0.999947$

dimana :

I_{ns} : Improvement factor

P_{ns} : Probabilitas outage non-selective
 η : Parameter multipath activity

- Perhitungan Koefisien Korelasi Relative Amplitude $r_w = 1 - 0,6921(1 - K_{ns}, S^2)^{1,034}$, untuk $K_{ns}, S^2 \geq 0.26$ sehingga diperoleh $r_w = 0,999973753$
- Perhitungan Kuadrat Koefisien Selective yaitu $K_s^2 = 1 - 0,3957(1 - r_w)^{0,5136}$ sehingga diperoleh $K_s^2 = 0,99982436$
- Perhitungan Probabilitas Outage Non-Selective yaitu $P_{dns} = \frac{P_{ns}}{I_{ns}}$ sehingga diperoleh $P_{dns} = 0,000473190$
- Perhitungan Mean Time Delay $\tau_m = 0,7 \left(\frac{d}{50} \right)^{1,3}$ sehingga diperoleh $\tau_m = 1,7861512ns$
- Perhitungan Probabilitas Outage Selective yaitu $P_{ds} = \frac{P_s^2}{\eta(1 - K_s^2)}$ sehingga diperoleh $P_{ds} = 0,00000000255$
- Perhitungan Probabilitas Outage Total yaitu $P_d = (P_{dns}^{0,75} + P_{ds}^{0,75})^{1,33}$ sehingga diperoleh $P_d = 0,000048234$
- Perhitungan Availability yaitu $Av = 1 - P_d$ sehingga didapat $Av = 0,99995176$

TABEL 1. Hasil Analisa Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,002276
Availability	0,997723
ITU-R Outage Objective	0,000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 2. Hasil Analisa Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000048
Availability	0,999951
ITU-R Outage Objective	0,000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 3. Data *microwave worksheet* Patani – Pulau Gebe 5GHz

	Satuan	Patani	Pulau Gebe
Elevation	(m)	277	352
Latitude		00°18'03.12" N	00°10' 08.87" S
Longitude		128°44' 42.50" E	129°32' 29.99"E
True Azimuth	(°)	120,37	300,37
Antenna height	(m)	85 & 70	85 & 70
Antenna Gain	(dBi)		44,62
Frequency	(MHz)		4670
Polarization			Vertical
Path length	(Km)		102,78
Free space loss	(dB)		146,06
Atmospheric loss	(dB)		5,39
TX power	(watt)		2
TX power	(dBm)		33
EIRP	(dBm)		77.62
RX thresholdcriteria			BER 10 ⁻⁶
RX thershold level	(dBm)		-74,6
RX signal	(dBm)		-35,8
Geoclimatic factor			0,000372054

Occurance factor		121.8
Rain Rate	(mm/hr)	145
Rain Attenuation	(dB)	2,04402396
Flat Fade Margin	(dB)	38.8
Path inclination	(mrad)	0,7005

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, harga probabilitas *outage* total dan *availability* sistem radio *link* Patani - Pulau Gebe harus menggunakan teknik diversitas agar memenuhi batas yang di rekomendasikan oleh ITU-R. agar *link* Patani – Pulau Gebe ini layak untuk di implementasikan menjadi *backbone link*

Radio Link Pulau Gebe – Pulau Gag

TABEL 4. Hasil Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000177
Availability	0,999827
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999252

TABEL 5. Hasil Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000035
Availability	0.999964
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999252

TABEL 6. Data *microwave worksheet* Pulau Gebe – Pulau Gag 5GHz

	Satuan	Pulau Gebe	Pulau Gag
Elevation	(m)	352	297
Latitude		00°10' 08.87" S	00°27' 40.75" S
Longitude		129°32' 29.99" E	129°51' 50.47" E
True Azimuth	(°)	132	312
Antenna height	(m)	70	70
Antenna Gain	(dBi)	44.62	
Frequency	(MHz)	4670	
Polarization		Horizontal	
Path length	(Km)	c	
Free space loss	(dB)	139.5	
Atmospheric loss	(dB)	2,53	
TX power	(watt)	2	
TX power	(dBm)	33	
EIRP	(dBm)	77,62	
RX threshold criteria		BER 10 ⁻⁶	
RX threshold level	(dBm)	-74.6	
RX signal	(dBm)	-24.89	
Geoclimatic factor		0.000372054	
Occurance factor		6.45	
Rain Rate	(mm/hr)	145	
Rain Attenuation	(dB)	1,89	
Flat Fade Margin	(dB)	49,71	
Path inclination	(mrad)	1,077	

Radio Link Pulau Gag – Raja Ampat

TABEL 7. Hasil Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,001796
Availability	0.998203
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 8. Hasil Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000126
Availability	0,999873
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 9. Data *microwave worksheet* Pulau Gag – Raja Ampat 5GHz

	Satuan	Pulau Gag	Raja Ampat
Elevation	(m)	297	327
Latitude		00°27' 40.75" S	00°26' 21.68" S
Longitude		129°51' 50.47" E	130°37' 38.88" E
True Azimuth	(°)	88,37	268,36
Antenna height	(m)	80 & 70	80 & 70
Antenna Gain	(dBi)	44,62	
Frequency	(MHz)	4670	
Polarization		Horizontal	
Path length	(Km)	85,02	
Free space loss	(dB)	144,43	
Atmospheric loss	(dB)	4,46	
TX power	(watt)	31,6	
TX power	(dBm)	33	
EIRP	(dBm)	77,62	
RX threshold criteria		BER 10 ⁻⁶	
RX threshold level	(dBm)	74,6	
RX signal	(dBm)	-32,31	
Geoclimatic factor		0,000372	
Occurance factor		85,09	
Rain Rate	(mm/hr)	145	
Rain Attenuation	(dB)	2,0130539	
Flat Fade Margin	(dB)	42,29	
Path inclination	(mrad)	0,35	

Radio Link Raja Ampat – Sorong

TABEL 10. Hasil Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0.001567
Availability	0,998432
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 11. Hasil Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000102
Availability	0,999897
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL 12. Microwave Worksheet Raja Ampat – Sorong 5GHz

	Satuan	Raja Ampat	Sorong
Elevation	(m)	327	328
Latitude		00° 26' 21.68" S	00° 48' 12.89" S
Longitude		130° 37' 38.88" E	131° 29' 29.61" E
True Azimuth	(°)	116,87	296,87
Antenna height	(m)	70	70
Antenna Gain	(dBi)	44.62	
Frequency	(MHz)	4670	
Polarization		Horizontal	

Path length	(Km)	89,11
Free space loss	(dB)	144,83
Atmospheric loss	(dB)	4,67
TX power	(watt)	31,6
TX power	(dBm)	33
EIRP	(dBm)	77,62
RX threshold criteria		BER 10 ⁻⁶
RX threshold level	(dBm)	-74,6
RX signal	(dBm)	-32,93
Geoclimatic factor		0,000372054
Occurance factor		148,32
Rain Rate	(mm/hr)	145
Rain Attenuation	(dB)	2,02206337
Flat Fade Margin	(dB)	41,67
Path inclination	(mrad)	0,0244

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, harga probabilitas *outage* total dan *availability* sistem radio *link Patani – Sorong* memenuhi batas yang di rekomendasikan oleh **ITU-R**. sehingga *link Patani – Sorong* ini layak untuk di implementasikan menjadi *backbone link*.

KESIMPULAN

Berdasarkan apa yang telah ditulis dan menganalisa permasalahan, penulis memberikan kesimpulan seperti pada tabel 13. Kesimpulan tersebut adalah untuk meng-cover wilayah Patani – Sorong dibutuhkan 4 Hop.

TABEL 13. Kesimpulan hasil perhitungan Patani – Sorong 4 Hop

No.	Site A	Site B	Pt	Av	Keterangan
1.	Patani	Pulau Gebe	0,000048	0.999951	LOS, menggunakan teknik diversitas
2.	Pulau Gebe	Pulau Gag	0,000177	0,999827	LOS, tanpa teknik diversitas
3.	Pulau Gag	Raja Ampat	0,000126	0.999873	LOS, menggunakan teknik diversitas
4.	Raja Ampat	Sorong	0,000102	0.999897	LOS, menggunakan teknik diversitas

Jarak yang berbeda pada setiap network, menyebabkan *Received Signal Level* (RSL) yang berbeda pula, dimana nilai RSL terbesar terdapat link Patani – Pulau Gebe (35,8 dBm) dan terkecil pada link Pulau Gebe – Pulau Gag (-24,89 dBm).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bates, Regis J, *Broadband Telecommunications Handbook*, San Fransisco, 2002.
- [2] ITU-T Recommendation, *Reability and Availability of Analogue Cable Transmission*, 2003.
- [3] Roger L. Freeman. “Radio System Design For Telecommunication (1-100 Ghz)
- [4] Roger L. Freeman. “Telecommunication Transmission Handbook, Edisi ke Empat.
- [5] Rec. ITU-R P. 530-8, ”Propagation Data And Prediction Method Required For The Design of Terrestrial LINE OF SIGHT System”.
- [6] Rec. ITU-R P. 453, The Radio Refractive Index: ITS Formula and Refractivity Data”.
- [7] Rec. ITU-R P 634-3, Error Performance Objectives for Real Digital Radi-Relay Link Forming Part of High-Grade Circuit Within An Integrated Service Digital Network”.
- [8] Rec. ITU-R P. 676-3, “ Attenuation by Atmospheric Gases”.
- [9] Rec. ITU-R F.1093, “Effect Of Multipath Propagation On The Design And Operation Of Line Of Sight Digital Radio-Relay Systems”.