



Analisis Perencanaan Transmisi *Microwave Link* antara Semarang-Magelang untuk *Radio Access Long Term Evolution (LTE)*

Analysis of Semarang-Magelang Microwave Link Transmission Planning for Radio Access Long Term Evolution (LTE)

Ignatius Daru Kristiadi¹, Muhammad Imam Nashiruddin²

^{1,2}Center for Regulation & Management of Telecommunication (CRMT), School of Electrical Engineering, Telkom University

^{1,2}Jalan Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Indonesia

email: ignatiusdaru@student.telkomuniversity.ac.id, zimamnashir@telkomuniversity.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah diterima 31 Mei 2019

Direvisi 5 Desember 2019

Disetujui 6 Desember 2019

Keywords:

Network Planning

Microwave

Backhaul

Long Term Evolution (LTE)

Telecommunication Management

ABSTRACT

Telecommunication technology that is widely used to communicate in the internet era today is Long Term Evolution (LTE) technology. In carrying out LTE services, the link is needed between the access network and the core or commonly known as backhaul. One of the backhaul widely used to connect a communication link is a microwave backhaul. The application of a microwave link uses extensively for the line of sight (LOS) communication. Therefore, this microwave link planning is not easy because there will be many factors that influenced the communication link, include barriers, fading, attenuation, noise, and distance. In this research, microwave link planning will be carried out between the Semarang City and the Magelang City using three scenarios. The first scenario conducted by using single-hop or direct communication, the second scenario using an active repeater, then the third scenario using the passive repeater. The last result shows that the most suitable scene to be applied in the Semarang-Magelang microwave link is the second scenario. Using active repeater, which reflecting and amplifying the Tx site signal towards the Rx site, is considered to be a solution for the link trajectory, which contained high obstacle and great distance. Using the second scenario from this research, showing that the signal power at Semarang and Magelang site is -54,67 dBm and -48,66 dBm. These signals are above both of Rx threshold site, that is -67,50 dBm.

ABSTRAK

Teknologi telekomunikasi yang banyak dimanfaatkan untuk berkomunikasi di era internet saat ini adalah teknologi *Long Term Evolution (LTE)*. Dalam menyelenggarakan layanan LTE, diperlukan suatu penghubung antara jaringan akses dengan *core* yang biasa dikenal dengan istilah *backhaul*. Salah satu *backhaul* yang biasa digunakan untuk menyambungkan suatu *link* komunikasi ini adalah *backhaul microwave*. Penerapan dari *link microwave* ini biasa digunakan untuk komunikasi *line of sight (LOS)*. Oleh karena itu, perencanaan *link microwave* ini tidak mudah karena akan ada banyak faktor yang mempengaruhi *link* komunikasi ini, diantaranya: penghalang, *fading*, atenuasi, *noise* maupun jarak. Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan *link microwave* antara Kota Semarang dengan Kota Magelang dengan 3 skenario. Skenario pertama dilakukan dengan komunikasi langsung *singlehop*, skenario kedua dengan memanfaatkan *repeater* aktif, dan skenario ketiga dilakukan dengan *repeater* pasif. Hasil akhir menunjukkan bahwa skenario yang paling sesuai untuk diimplementasi pada *link microwave* Semarang-Magelang ini adalah skenario kedua. Penggunaan *repeater* aktif yang memantulkan dan menguatkan sinyal *site Tx* menuju *site Rx* ini mampu menjadi solusi untuk lintasan *link* yang terdapat *obstacle* dan berjarak sangat jauh. Penggunaan skenario 2 dalam penelitian ini menunjukkan kekuatan *signal* di site Semarang dan Magelang adalah masing-masing -54,67 dBm dan -48,66 dBm. Kekuatan sinyal ini berada di atas *Rx threshold* pada kedua site, yaitu -67,50 dBm.

Kata kunci :

Perencanaan Jaringan

Gelombang Mikro

Jaringan Penghubung

Long Term Evolution (LTE)

Manajemen Telekomunikasi

1. Pendahuluan

Teknologi telekomunikasi yang paling banyak digunakan untuk mendukung akses internet saat ini adalah teknologi *long term evolution* (LTE). Adanya teknologi LTE ini tidak hanya berdampak pada masyarakat perkotaan (urban) saja melainkan juga masyarakat rural maupun suburban (APJII, 2017). Dalam penyelenggaraan akses jaringan LTE diperlukan suatu penghubung dari bagian *core* ke bagian *site* akses jaringan atau biasa disebut dengan *backhaul* untuk menjangkau wilayah urban, suburban dan rural. Salah satu teknologi penghubung (*backhaul*) yang biasa digunakan dalam menyelenggarakan jaringan seluler LTE adalah *backhaul microwave*.

Jaringan *microwave* merupakan jaringan *wireless* yang memanfaatkan frekuensi sangat tinggi yang biasanya dipergunakan untuk menghubungkan kedua *base station* seluler (Hikmaturokhman, Wahyudin, Yuchintya, & Nugraha, 2017). *Microwave* dalam penerapannya menjalankan komunikasi *point-to-point*. Oleh karena itu, dalam berkomunikasi antara satu *site* dengan *site* yang lain diusahakan bersifat *line-of-sight* (LOS). Namun, pada kenyataannya kondisi LOS ini sangat jarang ditemui karena ada berbagai kendala, salah satunya objek penghalang (*obstacle*) yang disebabkan karena tidak rata kontur tanah, adanya pepohonan maupun bangunan di sekitar wilayah *site* ketika memancar (Jones, Collapelle, Lauand, & Kopp, 2018).

Oleh karena itu, perencanaan jaringan *link microwave* merupakan hal penting untuk implementasi *backhaul* jaringan LTE seluler. Perencanaan *link microwave* kali ini akan dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Pathloss 5.0. Dalam melakukan simulasi perencanaan, biasanya dipergunakan data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), di mana SRTM merupakan *database* yang memberikan akses data ketinggian suatu wilayah di peta (topografi). Dengan memanfaatkan peta ini, perencanaan dilakukan dengan perhitungan teoritis kinerja *end-to-end* untuk jalur komunikasi di bawah serangkaian kondisi wilayah tertentu. Parameter penting yang diperhitungkan dalam simulasi ini adalah *link budget*, di mana parameter ini akan digunakan untuk memprediksi kinerja *link* sebelum digunakan untuk berkomunikasi.

Salah satu faktor yang mempengaruhi *Link Budget* adalah *pathloss*, dimana faktor ini disebabkan oleh jarak yang terlalu jauh, curah hujan, redaman, *noise* dan butiran-butiran debu (Elhabashi, Elemgri, Aldeeb, & Elhabashi, 2017; Mohanty, Singh, & Tiwari, 2016). Ada banyak model yang digunakan untuk memperkirakan *pathloss*, yang paling umum adalah *Free Space Loss*, Hata, Lee, serta Okumura. Model *pathloss* ini digunakan untuk memprediksi *loss* dan daya terima yang diterima oleh *site receiver* (Thakur & Kamboj, 2016).

Dalam penelitian ini akan dilakukan perencanaan transmisi *microwave* pada *link* Kota Semarang-Kota Magelang. Di mana kedua kota ini dipisahkan dengan dataran tinggi dan pegunungan yang menjadi tantangan tersendiri dalam melakukan perencanaan *link microwave*. Selain itu tingkat kelembaban dan curah hujan yang cukup tinggi pada daerah pegunungan yang menjadi jalur *link* Semarang-Magelang akan berdampak juga dalam kualitas *link* tersebut (Manjunath & Raju, 2015).

Oleh karena itu, perencanaan *link microwave* Kota Semarang-Magelang ini perlu diperhitungkan secara matang, mengingat tantangan yang dihadapi tidak mudah dalam implementasinya. Dalam perencanaan komunikasi *link microwave* ini perlu dipertimbangkan kondisi kontur tanah, kondisi kelembaban, dan curah hujan suatu wilayah yang akan dibangun suatu *site microwave*. Pertimbangan kontur tanah ini perlu karena dapat menyebabkan terjadinya *multipath fading* yang dapat mengganggu sinyal yang diterima dan dipancarkan oleh suatu *site* (Goktas, Topcu, Karasan, & Altintas, 2015). Sementara, kondisi curah hujan dan kelembaban akan berpengaruh pada redaman yang diterima oleh sinyal *link* komunikasi tersebut.

Multipath fading dan redaman ini akan menyebabkan penurunan beberapa parameter teknis seperti *availability*, meningkatkan BER yang akan berdampak pada turunnya kualitas jaringan tersebut (Lawrence & Sunday, 2017). Selain, *multipath fading* hal lain yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan *link microwave* adalah permasalahan redaman dan *noise*. Hal ini perlu dipertimbangkan karena penggunaan frekuensi yang sangat tinggi pada radio *link microwave* menyebabkan redaman dan *noise* yang sangat

tinggi juga. Pertimbangan aspek ini dapat menyebabkan dampak domino ke aspek lainnya, yaitu jarak. Jika penggunaan frekuensi *link microwave* terlalu tinggi, menyebabkan pancaran gelombang menjadi pendek. Pendeknya pancaran *site transmitter* kepada *site receiver* menyebabkan daya yang diterima pada *site receiver* nantinya akan lemah. Jika daya yang diterima berada dibawah daya *threshold* perangkat pada *receiver* maka akan menyebabkan kualitas dan tingkat sinyalnya buruk.

Dampak berikutnya untuk mengatasi hal tersebut, maka *transmitter* dapat ditingkatkan dayanya, peningkatan daya ini tentu menyebabkan sistem menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, dalam melakukan perencanaan *link microwave* Kota Semarang- Kota Magelang ini pengelolaan aspek teknis (*link budget*) dan non-teknis (keterjangkauan lokasi) menjadi sangat penting untuk dipertimbangkan dengan tepat.

Penelitian ini bertujuan memberikan pemahaman tentang bagaimana merencanakan komunikasi *link microwave* Semarang-Magelang melalui 3 skenario. Skenario pertama dilakukan dengan merencanakan *link microwave* secara langsung antara *site* Semarang-Magelang (*singlehop*), skenario kedua dengan memanfaatkan *repeater* aktif, dan skenario ketiga dengan memanfaatkan *repeater* pasif. Kontribusi hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk mengembangkan perspektif strategi bagi operator dalam merencanakan *backhaul microwave* khususnya di Kota Semarang dan Magelang. Serta, dapat juga dimanfaatkan untuk regulator dalam membuat regulasi teknis berkaitan dengan perencanaan *link microwave*.

Penulisan penelitian ini dibagi ke dalam 5 bagian. Bagian pertama adalah pendahuluan, bagian kedua adalah tinjauan pustaka, bagian ketiga adalah metode penelitian, bagian keempat adalah hasil penelitian dan pembahasan, dan terakhir, kesimpulan dan saran pada bagian kelima.

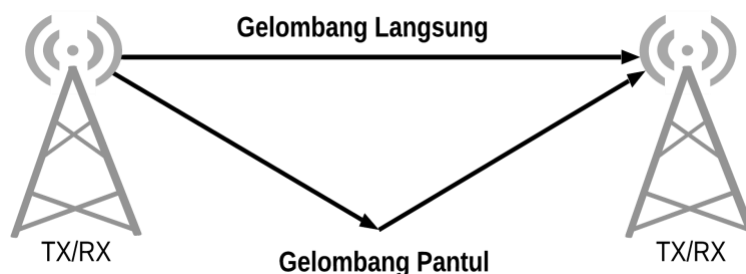
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Komunikasi Gelombang Mikro

Sistem komunikasi Gelombang Mikro terdiri atas dua bagian pokok, yaitu pemancar (Tx) dan penerima (Rx). Pemancar terdiri atas modulator dan antena pemancar, sedangkan penerima terdiri atas demodulator dan antena penerima. Modulator berfungsi memodulasi sinyal informasi dan sinyal *carrier* menjadi sinyal yang akan dipancarkan melalui antena pemancar. Antena merupakan suatu sarana atau piranti untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik sebagai pemancar. Sinyal elektromagnetik inilah yang akan dipancarkan melalui udara atau ruang bebas. Sinyal yang dipancarkan oleh antena pemancar akan ditangkap oleh antena penerima.

Dalam hal sebagai penerima sinyal, antena merupakan suatu sarana atau piranti pengubah sinyal elektromagnetik menjadi sinyal listrik kembali. Demodulator pada bagian penerima akan mendemodulasi (yaitu proses balik dari modulasi) sinyal listrik menjadi sinyal informasi seperti aslinya. Agar antena dapat bekerja dengan efektif, maka dimensi antena harus merupakan kelipatan (orde) tertentu dari panjang gelombang radio yang digunakan (misalnya antena $\frac{1}{4} \lambda$, antena $\frac{1}{2} \lambda$ dan lain-lain).

Penggunaan antena tentu sangat penting untuk sistem komunikasi berbasis *wireless*, termasuk komunikasi radio *microwave*. Tujuan dari sistem komunikasi radio *microwave* adalah mentransmisikan informasi dari satu tempat ke tempat lain tanpa adanya interupsi dan sampai ke penerima secara langsung. Karakteristik yang terdapat pada hubungan gelombang mikro adalah antara antena pemancar dan antena penerima harus bebas pandang (*line of sight/LOS*) seperti diperlihatkan dalam Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Ilustrasi propagasi LOS (Sharma & Nanglia, 2016)

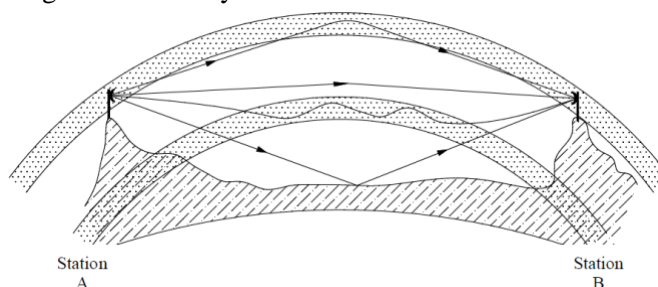
Hal tersebut dapat dipahami bahwa antar antena harus tidak ada penghalang (*obstacle*), yaitu sesuatu yang menghalangi atau menutupi lintasan perambatan gelombang mikro. Sistem komunikasi radio juga harus mempertimbangkan hal-hal penting yaitu pertimbangan LOS (*Line Of Sight*), redaman, dan *link budget*. Faktor kontur bumi juga berpengaruh pada kualitas atau performansi dari *microwave radio link*.

Lingkungan pada sistem komunikasi umumnya mempunyai sejumlah *obstacle* yang tidak tentu, biasanya berupa pohon, gedung, dan lainnya sehingga pantulan, difraksi, dan hamburan akan sangat berpengaruh terhadap propagasi gelombang radio.

2.2 Fading

Fading merupakan fluktuasi daya di penerima dalam propagasi radio. *Fading* terjadi akibat interferensi atau superposisi gelombang *multipath* yang memiliki amplitude dan fasa yang berbeda-beda, sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2.

Pada umumnya, sinyal yang diterima pada titik penerima merupakan hasil penjumlahan dari sinyal langsung tanpa halangan (sinyal LOS) dan sejumlah sinyal yang terpantul dari berbagai objek. Adapun sinyal mengalami pemantulan (refleksi) disebabkan oleh permukaan kontur tanah, bangunan, pepohonan, dan obyek lain yang menghalangi transmisi sinyal.

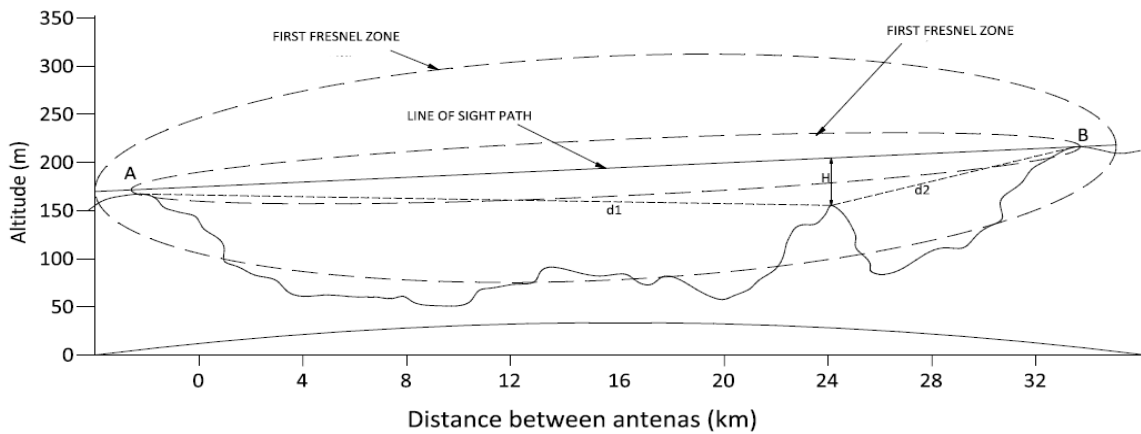
Gambar 2. *Multipath Fading* pada *link microwave* (Freeman, 2007)

2.3 Parameter *Link Budget*

Dalam melakukan perencanaan *link microwave* hal yang perlu dipertimbangkan dan perhitungkan adalah pengelolaan kebutuhan daya yang akan dipancarkan maupun batas daya yang dapat diterima pada penerima. Pengelolaan ini biasa juga disebut dengan istilah *link budget*. Beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan *link microwave* agar dapat bekerja dengan spesifikasi yang diinginkan dalam berbagai kondisi yang terjadi di suatu wilayah *site* tertentu akan dibahas berikut ini.

2.3.1 *Fresnel Zone* dan *Clearance Factor*

Fresnel zone adalah tempat kedudukan titik sinyal tidak langsung yang berbentuk elips dalam lintasan propagasi gelombang radio dimana daerah tersebut dibatasi oleh gelombang tak langsung (*indirect signal*), sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Fresnel zone link microwave LOS

Dalam perancangan *link radio microwave*, *fresnel zone 1* merupakan area yang paling mendapat perhatian. Adapun *fresnel zone ke-n* dapat dimodelkan secara matematis sebagai berikut.

$$R_n = 17,3 \sqrt{\frac{n}{f(\text{GHz})} \left(\frac{d_1(\text{km}) \cdot d_2(\text{km})}{d_1(\text{km}) + d_2(\text{km})} \right)} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- Rn : jari-jari fresnel ke-n (m).
- d1 : jarak ujung lintasan (pemancar ke penghalang (km)
- d2 : jarak ujung lintasan lain (penghalang ke penerima) (km),
- f : frekuensi (Ghz).

Untuk mendapatkan lintasan radio yang bebas dari redaman difraksi, minimal 60% dari jari-jari *fresnel zone 1* harus bebas dari penghalang. Kondisi ini biasa juga diebut dengan istilah *clearance factor*. Pada kondisi atmosfer normal, *clearance* sebesar 60% sudah cukup untuk memenuhi kriteria *free space propagation*. Adapun, permodelan dari *clearance factor* ini dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$CF = 0,6 \times R_1 + h_{\text{koreksi}} \dots\dots\dots(2)$$

$$h_{\text{koreksi}(m)} = \frac{0,079 \cdot d_{1(km)} \cdot d_{2(km)}}{k} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- CF : *Clearance Factor*
- R1 : Jari-jari *Fresnel Zone ke-1*
- h_{koreksi} : Simpangan Ketinggian *obstacle* (opsional)

Pada persamaan (2) terlihat bahwa faktor dari *clearance factor* tidak hanya ditentukan oleh variable 60% *fresnel zone 1* saja melainkan juga tinggi koreksi (h_{koreksi}). Hal ini dimaksudkan untuk memberikan ruang yang lebih besar untuk mengantisipasi terjadinya *fading*. Namun, keberadaan faktor tinggi koreksi ini bersifat opsional karena dengan menggunakan 60% *fresnel zone 1* sudah cukup untuk mengantisipasi terjadinya *fading*.

Sementara itu, karena perhitungan *clearance factor* (CF) ini berguna untuk memberikan jarak estimasi ketinggian *obstacle* total untuk mengantisipasi terjadinya *multipath* pada *link microwave*, maka variabel ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui ketinggian minimal antenna pada Tx dan Rx dalam merencanakan *site microwave* jika diasumikan kedua *site* memiliki tinggi antenna yang sama.

$$h = \frac{h_o(d_1 + d_2) - ((d_1 \times h_2) + (d_2 \times h_1))}{d_1 + d_2} \dots\dots\dots(4)$$

$$h_o = h_{\text{pohon/bangunan}} + CF + h_{\text{kanturobstacle}} \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

- h : tinggi minimum kedua antenna antenna (m)
- h_o : tinggi total *obstacle* (m)
- h₁ : tinggi permukaan tanah pada sisi Tx (m)
- h₂ : tinggi permukaan tanah Rx (m)
- d₁ : jarak Tx ke *obstacle* (km)
- d₂ : jarak Rx ke *obstacle* (km)

2.3.2 Free Space Loss

Free Space Loss merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya penurunan daya pada sinyal yang dipancarkan dalam suatu lintasan/ *link* komunikasi di ruang bebas. Parameter *free space loss* ini dapat dimodelkan ke dalam bentuk matematis sebagai berikut.

$$FSL = 92,45 + 20 \log D_{(km)} + 20 \log f_{(GHz)} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana:

- D : jarak antara Tx dan Rx dalam suatu lintasan (km)
- F : frekuensi (GHz).

2.3.3 Redaman Hujan

Tetes-tetes hujan menyebabkan penghamburan dan penyerapan energi gelombang radio yang akan menghasilkan redaman yang disebut redaman hujan. Besarnya redaman tergantung pada besarnya curah hujan dan kelembaban udara. Fenomena hujan cenderung terjadi pada daerah tertentu, tidak semua lintasan radio yang mengalami hujan (Kantor & Bito, 2015). Biasanya curah hujan yang tinggi berada pada wilayah yang memiliki kelembaban udara yang tinggi.

2.3.4 Effective Isotropically Radiated Power (EIRP) dan Isotropic Received Level (IRL)

EIRP merupakan parameter dari daya efektif yang dipancarkan oleh antenna/ *access point* di suatu wilayah tertentu. EIRP ini terjadi karena daya yang berasal dari sumber catuan pemancar mengalami *loss* atau pengurangan daya pada perangkat keras di sisi Tx (L_{Tx}) dan beberapa juga mengalami penguatan pada beberapa perangkat pada blok Tx (G_{Tx}). Hal ini terjadi sebagai akibat jenis bahan yang ada pada perangkat tersebut. Adapun, EIRP ini dapat dimodelkan sebagai berikut.

$$EIRP = P_{Tx} - L_{Tx} + G_{Tx} \dots\dots\dots(7)$$

Di mana:

- EIRP : *Effective Isotropically Radiated Power* (dBm)
- P_{Tx} : Power Sumber Catuan Tx (dBm)
- L_{Tx} : *Loss* total perangkat Tx (dB)
- G_{Tx} : *Gain* total perangkat Tx (dB)

Sementara itu, daya EIRP yang dipancarkan selama merambat pada ruang bebas akan mengalami *loss* juga yang disebabkan oleh FSL. Sehingga, ketika mencapai sisi *receiver* daya isotropis tersebut akan mengalami penurunan. Besarnya daya isotropis yang mencapai antenna Rx ini biasa disebut dengan istilah *Isotropic Received Level* (IRL). Adapun, permodelan IRL dapat ditulis sebagai berikut.

$$IRL_{(dBm)} = EIRP_{(dBm)} - FSL_{(dB)} \dots\dots\dots(8)$$

Di mana:

- IRL : *Isotropic Received Level* (dBm)
- FSL : *Free Space Loss* (dB)

2.3.5 Received Signal Level (RSL)

Receive Signal Level (RSL) merupakan suatu tingkat sinyal yang diterima di perangkat penerima dan nilainya harus lebih besar dari sensitivitas perangkat penerima (*Received Sensitivity/ threshold*). Daya

yang diterima pada antenna Rx (IRL) yang masuk ke blok sistem Rx ini akan mengalami penguatan (G_{Rx}) dan pengurangan daya (L_{Rx}) pada sistem Rx. Persamaan RSL dapat dilihat dari persamaan berikut ini.

$$RSL_{(dBm)} = IRL_{(dBm)} + G_{Rx(dB)} - L_{Rx(dB)} \dots\dots\dots(9)$$

Di mana:

RSL : Received Signal Level (dBm)

L_{Rx} : Loss total perangkat Rx (dB)

G_{Rx} : Gain total perangkat Rx (dB)

2.3.6 Fading Margin

Fading margin adalah level daya yang harus dicadangkan yang besarnya merupakan selisih antara daya rata-rata yang sampai di penerima dan level sensitivitas penerima. Nilai *fading margin* biasanya sama dengan peluang level *fading* yang terjadi, yang nilainya tergantung pada kondisi lingkungan dan sistem yang digunakan. Dalam propagasi gelombang radio, besarnya daya terima berfluktuasi akibat adanya *fading*. Untuk menanggulangnya digunakan cadangan *fading* (*fade margin* setiap *hop*) yaitu batas *fading maximum* yang diizinkan oleh ketersediaan (*availability*) total link radio tersebut. Hubungan antara *availability* dan *fading margin* berdasarkan *fading* Rayleigh dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Fading Margin untuk Rayleigh Fading

Availability (%)	Fading Margin (dB)
90	8
99	18
99,9	28
99,99	38
99,999	48

Sumber: (Freeman L. Roger, 2007)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode kuantitatif yang dimaksudkan untuk melakukan analisis teknis maupun keterjangkauan lokasi yang digunakan untuk perencanaan *link microwave* antara Kota Semarang-Kota Magelang. Berdasarkan Permenkominfo No. 33 tahun 2015, salah satu *band* frekuensi yang dialokasikan untuk *link microwave* adalah antara 17.700 MHz- 19.700 MHz (Kementerian Komunikasi Dan Komunikasi RI, 2015), sehingga pada penelitian ini digunakan frekuensi 18.000 MHz dalam merencanakan kebutuhan *link microwave* Semarang-Magelang.

3.1 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Pathloss 5.0 yang dapat digunakan untuk simulasi perencanaan *link microwave*. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan persyaratan komunikasi radio *microwave* tampak pandang (*line of sight*), sehingga diperlukan pengelolaan lokasi *site* maupun solusi-solusi lain yang diperlukan dalam komunikasi radio *microwave*, seperti penerapan *repeater* untuk mengantisipasi terjadinya *multipath fading* dan pelemahan sinyal radio.

3.2 Teknik Pengambilan Data

Dalam melakukan penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang berisi informasi mengenai kondisi lapangan dan iklim dari jalur yang dilalui oleh *link microwave* tersebut. Kemudian, dilakukan verifikasi kesesuaian data sekunder dengan kondisi *real* dengan melakukan survei langsung untuk mengenali kondisi-kondisi wilayah Kota Semarang, Kota Magelang dan wilayah diantara kedua kota tersebut. Akhirnya, diperoleh rincian untuk kondisi wilayah adalah sebagai berikut.

- a. Kota Semarang, wilayahnya meliputi pesisir pantai, area perkebunan, area persawahan, dan perbukitan.

- b. Kota Magelang, wilayahnya, meliputi area persawahan, area perkebunan, dan perbukitan.
- c. Jalur diantara Kota Semarang dan Kota Magelang merupakan wilayah Kabupaten Semarang, di mana kondisi wilayahnya meliputi perkebunan, persawahan, rawa-rawa, perbukitan dan pegunungan.

Setelah mengetahui kondisi lapangan dan iklim dari wilayah-wilayah tersebut, kemudian dilakukan penentuan spesifikasi *link multihop* dari komunikasi *microwave* yang akan direncanakan. Di mana spesifikasi tersebut diantaranya.

- a. Laju data/informasi = 155,52 Mbps (STM-1)
- b. Modulasi = 128-QAM
- c. BER = 10^{-6}
- d. Tinggi menara antenna (x) = $10\text{ m} < x < 70\text{ m}$

3.3 Teknik Analisis

Penelitian ini memberikan analisis tentang perencanaan *link microwave* antara Kota Semarang-Kota Magelang. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dengan menggunakan 3 skenario yang dapat dilakukan dalam merencanakan *site radio microwave*, kemudian menganalisis skenario mana yang paling optimal untuk membangun komunikasi *microwave* di kedua kota tersebut.

Adapun skenario yang akan dilakukan pada simulasi perencanaan kali ini adalah sebagai berikut.

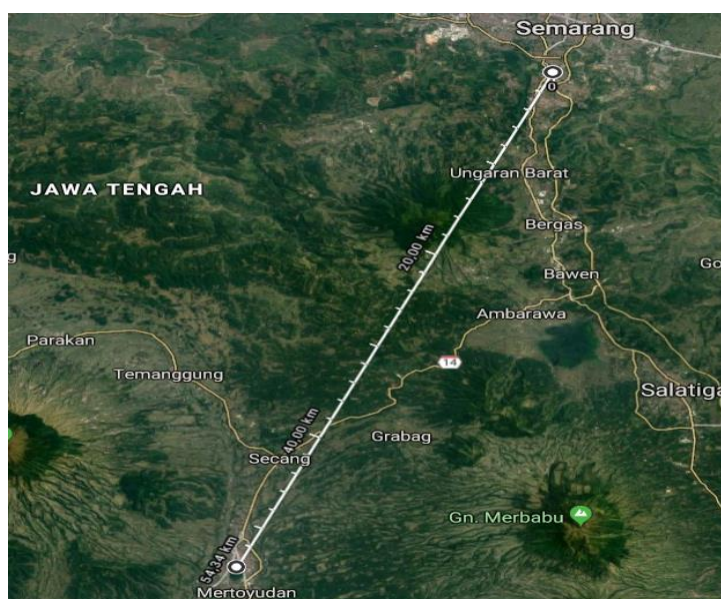
1. Skenario 1: Perencanaan *link microwave* langsung (*single hop*)
2. Skenario 2: Perencanaan *link microwave* dengan *repeater* aktif
3. Skenario 3: Perencanaan *link microwave* dengan *repeater* pasif

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam melakukan perencanaan *link microwave* dengan menggunakan simulasi perangkat lunak ini, mula-mula ditentukan lokasi dari komunikasi *point-to-point* setiap *site* yang diinginkan. Adapun posisi lokasi yang diinginkan untuk direncanakan *sitenya* adalah sebagai berikut.

- a. Kota Semarang: 7°02'41.6"S 110°25'24.6"E
- b. Kota Magelang: 7°29'21.7"S 110°13'07.7"E

Jika, diamati melalui *google maps* kedua posisi koordinat tersebut memiliki jarak sejauh 54,34 Km. Adapun jarak antara kedua ini dapat diamati pada Gambar 4.



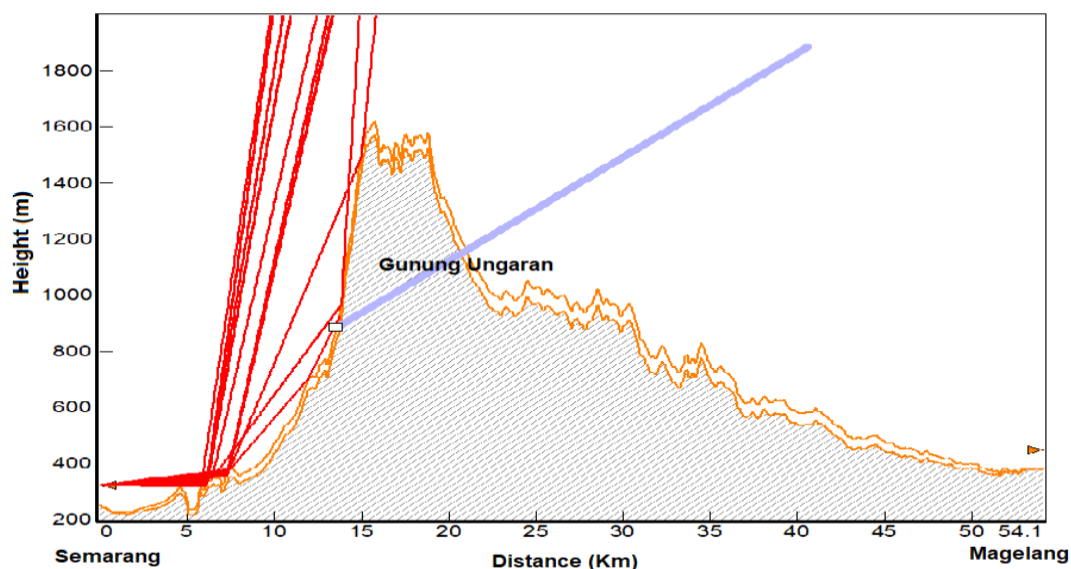
Gambar 4. Jarak Kota Semarang-Kota Magelang

4.1 Skenario 1: Perencanaan *Link Microwave* Langsung (*Single Hop*)

Skenario pertama ini dilakukan dengan melakukan simulasi perencanaan *site microwave* antara Kota Semarang-Kota Magelang secara *singlehop*. Perencanaan dengan menggunakan *singlehop* (langsung tanpa *repeater*) diuji pada kedua kota ini karena jarak antar keduanya masih berada pada kisaran 50 Km, yaitu tepatnya 54,34 Km.

Ilustrasi penerapan *singlehop* dapat dilihat pada Gambar 4 di atas dengan menarik garis lurus yang merepresentasikan *link* antara *site* Semarang dengan *site* Magelang. Adapun dalam simulasinya menggunakan aplikasi, ketika dilakukan *plot* pada *path profile* diperoleh hasil sesuai dengan Gambar 5.

Dari Gambar 5 di bawah ini terlihat bahwa dengan melakukan simulasi perencanaan *link microwave* secara *singlehop*, *link transmitter* komunikasi radio *microwave* mengalami fenomena *multipath fading*, dan *receiver* mengalami fenomena *blocking* akibat terhalang oleh *obstacle*.



Gambar 5. Skenario 1: Kondisi *link microwave singlehop* Semarang-Magelang

Dalam simulasi ini, kedua antena di masing-masing *site* telah diatur ketinggiannya setinggi 70m, namun tetap terhalang oleh *obstacle*, di mana *obstacle* tersebut adalah Gunung Ungaran. Lokasi dari Gunung Ungaran sendiri berada di antara Kota Semarang dan Kota Magelang, sehingga sinyal dari *site* Kota Semarang tidak mampu menjangkau *site* yang ada di Kota Magelang. Adapun, hasil simulasi penerapan *single-hop* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Skenario 1: Hasil Parameter link microwave Kota Semarang-Magelang (*Single-hop*)

Parameter	Site Semarang	Site Magelang
Tinggi Antena (m)	70	70
EIRP (dBm)	60,02	49,39
FSL (dB)	152,2	152,2
Atmospheric Loss (dB)	2,93	2,93
Radio Model	PASOLINK+ 18G 155MB	PASOLINK+ 18G 155MB
Received Signal (dBm)	-	-
Rx Threshold (dBm)	-67,50	-67,50
Fading Margin (dB)	6,76	6,76
Availability (%)	-	-

Sumber: diolah

Dari hasil pada Tabel 2 dapat terlihat bahwa *received signal* yang diperoleh pada kedua *site* cenderung sangat kecil, sehingga pada *report* simulasi tidak diketahui besarnya. Hal ini terjadi akibat dari terhalangnya kedua *link* oleh *obstacle* diantara keduanya. Oleh karena itu, penggunaan metode komunikasi langsung *link microwave (singlehop)* tidak memungkinkan untuk diterapkan, walaupun jarak antar keduanya masih berkisar antara 50 Km.

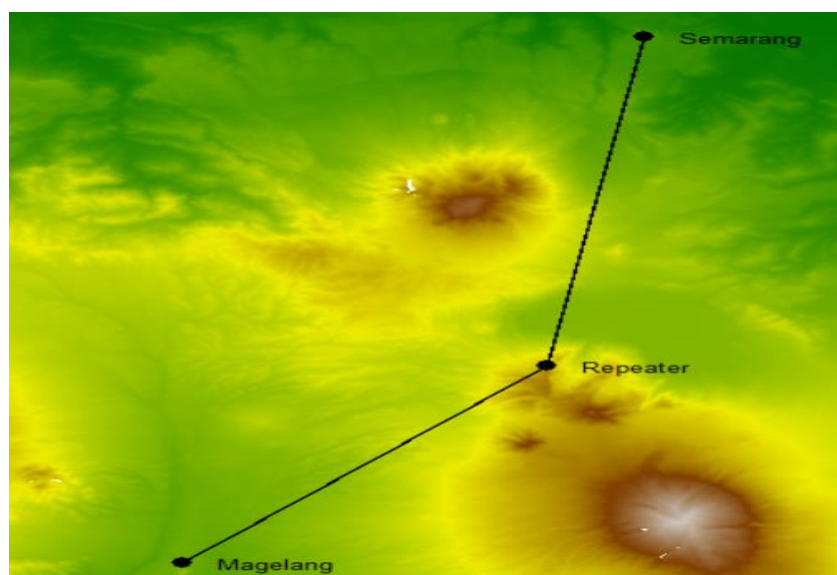
Permasalahan akibat adanya *obstacle* yang sangat tinggi pada metode perencanaan *singlehop* ini dapat diatasi dengan menggeser masing-masing *site* sedemikian rupa sehingga komunikasi *link microwave* dapat berkomunikasi secara LOS dengan baik. Namun, permasalahan yang ada untuk merencanakan *site* di Kota Semarang-Kota Magelang tidak memungkinkan untuk dilakukan pergeseran *site* sebagai solusi. Hal ini terjadi karena wilayah Semarang memiliki ketinggian yang lebih rendah dibandingkan oleh Magelang, ditambah adanya Gunung Ungaran yang menyebabkan kedua kota ini tidak memungkinkan untuk melakukan komunikasi LOS *link microwave* secara *singlehop*.

4.2 Skenario 2: Perencanaan *link microwave* dengan *repeater* aktif

Jalur yang menghubungkan antara Kota Semarang dengan Kota Magelang merupakan jalur yang sebagian besar wilayahnya merupakan area perkebunan dataran tinggi, pegunungan, serta terdapat sedikit rawa di sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan *repeater* tambahan untuk menghubungkan *link* kedua kota agar dapat berkomunikasi dengan baik dan optimal.

Pada skenario 2 perencanaan *link microwave* Kota Semarang-Kota Magelang ini akan dilakukan dengan memanfaatkan *repeater* aktif. *Repeater* aktif merupakan *site* tambahan yang berguna untuk menghubungkan komunikasi *link microwave* yang tidak dapat dihubungkan secara langsung dan diberikan penguat tambahan oleh *site* penghubung tersebut (*repeater*) supaya dapat memperkuat sinyal yang dipancarkan oleh *site* Tx. Hal ini terjadi karena *site* pada *repeater* aktif diberikan catu daya tambahan. Kondisi yang menyebabkan kedua *site* tidak dapat dihubungkan secara langsung dan memerlukan *repeater* aktif, yaitu akibat jarak yang sangat jauh dan akibat terhalang oleh *obstacle* yang sangat tinggi.

Dalam simulasi di skenario 2 ini lokasi dari *repeater* aktif akan ditempatkan di sekitar wilayah Banyubiru tepatnya di desa Keningar, Wirogomo pada koordinat $7^{\circ}19'20.2''S$ $110^{\circ}22'51.5''E$. Sehingga, lintasan dari *link microwave* antara Kota Semarang-Kota Magelang menjadi seperti pada Gambar 6. Dalam melakukan simulasi ini polarisasi dilakukan pengaturan polarisasi pada *link site* Kota Semarang-*repeater* menggunakan polarisasi *linear* vertical, sementara untuk *link microwave* dari *repeater* ke *site* Kota Magelang menggunakan polarisasi *linear* vertikal. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi interferensi diantara dua buah *link* tersebut.



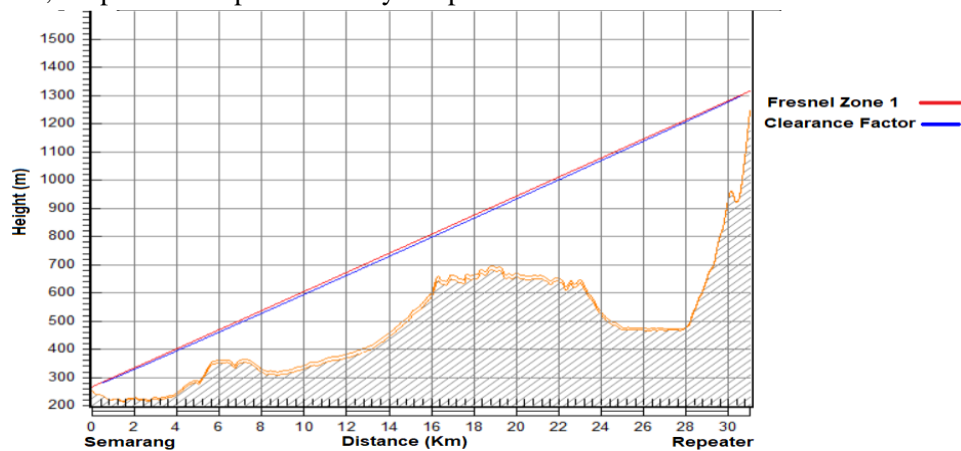
Gambar 6. Skenario 2: Skema *link microwave* Semarang-Magelang

Dari Gambar 6 diatas terlihat bahwa *repeater* digunakan untuk menghindari *obstacle*, yaitu Gunung Ungaran. Sehingga, *link microwave* Kota Semarang-Kota Magelang dapat terhubung secara tidak langsung dan *multihop*.

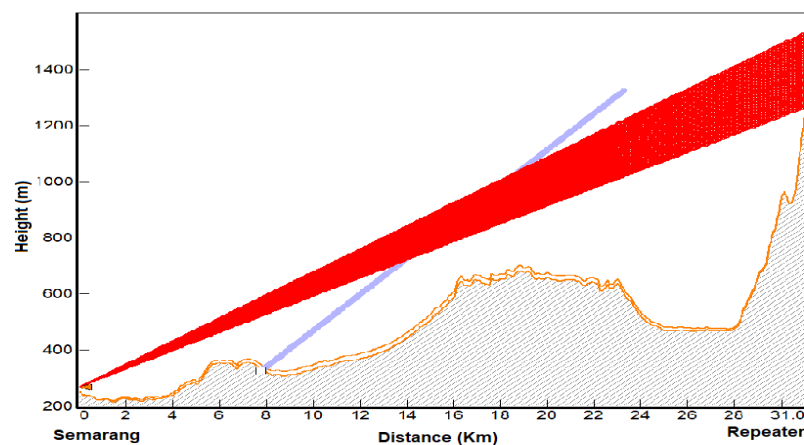
4.2.1 Link Kota Semarang-Repeater

Dalam melakukan simulasi pada *link* Kota Semarang-*repeater* diatur tinggi antena di *site* Semarang 15 meter dan antena pada *repeater* setinggi 68,5 meter. Adapun, hasil simulasi dengan pengaturan tinggi antena di kedua lokasi tersebut diperoleh hasil *fresnel zone 1* dan *Clearance Factor* diperlihatkan dalam Gambar 7.

Dari Gambar 7 tersebut terlihat bahwa daerah *clearance factor* dan *fresnel zone 1* dari *link microwave* ini bebas dari halangan *obstacle*, sehingga komunikasi antar *site* dapat terjaga dengan baik. Dengan bebasnya jalur komunikasi dari *obstacle*, tentu berdampak juga dengan minimnya *multipath fading* yang terjadi pada *link*, adapun skema pancaran sinyal diperlihatkan dalam Gambar 8.



Gambar 7. Skenario 2: Kondisi *Clearance Factor* dan *fresnel zone 1* *link* Kota Semarang-Repeater



Gambar 8. Skenario 2: Kondisi pancaran *link* Kota Semarang-repeater

Pada Gambar 8 di atas terlihat bahwa tidak terdapat *multipath* pada jalur *link microwave* tersebut sehingga distorsi sinyal pada *repeater* juga sangat minim. Adapun hasil kuantitatif dari parameter *link* ini diperlihatkan dalam Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Skenario 2: Hasil Parameter *link* microwave Kota Semarang-repeater

Parameter	Site Semarang	Repeater
Tinggi Antena (m)	15,00	68,50

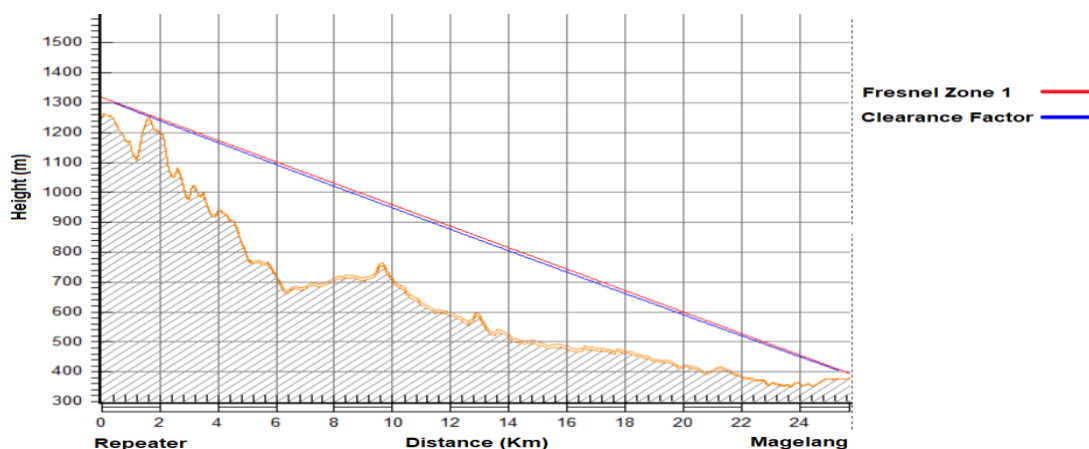
Parameter	Site Semarang	Repeater
EIRP (dBm)	60,02	49,39
FSL (dB)	147,40	147,40
Atmospheric Loss (dB)	1,68	1,68
Radio Model	PASOLINK+ 18G 155MB	PASOLINK+ 18G 155MB
Received Signal (dBm)	-54,67	-54,67
Rx Threshold (dBm)	-67,50	-67,50
Fading Margin (dB)	12,83	12,83
Availability (%)	99,82980	99,82980

Sumber: diolah

Dari Tabel 3 terlihat hasil-hasil parameter penting simulasi *link microwave* yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk merencanakan *site radio microwave*. Dapat terlihat bahwa EIRP dari *site Semarang* sebesar 60,02 dBm dan pada *repeater* sebesar 49,39 dBm. *Free Space loss* dan *loss atmosfer* yang terjadi pada lintasan masing-masing sebesar 147,40 dB dan 1,68 dB. Akhirnya, diperoleh *received signal* pada masing-masing lokasi sebesar -54,67 dBm. Sehingga, *link microwave* ini dapat berkomunikasi karena *received signal* yang masih di atas *Rx threshold*, di mana *Rx threshold link Kota Semarang-repeater* sebesar -67,5dB. Dengan demikian, *fading margin* pada *link microwave* ini memiliki FM sebesar 12,83 dB dengan *availability* sebesar 99,82980%.

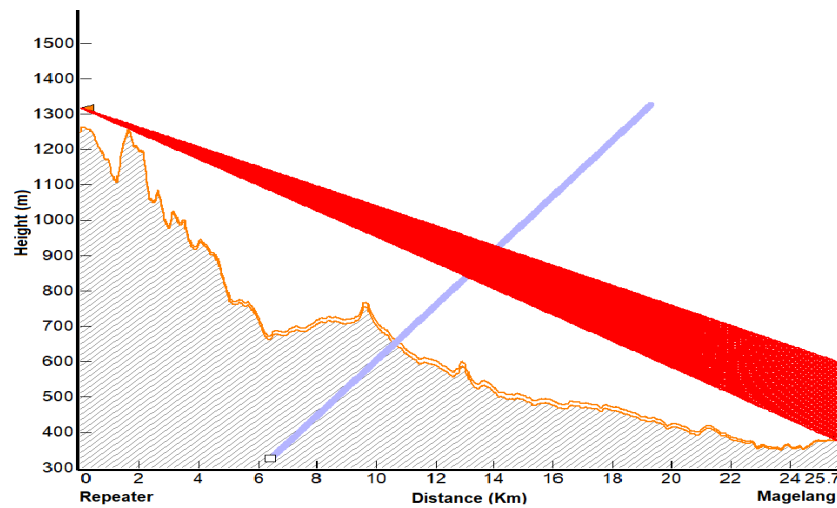
4.2.2 Link Repeater-Kota Magelang

Pada simulasi ini tinggi antenna pada *repeater* diatur setinggi 67,9 m dan tinggi antenna *site Kota Magelang* setinggi 15 m. Dengan pengaturan tinggi antenna tersebut diperoleh hasil *clearance factor* dan *fresnel zone 1* seperti pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Skenario 2: Kondisi *Clearance Factor* dan *Fresnel zone 1 link Repeater-Kota Magelang*

Dari Gambar 9 diatas terlihat bahwa daerah *fresnel zone 1* dan *clearance factor* pada *link repeater* menuju Kota Magelang tidak terhalang oleh *obstacle*. Sehingga, komunikasi pada *link* ini dapat dikatakan baik untuk mengimplementasikan komunikasi radio *microwave*. Kondisi *clearance factor* dan *fresnel zone 1* yang bebas dari penghalan ini berdampak juga terhadap parameter *multipath* yang terjadi pada *link* tersebut. Adapun, skema dari pancara sinyal antara *repeater* menuju *site* di Kota Magelang dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Skenario 2: Kondisi pancaran *link repeater*-Kota Magelang

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa tidak terdapat *multipath* pada jalur *link microwave* antara *repeater* menuju ke Kota Magelang tersebut, sehingga distorsi sinyal pada *site* Kota Magelang juga sangat minim. Adapun hasil kuantitatif dari parameter *link* ini dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Skenario 2: Hasil Parameter *link microwave* *repeater*-Kota Magelang

Parameter	<i>Repeater</i>	Kota Magelang
Tinggi Antena (m)	67,94	15
EIRP (dBm)	53,48	64,02
FSL (dB)	145,77	145,77
Atmospheric Loss (dB)	1,39	1,39
Radio Model	Plus-XPIC-18GHz-128QAM-	Plus-XPIC-18GHz-128QAM-
<i>Received Signal</i> (dBm)	-48,66	-48,66
<i>Rx Threshold</i> (dBm)	-67,50	-67,50
Fading Margin (dB)	18,84	18,84
Availability (%)	99,91345	99,91345

Sumber: diolah

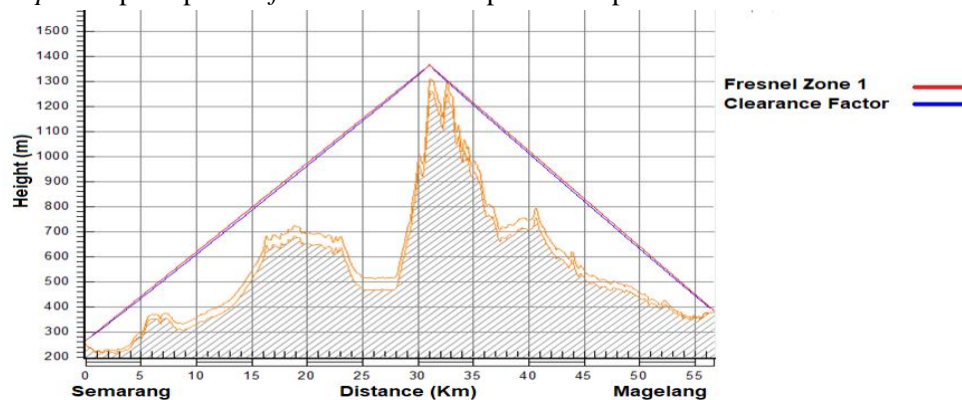
Dari hasil Tabel 4 terlihat hasil-hasil parameter penting simulasi *link microwave* yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk merencanakan *site* radio *microwave*. Dapat terlihat bahwa EIRP dari *repeater* sebesar 53,48dBm dan pada *site* Kota Magelang sebesar 64,02 dBm. *Free Space loss* dan *loss* atmosfer yang terjadi pada lintasan masing-masing sebesar 145,77dB dan 1,39dB. Akhirnya, diperoleh *received signal* pada masing-masing lokasi sebesar -48,66 dBm. Sehingga, *link microwave* ini dapat berkomunikasi dengan baik karena *received signal* yang masih di atas *Rx threshold*, di mana *Rx threshold link repeater*-Kota Magelang sebesar -67,5dB. Dengan demikian, *fading margin* pada *link microwave* ini memiliki nilai sebesar 18,84dB dengan *availability* sebesar 99,91345%.

4.3 Skenario 3: Perencanaan *link microwave* dengan *repeater* pasif

Pada skenario 3 ini akan dilakukan penggunaan *repeater* pasif pada *link* komunikasi Kota Semarang-Kota Magelang. *Repeater* pasif memiliki fungsi yang sama seperti *repeater* aktif, yaitu untuk menghubungkan dua *link* radio *microwave* secara *multihop*. Namun, yang membedakan dengan *repeater* aktif adalah pada *repeater* pasif ini tidak dilakukan pencatutan daya lagi. Sehingga, sinyal yang diteruskan murni hanya sinyal pantul dari *site* yang memancarkan daya diawal.

Simulasi yang dilakukan pada skenario 3 ini diasumsikan lokasi *site* Kota Semarang, *repeater*, dan *site* Kota Magelang memiliki koordinat yang sama seperti pada skenario 2, adapun skema dari masing-

masing lokasi jika diamati dengan peta kontur tanah juga sama seperti pada skenario 2 yang ditunjukkan pada Gambar 6. Skema *clearance factor*, *fresnel zone 1* dan *multipath* sama seperti skenario 2 karena lokasi masing-masing *site* berada pada posisi yang sama persis dengan skenario 2. Adapun, tampilan dari penggunaan *repeater* pasif pada *software* simulasi dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Skenario 3: Kondisi *Clearance Factor* dan *Fresnel zone 1* link menggunakan *repeater* pasif

Dari skema yang ditunjukkan pada Gambar 11 diatas, diperoleh hasil parameter *link microwave* antara *site* di Kota Semarang dengan Kota Magelang yang ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Skenario 3: Hasil Parameter link microwave Kota Semarang-Kota Magelang dengan *repeater* pasif

Parameter	Kota Semarang	Kota Magelang
Elevasi (tinggi antenna+kontur tanah)	252,51	378,82
EIRP (dBm)	60,02	64,02
FSL (dB)	293,16	293,16
Atmospheric Loss (dB)	3,07	3,07
Radio Model	PASOLINK+ 18G 155MB	Plus-XPIC-18GHz-128QAM-
Received Signal (dBm)	-90,20	-94,20
Rx Threshold (dBm)	-67,50	-67,50
Fading Margin (dB)	-22,70	-26,70
Availability (%)	-	-

Sumber: diolah

Berdasarkan parameter hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 5 tersebut dapat dilihat bahwa ketinggian elevasi antenna Tx adalah 252,51m dan antenna Rx adalah 378,82 m. EIRP pada masing-masing *site* antenna sebesar 60,02 dBm pada *site* Kota Semarang dan 64,02 dBm untuk *site* Kota Magelang. Dalam simulasi *link microwave* antar kedua *site* ini mengalami *loss* oleh FSL sebesar 293,16dB dan oleh atmosfer sebesar 3,07 dB. Sehingga, pada masing-masing *site* Kota Semarang dan Kota Magelang diperoleh *received signal* sebesar -90,20dBm dan -94,20 dBm.

Dengan nilai *received signal* yang sangat kecil tersebut komunikasi radio *microwave* dengan menggunakan *repeater* pasif tidak dapat diimplementasi dengan baik karena nilai *received signal* tersebut berada dibawah ambang batas daya terima (*Rx threshold*), di mana nilai *Rx threshold* sebesar -67,50dBm. Hal ini mengakibatkan nilai *fading margin* pada skenario 3 ini bernilai -22,7 dB.

Oleh karena nilai *fading margin* berada pada kondisi negatif, *link microwave* ini tidak dapat digunakan dengan baik untuk komunikasi antara *site* Kota Semarang dan Kota Magelang sebab *availability* (tingkat ketersediaan) layanan pada *link* ini tidak ada/tidak dapat ditentukan.

5. Simpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Penelitian perencanaan *link* komunikasi *microwave* Kota Semarang-Kota Magelang dilakukan dengan tiga scenario, memanfaatkan *software* perencanaan transmisi *microwave*. Pada skenario pertama, *link* tidak dapat direncanakan dengan menggunakan pendekatan komunikasi langsung/ *singlehop* karena jalur lintasan komunikasi kedua kota terhalang oleh *obstacle* yang sangat tinggi, yaitu gunung yang menyebabkan terjadinya fenomena *shadowing* pada skenario 1 ini.

Pada skenario 2, dilakukan perencanaan *link microwave* dengan menempatkan *repeater* aktif pada daerah Banyubiru untuk menghubungkan *site* Kota Semarang dengan *site* Kota Magelang. Dalam simulasi yang dilakukan, skenario 2 ini memperoleh nilai *received signal* di pada *site* Kota Semarang dan Kota Magelang sebesar -54,67dBm dan -48,66 dBm dengan Rx *threshold* pada kedua *site* sebesar -67,50dBm. Sehingga, skenario kedua ini dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan nilai *availability* sebesar 99,82980% untuk Kota Semarang dan 99,91345% untuk Kota Magelang.

Pada skenario 3, dilakukan perencanaan *link microwave* dengan menggunakan *repeater* pasif. Di skenario 3 ini sebenarnya sinyal dari *site* Kota Semarang sudah dapat menjangkau *site* Kota Magelang. Akan tetapi, *received signal* di masing-masing *site* sangat kecil sebesar -90,20 dBm di Kota Semarang dan -94,20 dBm di Kota Magelang, di mana ambang batas sensitivitas sinyal terima di masing-masing *site* (Rx *threshold*) sebesar -67,50 dBm. Hal ini menyebabkan nilai *fading margin* negatif, yaitu sebesar -22,70 dB. Dengan demikian, tingkat *availability* layanan *link microwave* menggunakan *repeater* pasif tidak ada/ tidak tersedia.

Oleh karena itu dalam perencanaan *link microwave* antara Semarang-Magelang ini direkomendasikan menggunakan *repeater* aktif sesuai skenario 2 karena dengan menggunakan *repeater* aktif pancaran sinyal dari antena *site* Tx dapat diarahkan ke arah *repeater* yang berlokasi bebas dari *obstacle* terlebih dahulu, sebelum kemudian sinyal dipantulkan menuju ke *site* Rx. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari halangan *obstacle* dalam kasus ini Gunung Ungaran yang berada pada jalur lintasan langsung *link microwave* Semarang-Magelang. Lalu, untuk mengatasi pelemahan daya pancar selama propagasi dari Tx ke Rx, dengan menggunakan *repeater* aktif akan terjadi penguatan daya karena *repeater* aktif ini dicatu ke sumber listrik. Sehingga, penggunaan *repeater* aktif pada perencanaan *link microwave* Semarang-Magelang merupakan solusi yang paling tepat karena mampu mengatasi halangan *obstacle* sekaligus jarak yang jauh dari suatu *link microwave*.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini, kendala yang dialami pada *repeater* pasif dapat diatasi dengan memberikan catuan daya yang besar pada *site*. Selain itu, dapat dilakukan juga dengan meminimalisasi *loss* yang ada dan meningkatkan *gain* pada perangkat dengan pemilihan perangkat yang baik. Penelitian lebih lanjut berkenaan dengan perencanaan komunikasi *link microwave* dapat dijadikan bahan analisis dalam kebijakan menentukan cadangan daya (*fading margin*), kebutuhan kanal, dan kehandalan (*reliability*) yang dipersyaratkan sesuai dengan jenis modulasinya.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak atas bantuan dan dukungannya terhadap penelitian ini, terutama kepada Universitas Telkom dan Puslitbang SDM Kementerian Komunikasi & Informatika RI.

Daftar Pustaka

- APJII. (2017). *Penetrasi & Perilaku Pengguna Internet Indonesia 2017*. Jakarta. Retrieved from [https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/Laporan Survei APJII_2017_v1.3.pdf](https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/Laporan%20Survei%20APJII_2017_v1.3.pdf)
- Elhabashi, S., Elemgri, F., Aldeeb, H., & Elhabashi, B. (2017). Effect of sand storms on the microwave links. *2017 Internet Technologies and Applications, ITA 2017 - Proceedings of the 7th International Conference*, 339–343. <https://doi.org/10.1109/ITECHA.2017.8101966>
- Freeman, R. L. (2007). *Radio System Design For Telecommunication* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Goktas, P., Topcu, S., Karasan, E., & Altintas, A. (2015). Multipath Fading Effect on Terrestrial Microwave LOS Radio Links. *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 918–919.

<https://doi.org/10.1109/APS.2015.7304846>

- Hikmaturokhman, A., Wahyudin, A., Yuchintya, A. S., & Nugraha, T. A. (2017). Comparison analysis of passive repeater links prediction using methods: Barnett Vigants & ITU models. *2017 4th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*, 142–147. <https://doi.org/10.1109/CONMEDIA.2017.8266046>
- Jones, S., Collapelle, M., Lauand, C., & Kopp, B. (2018). Design of a Beyond-Line-of-Sight Microwave Propagation Study Across the Gulf of Mexico. *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SECON.2018.8478887>
- Kantor, P., & Bito, J. (2015). Comparison of Rain Attenuation Prediction Models for Terrestrial Links and their impact on the performance of Link Transformation. *2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2015.7193500>
- Kementerian Komunikasi Dan Komunikasi RI. (2015). Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Nomor 33 Tahun 2015 tentang Perencanaan Penggunaan Pita Frekuensi Radio Microwave Link Titik Ke Titik (Point-to-Point). Retrieved from https://jdih.kominfo.go.id/produk_hukum/view/id/508/t/peraturan+menteri+komunikasi+dan+informatika+nomor+33+tahun+2015+tanggal+31+desember+2015
- Lawrence, O., & Sunday, J. (2017). On the Statistical Distribution of Clear Air Effects and the Implication on Microwave Radio Communication links in Nigeria. Olalekan. *2017 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)*. <https://doi.org/10.23919/RADIO.2017.8242221>
- Manjunath, R. K., & Raju, K. N. (2015). An experimental analysis of impact of rainfall on microwave links. In *2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)*. <https://doi.org/10.1109/SPICES.2015.7091366>
- Mohanty, S., Singh, C., & Tiwari, V. (2016). Estimation of rain attenuation losses in signal link for microwave frequencies using ITU-R model. *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 532–535. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729132>
- Sharma, K., & Nanglia, P. (2016). Transmission and Optimization of a 3G/4G Microwave Network at 14GHz. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 6086–6091. <https://doi.org/10.4010/2016.1474>
- Thakur, A., & Kamboj, S. (2016). Transmission and Optimization of a 3G Microwave Network at 18 GHz. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 5622–5626. <https://doi.org/10.4010/2016.1372>