

Perencanaan Jaringan Komunikasi *Backbone* antara Bangka dan Belitung Menggunakan Radio *Microwave* SDH

Andri, Rianto Nugroho

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

Korespondensi : riantnugroho@yahoo.com

ABSTRAK. Pembangunan jaringan telekomunikasi antara Pulau Bangka – Pulau Belitung 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 Bangka – Pulau Belitung 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*, *radio link*

ABSTRACT. Telecommunication network development between Bangka Island - Belitung Island using radio microwave with SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) Technology can be the solution for the big capacity and high performance. Choosing communication using radio microwave for the link because a lot of constraint at process implementation, which one this link pass the ocean and then that impossible build cable on the ocean in the quick time and radio microwave become a solution for this issue. This system creeps 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 building the system radio microwave communication we need planning, that is location determination, Radio Link route, Radio link configuration, and path analysis. That is the maximum result. The planning result can be used as a reference for equipment match with the specification, on the built communication, Radio microwave with route Bangka Island - Belitung Island getting result according to international standardization that is ITU-R.

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

PENDAHULUAN

Kepulauan Bangka dan Belitung merupakan pulau yang terletak di bagian Selatan Pulau Sumatera. Kedua pulau tersebut dipisahkan oleh selat. Karena permintaan 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 perencanaan jaringan komunikasi ini akan disesuaikan dengan karakteristik Pulau Bangka dan Pulau Belitung.

PARAMETER PENGUKURAN

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

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

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

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 :

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

dimana :

- f : frekuensi (GHz)
- d : jarak lintasan (Km)
- d_1 & d_2 : jarak (Km) dari terminal kelintasan *obstacle*

Koreksi Ketinggian

Apabila 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*

High Clearance

High *clearance* adalah 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 antena 1 (m) terhadap permukaan laut
- h_2 : ketinggian antena 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

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)

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. *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 $K = 4/3$. Sementara *Frequency Selective Fading* dimana 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. Sedangkan *Fading Margin* adalah 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 :

$$FFM = RSL - R_x \text{ (threshold)}$$

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 $280 \leq L \leq 2500 \text{ Km}$:

$$P_t \leq (280/2500) \times 0.4 \%$$

$$P_t \leq 0,000448$$

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

$$AV \geq (100 - P_o) \%$$

$$AV \geq (1 - 0,00448)$$

$$AV \geq 0,999252$$

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 :

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

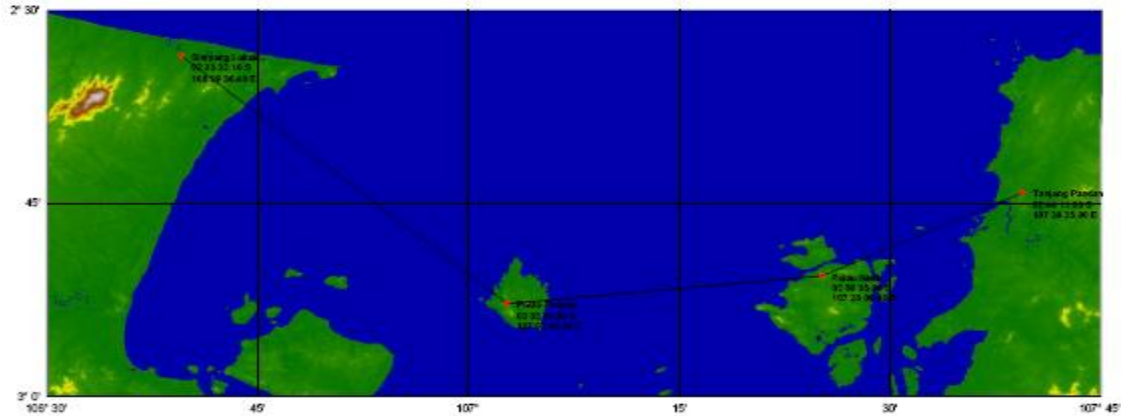
dimana :

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 Peta geografi lokasi pemasangan jaringan Radio Link.

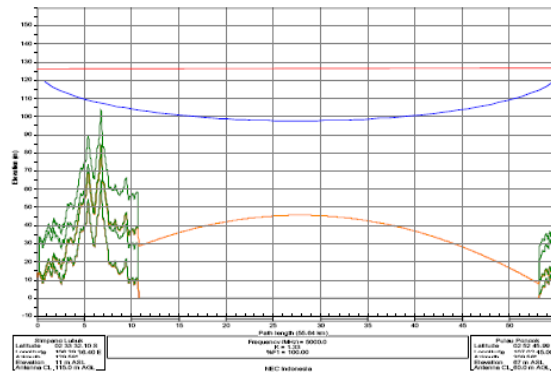
TABEL Data geografi lokasi pemasangan Radio Link

No.	Nama Site	Longitude	Lattitude	Elevasi (mASL)
1.	Simpang Lubuk	02° 33' 32.10''S	106° 39' 36.40''E	11
2.	Pulau Pongok	02° 52' 45.99''S	107° 02' 45.00''E	67
3.	Pulau Nasik	02° 50' 35.90''S	107° 25' 09.40''E	69
4.	Tanjung Pandan	02° 44' 11.00''S	107° 39' 25.00''E	25

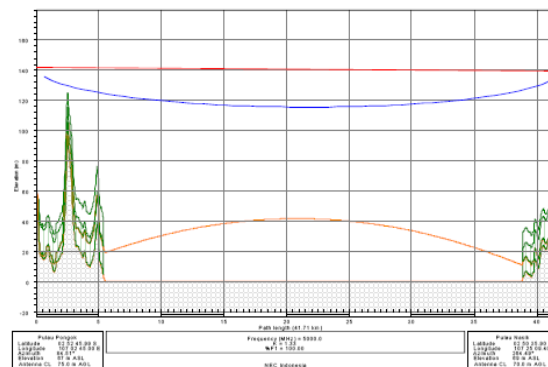
TABEL Data Jarak antar Link

No.	Site A	Site B	Jarak (Km)	Keterangan
1.	Simpang Lubuk	Pulau Pongok	55.85	LOS
2.	Pulau Pongok	Pulau Nasik	41.71	LOS
3.	Pulau Nasik	Tanjung Pandan	28.95	LOS

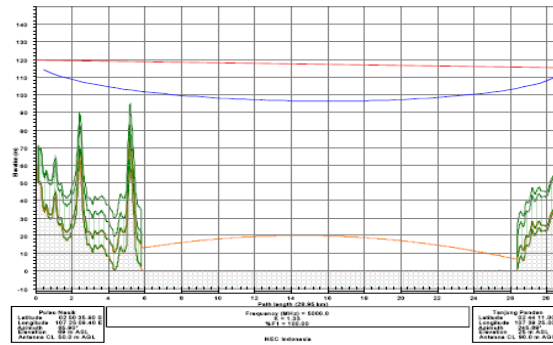
Path Profile Radio Link



GAMBAR Path Profile Radio Link Simpang Lubuk – Pulau Pongok



GAMBAR Path Profile Radio Link Pulau Pongok – Pulau Nasik



GAMBAR Path Profile Radio Link Pulau Nasik – Tanjung Pandan

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 6 x STM-1 (155 Mbps), maka radio yang akan digunakan teknologi SDH STM-1. Sedangkan frekuensi kerja yang digunakan adalah 5GHz.

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 :

- Simpang Lubuk – Pulau Pongok
- Pulau Pongok – Pulau Nasik
- Pulau Nasik – Tanjung Pandan

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

- Pembuatan *Path Profile* :
 - a. Perhitungan Jari-Jari *Fresnell 1*
 - b. Perhitungan Koreksi Ketinggian
 - c. Perhitungan *High Clearance*
- Perhitungan *Power Link Budget* :
 - a. Perhitungan Redaman
 - b. Perhitungan Level Daya Terima (RSL)
 - c. Perhitungan *Flat Fade Margin*
- Perhitungan *Probabilitas Outage* Tanpa Menggunakan Teknik Diversitas :
 - a. Perhitungan *Probabilitas Non-Selective Outage*
 - b. Perhitungan *Probabilitas Selective Outage*
- Perhitungan *Probabilitas Outage* Dengan Menggunakan Teknik Diversitas

Analisa Radio Link Simpang Lubuk - Pulau Pongok

Perhitungan Jari-jari Fresnell 1

Perhitungan jari-jari *fresnell 1* dapat dihitung pada lintasan gelombang radio yang melalui *obstacle* tertinggi sesuai dengan jarak 7 Km (*d1*) dari Simpang Lubuk dan dari *obstacle* tertinggi ke Pulau Pongok 55 Km (*d2*) dengan persamaan sbb :

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{d1.d2}{f.d}} m$$

$$F_1 = 17,3 \sqrt{\frac{7x48,85}{5x55,85}} m$$

$$F_1 = 19,14 m$$

Perhitungan Koreksi Ketinggian

Faktor koreksi terhadap kelengkungan bumi pada titik *obstacle* tertinggi sesuai dengan persamaan :

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

$$h_k = \frac{7 \times 48,85}{12,75 \times 1,33} m$$

$$h_k = 20,165 m$$

Perhitungan High Clearance

Kondisi lintasan dalam *link* Simpang Lubuk – Pulau Pongok merupakan kontur perbukit dan laut dengan perkiraan ketinggian pepohonan 20 meter sehingga tinggi *obstacle* bertambah 20 meter. Maka *high clearance* di peroleh dengan persamaan sebagai berikut :

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

$$h_c = \frac{115 \times 48,85 + 60 \times 7}{55,85} - 20,165 - 65$$

$$h_c = 22,941 m$$

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 :

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

$$FSL = 32,44 + 20 \text{ Log } 5000 \text{ (MHz)} + 20 \text{ Log } 55,85 \text{ (km)}$$

$$FSL = 32,44 + 73,98 + 34,94$$

$$FSL = 141,36 \text{ dB}$$

- Redaman Brancing Circuit (*L_b*) diasumsikan 1 dB
- Redaman feeder (*L_f*) diasumsikan (3dB/100)
- Perhitungan redaman atmosfer (*L_{atm}*)

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

$$L_{atm} = 0,0524 \times 55,85 \text{ dB}$$

$$L_{atm} = 2,92 \text{ dB}$$

- 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 :

$$L_{rain} = IRd_{eff} \text{ dB}$$

$$IR = K \times R^\alpha$$

$$d_{eff} = d \cdot r$$

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

dimana :

K : Faktor iklim

R : Curah hujan

$\alpha : 1.332$
 $d_0 : 7.810$

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 :

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

dimana :

P_L : variabel iklim (%)

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

$$K_i = 5.0 \times 10^{-7} \times 10^{0.1(3.5-0-0)} \times 20^{1.5}$$

$$K_i = 0.000019976$$

$$K_{cl} = 2,3 \times 10^{-4} \times 10^{0,1C_o - 0,01 \lceil \xi \rceil}, \xi = 0$$

$$K_{cl} = 2,3 \times 10^{-4} \times 10^{0,1(3,5 - 0,01 \lceil 0 \rceil)}$$

$$K_{cl} = 2,3 \times 10^{-4} \times 10^{0,1C_o - 0,01 \lceil \xi \rceil}$$

$$K_{cl} = 0.0005149059$$

$$K = 10^{(1-r_c) \log K_i + r_c \log K_{cl}}$$

$$K = 10^{(1-0.9) \log 0.000019976 + 0.9 \log 0.0005149059}$$

$$K = 0.000372$$

$$IR = K \times R^\alpha$$

$$IR = 0.000372 \times 1451.332$$

$$IR = 0.281546 \text{ dB/Km}$$

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

$$r = \frac{1}{1 + 55,85 / 7.810}$$

$$r = 0.1373779$$

$$d_{eff} = d \cdot r$$

$$d_{eff} = 7,67 \text{ Km}$$

$$L_{rain} = IR \times d_{eff}$$

$$L_{rain} = 0,281546 \times 7,67 \text{ dB}$$

$$L_{rain} = 2,15945782 \text{ dB}$$

Maka akan diperoleh redaman transmisi yaitu :

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

dimana : L_o diasumsikan 0

$$L_{transmisi} = 141,36 + 1 + (3/100) + 2,92$$

$$L_{transmisi} = 144,31 \text{ dB}$$

– Perhitungan *Gain* Antena

Diameter antena yang digunakan pada link ini adalah 4,6 meter

$$G = 10 \text{Log} \left[\frac{(\lambda d)^2 P}{\lambda^2} \right] \text{dB}$$

$$G = 44,62 \text{ dB}$$

dimana :

d : Diameter antena (m)

P : Efisiensi antena dalam prosentase, nilai khas antara 0.4 – 0.8

λ : Panjang gelombang (m)

Gain total dari penjumlahan gain pada antena dan gain pada perangkat. Data dari perangkat di peroleh penguatan (gain) sebesar 33 dBm. Maka diperoleh gain totalnya adalah :

$$G_{total} = G_{ATX} + G_{ARX} + G_{TX}$$

$$G_{total} = 44,62 \text{ dBi} + 44,62 \text{ dBi} + 45 \text{ dBm}$$

$$G_{total} = 134,24 \text{ dBm}$$

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 :

$$RSL = G_{total} - L_{transmisi}$$

$$RSL = 134,24 \text{ dBm} - 144,31 \text{ dB}$$

$$RSL = -10,07 \text{ dBm}$$

Perhitungan Flat Fading Margin (FFM)

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

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

dimana :

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

$$FFM = -10,07 \text{ dBm} - (-74,60 \text{ dBm})$$

$$FFM = 64,53 \text{ dB}$$

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 :

$$P_t \leq (280/2500) \times 0.4 \%$$

$$P_t \leq 0,0448\%$$

$$P_t \leq 0,000448$$

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 :

$$AV \geq (100 - P_o) \%$$

$$AV \geq (1 - 0,00448)$$

$$AV \geq 0,999252$$

– 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 :

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

dimana :

- P_L : variabel iklim (%)
- C_o ; C_{lat} ; C_{Lon} : tetapan (dB)
- $K_i = 5.0 \times 10^{-7} \times 10^{0.1(3.5 - 0 - 0)} 20^{1.5}$
- $K_i = 0.000019976$
- $K_{cl} = 2,3 \times 10^{-4} \times 10^{0.1(C_o - 0,01 \lceil \xi \rceil)}$

$$K_{cl} = 2,3 \times 10^{-4} \times 10^{0,1(3,5-0,01 f_0)}$$

$$K_{cl} = 0.0005149059$$

$$K = 10^{(1-rc)\log K_i + rc \log K_{cl}}$$

$$K = 0.000372054$$

- Perhitungan *Magnitudo Kemiringan Lintasan*

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

dimana :

$h_r; h_e$: Tinggi antena terhadap permukaan laut (m)

d : Jarak *radio link* (Km)

$$|\varepsilon p| = \frac{|126 - 127|}{55,85} \text{ mrad}$$

$$|\varepsilon p| = 0,0179 \text{ mrad}$$

- Perhitungan P_w

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

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)

$$P_w = 0,000372 \times 55,85^{3,6} \times 5^{0,89} \times (1 + |0,0179|)^{-1,4} \times 10^{-64,53/10}$$

$$P_w = 0,0010426 \%$$

Perhitungan *Probabilitas Outage Non-Selective*

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

$$P_{ns} = \frac{0,00012780}{100}$$

$$P_{ns} = 0,00001278$$

- Perhitungan *Multipath Occurance*

$$P_0 = \frac{P_w}{100} \text{ dengan } A = 0 (\%).$$

$$P_0 = \frac{0.000372 \times 55,85^{3,6} \times 5^{0,89} \times (1 + |0,0179|)^{-1,4} \times 10^{0/10}}{100}$$

$$P_0 = 29,5888$$

- Perhitungan *Multipath Activity*

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

$$\eta = 1 - \exp(-0,2 \times 29,58^{0,75})$$

$$\eta = 0.9209$$

- Perhitungan *Mean Time Delay*

$$\tau_m = 0.7 \left(\frac{d}{50} \right)^{1.3}$$

$$\tau_m = 0.7 \left(\frac{55,85}{50} \right)^{1.3}$$

$$\tau_m = 0.80828 \text{ ns}$$

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 :

$\eta = 0.9209$; $\tau_m = 0,80828 \text{ ns}$; $W_M = 0.024 \text{ GHz}$; $W_{MN} = 0.024 \text{ GHz}$; $B_M = 32$;
 $B_{MN} = 25$; $\tau_r, M = \tau_r, MN = 6.3$;

dimana :

- η : parameter multipath activity
- W_m : minimum phase signature width
- W_{MN} : non minimum phase signature width
- B_M : minimum pahse notch depth
- B_{MN} : non minimum pahse notch depth
- τ_r : reference time delay of signature curve
- τ_m : mean time delay

$$P_s = 2,15(0,9209) \left(0,024 \times 10^{-32/20} \times \frac{2,333872^2}{6,3} + 0,24 \times 10^{-25/20} \times \frac{2,333872^2}{6,3} \right)$$

$$P_s = 0,0027896$$

- Perhitungan Probabilitas Outage Total

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

$$P_t = 0,000010426 + 0,0027896$$

$$P_t = 0,00280026$$

- Perhitungan Availability

$$A_v = 1 - P_t$$

$$A_v = 1 - 0,00280026$$

$$A_v = 0,99719974$$

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 $L \leq 280 \text{ Km}$ adalah :

$$P_t \leq (280/2500) \times 0.4 \%$$

$$P_t \leq 0,0448\%$$

$$P_t \leq 0,000448$$

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 :

$$A_v \geq (100 - P_o) \%$$

$$A_v \geq (1 - 0,00448)$$

$$A_v \geq 0,999252$$

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

- Perhitungan Probabilitas Outage Dengan Teknik Space Diversity

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

$$V = |G_1 - G_2|$$

$$V = 0$$

$$P_0 = \frac{P_w x 10^{A/10}}{100}$$

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

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

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

dimana :

P_L : variabel iklim (%)

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

$$K_i = 5.0 x 10^{-7} x 10^{0.1(3.5 - 0 - 0)} 20^{1.5}$$

$$K_i = 0.000019976$$

$$K_{cl} = 2,3x10^{-4} x 10^{0.1C_o - 0.01|\xi|}, \xi \text{ (latitude)}=0$$

$$K_{cl} = 2,3x10^{-4} x 10^{0.1(3.5 - 0,01|0|)}$$

$$K_{cl} = 0.0005149059$$

$$K = 10^{(1-rc)\log K_i + rc\log K_{cl}}$$

$$K = 0.000372054$$

- 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)

$$|\epsilon p| = \frac{126 - 127}{55,85} \text{ mrad}$$

$$|\epsilon p| = 0,0179 \text{ mrad}$$

- Perhitungan P_w

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

$$P_w = 0,0010426 \%$$

- Perhitungan *Multipath Occurance*

$$P_0 = \frac{P_w x 10^{A/10}}{100} .$$

$$P_0 = 29,588$$

- Perhitungan *Multipath Activity*

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

$$\eta = 0,921$$

- Perhitungan *Improvement Factor*

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

dimana :

- S : jarak pemisahan antar antenna penerima (m)
- f : frekuensi (GHz)
- d : jarak radio link (Km)
- P_o : faktor multipath occurrence
- A : flat fading margin
- $G_1 ; G_2$: gain pada kedua antenna (dBi)

$$I_{ns} = \left[1 - \exp\left(-3,34 \times 10^{-4} 10^{0,87} 5^{-0,12} 55,85^{0,48} 29,588^{-1,04}\right) \right] \times 10^{(64,53-0)/10}$$

$$I_{ns} = 3,38844$$

- Perhitungan Kuadrat Koefisien Korelasi Non-selective

$$K_{ns}^2 = 1 - \frac{I_{ns} \times P_{ns}}{\eta}$$

dimana:

- I_{ns} : improvement factor
- P_{ns} : probabilitas outage non-selective
- η : parameter multipath activity

$$K_{ns}, S^2 = 1 - \frac{I_{ns} \times P_{ns}}{\eta}$$

$$K_{ns}, S^2 = 1 - \frac{3,38844 \times 0,000010426}{0,921}$$

$$K_{ns}, S^2 = 0,9999617$$

- Perhitungan Koefisien Korelasi Relative Amplitude

$$r_w = 1 - 0,6921(1 - K_{ns}, S^2)^{1,034}, \text{ untuk } K_{ns}, S^2 \geq 0,26$$

$$r_w = 1 - 0,6921(1 - 0,9999617)^{1,034}$$

$$r_w = 0,9999892751$$

- Perhitungan Kuadrat Koefisien Selective

$$K_s^2 = 1 - 0,3957(1 - r_w)^{0,5136}$$

$$K_s^2 = 1 - 0,3957(1 - 0,9999892751)^{0,5136}$$

$$K_s^2 = 0,9988908864$$

- Perhitungan Probabilitas Outage Non-Selective

$$P_{dns} = \frac{P_{ns}}{I_{ns}}$$

$$P_{dns} = \frac{0,000010426}{3,38844}$$

$$P_{dns} = 0,0000030769321$$

- Perhitungan Mean Time Delay

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

$$\tau_m = 0,7 \left(\frac{55,85}{50} \right)^{1,3}$$

$$\tau_m = 0,8082899241 \text{ ns}$$

- Perhitungan Probabilitas Outage Selective

$$P_{ds} = \frac{P_s^2}{\eta(1 - K_s^2)}$$

$$P_{ds} = \frac{0,0027896^2}{0,921(1 - 0,9988908864)}$$

$$P_{ds} = 0,0007654165235$$

- Perhitungan Probabilitas Outage Total

$$P_d = (P_{dns}^{0,75} + P_{ds}^{0,75})^{1,33}$$

$$P_d = (0,0000030769321^{0,75} + 0,0007654165235^{0,75})^{1,33}$$

$$P_d = 0,000795860116$$

- Perhitungan Availability

$$Av = 1 - P_d$$

$$Av = 1 - 0,000795860116$$

$$Av = 0,9992641399$$

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,002800
Availability	0,997199
ITU-R Outage Objective	0,000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000795
Availability	0,999264
ITU-R Outage Objective	0,000448
ITU-R Availability	0,999252

TABEL Microwave Worksheet Simpang Lubuk – Pulau Pongok 5GHz

	Satuan	Simpang Lubuk	Pulau Pongok
Elevation	(m)	11	67
Latitude		106 39 36.40 E	107 02 45.00 E
Longitude		02 33 32.10 S	02 52 45.99 S
True Azimuth	(°)	129,58	309,56
Antenna height	(m)	115	60
Antenna Gain	(dBi)		44,62
Frequency	(MHz)		5000
Polarization			Horizontal
Path length	(Km)		55,85
Free space loss	(dB)		141,36
Atmospheric loss	(dB)		2,92
TX power	(watt)		31,6
TX power	(dBm)		45
EIRP	(dBm)		89,62
RX threshold criteria			BER 10 ⁻⁶
RX threshold level	(dBm)		-74,6
RX signal	(dBm)		-10,07
Geoclimatic factor			0,000372054
Occurance factor			29,588
Rain Rate	(mm/hr)		145
Rain Attenuation	(dB)		2,15
Flat Fade Margin	(dB)		64,53
Path inclination	(mrad)		0,0179

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

Radio Link Pulau Pongok – Pulau Nasik

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000808
Availability	0,999191
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999252

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000353
Availability	0.999646
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999252

TABEL Microwave Worksheet Pulau Pongok – Pulau Nasik 5GHz

	Satuan	Pulau Pongok	Pulau Nasik
Elevation	(m)	11	67
Latitude		02° 52' 45.99" S	02° 44' 11.00" S
Longitude		107° 02' 45.00" E	107° 39' 25.00" E
True Azimuth	(°)	84,51	264,49
Antenna height	(m)	75	70
Antenna Gain	(dBi)	44.62	
Frequency	(MHz)	5000	
Polarization		Horizontal	
Path length	(Km)	41,71	
Free space loss	(dB)	138,819	
Atmospheric loss	(dB)	2	
TX power	(watt)	33	
TX power	(dBm)	45	
EIRP	(dBm)	89.62	
RX thershold criteria		BER 10 ⁻⁶	
RX thershold level	(dBm)	-74.6	
RX signal	(dBm)	-7,789	
Geoclimatic factor		0.000372054	
Occurance factor		9,932	
Rain Rate	(mm/hr)	145	
Rain Attenuation	(dB)	2,15	
Flat Fade Margin	(dB)	66,81	
Path inclination	(mrad)	0,0479	

Radio Link Pulau Nasik – Tanjung Pandan

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Tanpa Menggunakan Diversitas

Probabilitas Outage Total	0,000569
Availability	0,999430
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999552

TABEL Hasil Analisa Perhitungan Menggunakan Teknik Diversitas

Probabilitas Outage Total	0, 0,0007
Availability	0.999289
ITU-R Outage Objective	0.000448
ITU-R Availability	0.999552

Tabel Microwave Worksheet Pulau Nasik – Tanjung Pandan 5GHz

	Satuan	Pulau Nasik	Tanjung Pandan
Elevation	(m)	69	25
Latitude		02° 50' 35.90" S	02° 44' 11.00" S
Longitude		107° 25' 09.40" E	107° 39' 25.00" E
True Azimuth	(°)	65,90	245,89
Antenna height	(m)	50	90
Antenna Gain	(dBi)	44.62	
Frequency	(MHz)	5000	
Polarization		Horizontal	
Path length	(Km)	28,95	
Free space loss	(dB)	135,65	
Atmospheric loss	(dB)	1,51	
TX power	(watt)	2	
TX power	(dBm)	33	

EIRP	(dBm)	78,42
RX threshold criteria		BER 10 ⁻⁶
RX threshold level	(dBm)	-74,6
RX signal	(dBm)	-3,95
Geoclimatic factor		0,000372054
Occurance factor		2,4
Rain Rate	(mm/hr)	145
Rain Attenuation	(dB)	1,72
Flat Fade Margin	(dB)	70,65
Path inclination	(mrad)	0,13

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

KESIMPULAN

Berdasarkan apa yang telah ditulis dan menganalisa permasalahan, penulis memberikan kesimpulan sebagai berikut untuk menghubungkan Pulau Bangka – Pulau Belitung dibutuhkan 3 Hop.

No.	Site A	Site B	Pt	Av	Keterangan
1.	Simpang Lubuk	Pulau Pongok	0,000795	0,999264	LOS, menggunakan teknik diversitas
2.	Pulau Pongok	Pulau Nasik	0,000353	0,999646	LOS, menggunakan teknik diversitas
3.	Pulau Nasik	Tanjung Pandan	0,00007	0,999289	LOS, menggunakan teknik diversitas

Dalam penghitungan radio link harus memperhatikan parameter – parameter yang mempengaruhi radio link itu sendiri. FSL (*free Space Loss*), Redaman dan Obstacle daerah tersebut dan Gain antenna. Dengan hasil penghitungan power link budget, kita dapat mengetahui besarnya daya pancar yang diterima receiver dan loss propagation maximum.

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”.